

Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

# **Análise do Desempenho do Sistema 3G 1xEV-DV no Enlace Direto**

**Autora: Tania Aida Garcia Bassi**  
**Orientador: Prof. Dr. Shusaburo Motoyama**

**Tese de Mestrado** apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: **Telecomunicações e Telemática.**

Banca Examinadora

Shusaburo Motoyama, Dr. .... DT/FEEC/Unicamp  
José Marcos Câmara Brito, Dr. .... INATEL  
Paulo Cardieri, Dr. .... DECOM/FEEC/Unicamp  
Walter da Cunha Borelli, Dr. .... DT/FEEC/Unicamp

Campinas, SP

Fevereiro/2006

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

B294a	<p>Bassi, Tania Aida Garcia Análise do desempenho do sistema 3G 1xEV-DV no enlace direto / Tania Aida Garcia Bassi. --Campinas, SP: [s.n.], 2006.</p> <p>Orientador: Shusaburo Motoyama Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.</p> <p>1. Telefonia celular – Simulação (Computadores). 2. Sistemas de comunicação sem fio. 3. Telecomunicações - Trafego. 4. Desempenho. 5. Estações móveis de radio. 6. Acesso múltiplo por divisão de código. 7. Protocolo para transferência de arquivo (Protocolo de redes de computadores). 8. Protocolo de aplicação de sistema sem fio (Protocolo de redes de computadores). 9. HTTP (Protocolo de redes de computadores). I. Motoyama, Shusaburo. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.</p>
-------	--

Título em Inglês: 1xEV-DV 3G system forward link performance analysis

Palavras-chave em Inglês: 1xEV-DV, 3G, Forward link, Performance, WAP, HTTP,  
FTP, CDM, CDMA, priority, Telecommunication,  
Wireless.

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: José Marcos Câmara Brito, Paulo Cardieri e Walter da Cunha  
Borelli

Data da defesa: 21/02/2006

# Resumo

Neste estudo, o desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV é analisado através de simulações e o tempo médio de atraso dos pacotes, a vazão de dados e a utilização de enlace são avaliados em função do carregamento de tráfego do sistema. Para a realização das simulações foi desenvolvido, na ferramenta de software *Matlab*, um modelo que representa o processamento e escalonamento da estação rádio base do sistema 1xEV-DV, antes da transmissão na interface aérea, bem como os modelos baseados em tráfego real de dados WAP, HTTP e FTP.

O enlace direto do sistema 1xEV-DV é analisado em cenários que consideram o escalonamento FIFO e o escalonamento baseado em prioridade de taxas, mostrando a redução do tempo médio de atraso dos pacotes no sistema com prioridade. Além disto, é possível verificar e quantificar a eficiência da implementação da multiplexação por divisão em código (CDM) além da multiplexação por divisão no tempo (TDM) no enlace direto. Os resultados do sistema 1xEV-DV com tráfego WAP, HTTP e FTP são também comparados aos resultados obtidos com tráfego poissoniano, mostrando as diferenças e a importância da utilização de modelos de tráfego de dados reais.

**Palavras-chave:** 1xEV-DV, 3G, enlace direto, desempenho, WAP, HTTP, FTP, CDM, prioridade, tráfego de dados.

# Abstract

In this study, the forward link performance of the 1xEV-DV system is analyzed through simulations, and the average packet delay, the data throughput and the link utilization are evaluated in function of the system traffic load. For the simulations, it was developed in *Matlab* software tool, a model that represents the 1xEV-DV radio base station processing and scheduling, before the aerial interface transmission, and the models based in real data traffic WAP, HTTP and FTP.

The forward link of the 1xEV-DV system is analyzed in scenarios that consider FIFO scheduling and data rate priority scheduling, showing the average packet delay reduction in the system with priority. Besides, it is possible to verify and quantify the efficiency of the code division multiplexing (CDM) implementation besides the time division multiplexing (TDM) in the forward link. The results of 1xEV-DV system with WAP, HTTP and FTP traffic are also compared with the results obtained with Poisson traffic, showing the differences and the importance of the real data traffic models utilization.

**Keywords:** 1xEV-DV, 3G, forward link, performance, WAP, HTTP, FTP, CDM, priority, data traffic.

# Agradecimentos

Ao Prof. Shusaburo Motoyama, pela orientação neste trabalho, por sua dedicação e suporte ao longo de todo o estudo.

À minha família pelo apoio, em especial ao meu marido Evandro.

À Lucent Technologies pelo incentivo para conclusão do curso e pelo suporte financeiro para a apresentação no congresso SBT2004.

Aos colegas da Lucent Technologies, também estudantes de mestrado e doutorado na Unicamp.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xi</b>
<b>Glossário</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Símbolos</b>	<b>xv</b>
<b>Trabalhos Publicados Pelo Autor</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 O Sistema 1xEV-DV</b>	<b>7</b>
2.1 Introdução .....	7
2.2 Utilização da Potência de Transmissão .....	8
2.3 Estrutura de Canais no Enlace Direto .....	9
2.3.1 F-PDCH.....	10
2.3.1.1 Modulação e Codificação Adaptativa .....	10
2.3.1.2 Multiplexação TDM/CDM .....	12
2.3.1.3 Protocolo HARQ - Hybrid Automatic Repeat Request .....	13
2.3.1.4 AAIR – Redundância Incremental Adaptativa Assíncrona.....	14
2.3.1.5 Gerenciamento dos Códigos Walsh .....	15
2.3.2 F-PDCCCH.....	16
2.3.3 Outros canais do enlace direto.....	18
2.4 Estrutura dos canais no enlace reverso .....	18
2.4.1 R-CQICH .....	19
2.4.2 R-ACKCH .....	20
2.4.3 R-PDCH .....	20
2.4.4 Outros canais do enlace reverso .....	20
2.5 Conclusão .....	21
<b>3 Modelos de Simulação</b>	<b>23</b>
3.1 Introdução .....	23
3.2 Modelo do Enlace Direto do Sistema 1xEV-DV .....	23
3.3 Protocolo TCP .....	26
3.4 Modelo do Tráfego HTTP .....	28
3.4.1 Distribuições do Modelo de Tráfego HTTP .....	30
3.5 Modelo do Tráfego WAP .....	33

---

3.5.1 Distribuições do Modelo de Tráfego WAP .....	35
3.6 Modelo do Tráfego FTP .....	37
3.6.1 Distribuições do Modelo de Tráfego FTP .....	38
3.7 Conclusão .....	39
<b>4 Análise dos Resultados</b> .....	<b>41</b>
4.1 Introdução .....	41
4.2 Cenário 1 .....	42
4.3 Cenário 2 .....	45
4.4 Cenário 3 .....	49
4.5 Comparação com Modelo de Tráfego de Poisson .....	53
4.6 Conclusão .....	56
<b>5 Conclusões</b> .....	<b>59</b>
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>61</b>
<b>Apêndice A - Modelo Analítico para Tráfego de Poisson</b> .....	<b>65</b>
<b>Apêndice B - Programas Desenvolvidos em Matlab</b> .....	<b>67</b>
B.1 Programa Principal - Sistema 1xEV-DV .....	67
B.2 Fonte de Tráfego HTTP .....	69
B.2.1 HTTP Burst .....	69
B.2.2 HTTP Persistent .....	74
B.3 Fonte de Tráfego WAP .....	76
B.4 Fonte de Tráfego FTP .....	78
<b>Apêndice C - Trabalhos Publicados</b> .....	<b>81</b>
C. 1 Artigo Publicado no XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – STB2004 .....	81
C. 2 Artigo Publicado no International Workshop on Telecommunications – IWT2004 .....	89
C. 3 Artigo Aceito para Publicação no Advanced Industrial Conference on Telecommunications – A-ICT2005 .....	96

# Lista de Figuras

Figura 1.1 – Evolução das tecnologias de comunicação celular .....	2
Figura 1.2 – Evolução do padrão CDMA .....	4
Figura 2.1 – Comparação de utilização de potência entre CDMA2000, 1xEV-DO e 1xEV-DV .....	8
Figura 2.2 – Estrutura dos Canais do Enlace Direto .....	9
Figura 2.3 – Utilização do F-PDCH com multiplexação adaptativa TDM/CDM.....	12
Figura 2.4 – Funcionamento do Protocolo HARQ.....	13
Figura 2.5 – Redundância Incremental Adaptativa Assíncrona .....	14
Figura 2.6 – Códigos Walsh com espanhamento 32 alocados para F-PDCH .....	15
Figura 2.7 – Mensagem F-PDCCH.....	17
Figura 2.8 – Informação de espaço Walsh através do F-PDCCH .....	18
Figura 2.9 – Estrutura dos Canais do Enlace Reverso .....	19
Figura 3.1 – Modelo do sistema 1xEV-DV .....	24
Figura 3.2 – Segmentos de controle nas conexões TCP .....	27
Figura 3.3 – Fluxo de controle e tempo de transmissão de segmentos TCP .....	27
Figura 3.4 – Transmissão de Pacotes em uma sessão HTTP .....	28
Figura 3.5 – Modelamento de Tráfego HTTP.....	30
Figura 3.6 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tamanho de Objeto Principal do Modelo de Tráfego HTTP.....	31
Figura 3.7 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade da Quantidade de Objetos Embutidos do Modelo de Tráfego HTTP.....	31
Figura 3.8 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tamanho de Objeto Embutido do Modelo de Tráfego HTTP.....	32
Figura 3.9 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de <i>Parsing</i> do Modelo de Tráfego HTTP .....	32
Figura 3.10 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de Leitura do Modelo de Tráfego HTTP .....	33
Figura 3.11 – Fluxo de Dados do Modelo WAP.....	34
Figura 3.12 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tamanho dos Pacotes do Modelo de Tráfego WAP.....	35
Figura 3.13 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade da Quantidade de Objetos do Modelo de Tráfego WAP.....	35
Figura 3.14 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo entre Objetos do Modelo de Tráfego WAP.....	36
Figura 3.15 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de Resposta do <i>Gateway</i> do Modelo de Tráfego WAP.....	36
Figura 3.16 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de Leitura do Modelo de Tráfego WAP .....	37
Figura 3.17 – Transmissão de Pacotes em uma Sessão FTP.....	37
Figura 3.18 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tamanho de Pacote do Modelo de Tráfego FTP.....	38

Figura 3.19 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de Leitura do Modelo de Tráfego FTP .....	39
Figura 4.1 – Cenário 1 - Tempo de atraso médio x Carregamento de tráfego .....	43
Figura 4.2 – Cenário 1 - Carregamento de tráfego x Utilização do enlace .....	43
Figura 4.3. – Cenário 1 – Vazão de dados x Utilização do enlace.....	44
Figura 4.4 – Cenário 1 sem prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	44
Figura 4.5 – Cenário 1 com prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	45
Figura 4.6 – Cenário 1 com prioridade e CDM - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	45
Figura 4.7 – Cenário 2 - Tempo de atraso médio x Carregamento de tráfego .....	46
Figura 4.8 – Cenário 2 - Carregamento de tráfego x Utilização do enlace .....	47
Figura 4.9 – Cenário 2 – Vazão de dados x Utilização do enlace.....	47
Figura 4.10 – Cenário 2 sem prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	48
Figura 4.11 – Cenário 2 com prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	48
Figura 4.12 – Cenário 2 com prioridade e CDM - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	49
Figura 4.13 – Cenário 3 - Tempo de atraso médio x Carregamento de tráfego .....	50
Figura 4.14 – Cenário 3 - Carregamento de tráfego x Utilização do enlace .....	50
Figura 4.15 – Cenário 3 – Vazão de dados x Utilização do enlace.....	51
Figura 4.16 – Cenário 3 sem prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	51
Figura 4.17 – Cenário 3 com prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	52
Figura 4.18 – Cenário 3 com prioridade e CDM - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego .....	52
Figura 4.19 – Tráfego de Poisson - Tempo de atraso médio x Carregamento de tráfego .....	54
Figura 4.20 – Tráfego de Poisson – Vazão de dados x Utilização do enlace.....	55
Figura 4.21 – Tráfego de Poisson – Carregamento de tráfego x Utilização do enlace .....	56
Figura B.1 – Diagrama de Blocos do Simulador 1xEV-DV Desenvolvido.....	68

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Taxas de transmissão de dados 1xEV-DV no enlace direto.....	11
Tabela 2.2 – Códigos Walsh por taxa de transmissão de dados no enlace direto .....	16
Tabela 2.3 – Taxas de transmissão de dados 1xEV-DV no enlace reverso .....	20
Tabela 3.1 – Taxas de transmissão de dados 1xEV-DV no enlace direto.....	25
Tabela 3.2 – Taxas de transmissão de dados 1xEV-DV no enlace direto.....	25
Tabela 3.3 – Parâmetros do Modelo de Tráfego HTTP .....	29
Tabela 3.4 – Parâmetros do Modelo de Tráfego WAP .....	34
Tabela 3.5 – Parâmetros do Modelo de Tráfego FTP .....	38
Tabela 3.6 – Distribuição de Probabilidade de Tráfego do Cenário 1 .....	42
Tabela 3.7 – Distribuição de Probabilidade de Tráfego do Cenário 2 .....	46
Tabela 3.8 – Distribuição de Probabilidade de Tráfego do Cenário 3 .....	49

# Glossário

1xEV-DO - 1x Evolution Data Only  
1xEV-DV - 1x Evolution for Data and Voice  
2G - 2<sup>nd</sup> Generation Wireless Technologies  
3G - 3<sup>rd</sup> Generation Wireless Technologies  
AAIR - Asynchronous Adaptive Incremental Redundancy  
AMPS - Advanced Mobile Phone Service  
CDM - Code Division Multiplexing  
CDMA - Code Division Multiple Access  
D-AMPS - Digital AMPS  
EDGE - Enhanced Data Rates for GSM Evolution  
F-ACKCH - Forward Acknowledgement channel  
F-GCH - Forward Grant Channel  
FIFO - First In First Out  
F-PDCCCH - Forward Packet Data Control Channel  
F-PDCH - Forward Packet Data Channel  
F-PDCH - Forward Packet Data Channel  
F-RCCH - Forward Rate Control Channel  
FTP - File Transfer Protocol  
GPRS - General Packet Radio Service  
GSM - Global System for Mobile  
HARQ - Hybrid Automatic Repeat request  
HTTP - Hypertext Transfer Protocol  
IMT-2000 - International Mobile Communication 2000  
MAC - Medium Access Control  
MTU - Maximum Transfer Unit  
NMT - Nordic Mobile Telephone  
PDC - Personal Digital Cellular  
R-ACKCH - Reverse Acknowledgment Channel

R-CQICH - Reverse Quality Indicator Channel

R-PDCCH - Reverse Packet Data Control Channel

R-PDCH - Reverse Packet Data Channel

R-REQCH - Reverse Request Channel

R-SPICH - O Reverse Secondary Pilot Channel

SCH - Supplementary Channel

TACS - Total Access Communications System

TCP - Transport Control Protocol

TDM - Time Division Multiplexing

TDMA - Time Division Multiple Access

UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

WAP - Wireless Application Protocol

WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access

## Lista de Símbolos

$E\{T_0\}$  - Tempo médio para completar a transmissão do pacote atual quando um outro pacote chega

$E\{W\}$  - Tempo médio de atraso de pacote na fila

$i$  - Taxa de transmissão de dados

$f_x$  - Função Distribuição de Probabilidade

$\lambda(i)$  - Taxa de chegada dos pacotes para taxa de dados  $i$

$\mu(i)$  - Taxa de atendimento dos pacotes para taxa de dados  $i$

$\rho(i)$  - Carregamento de tráfego para taxa de dados  $i$

$P_b(i)$  - Probabilidade da taxa de dados  $i$

$\tau_{total}$  - Tempo total para a transmissão de segmentos TCP

$\tau_c$  - Soma do tempo necessário para a mensagem ACK ser transmitida da estação móvel ao servidor e do tempo necessário para o segmento de dados TCP ser transmitido do servidor até a estação rádio base

$\tau_1$  - Tempo de transmissão do segmento de dados TCP da estação rádio base à estação móvel



# Trabalhos Publicados Pelo Autor

1. T. A. G. Bassi, S. Motoyama. “Estudo de Desempenho do Sistema 1xEV-DV no Enlace Direto” *XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBT04* – Belém, PA. 06-09 de Setembro de 2004.
2. T. A. G. Bassi, S. Motoyama. “Forward Link Performance Study of the 1xEV-DV System” – *International Workshop on Telecommunications – IWT2004* – Santa Rita do Sapucaí – MG. Páginas 6-11. 23-27 de Agosto de 2004.
3. T. A. G. Bassi, S. Motoyama. “Forward Link Performance Study of the 1xEV-DV System under HTTP Traffic” – *Advanced Industrial Conference on Telecommunications – A-ICT2005* – Lisboa – Portugal. Aceito para publicação.

# Capítulo 1

## Introdução

A primeira geração de sistemas de comunicação móvel, baseada em tecnologia analógica, surgiu nos anos 80 e tinha como objetivo viabilizar a comunicação de voz com mobilidade. Já nas primeiras redes celulares, a área de cobertura era dividida em células, o que permitia uma capacidade de tráfego maior do que os sistemas de rádio existentes. As redes celulares de primeira geração foram dimensionadas praticamente apenas para o tráfego de voz. Vários padrões de tecnologia celular analógica surgiram, entre eles, os mais conhecidos foram: AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*), NMT (*Nordic Mobile Telephone*) e TACS (*Total Access Communications System*). No Brasil o padrão analógico adotado foi o padrão americano AMPS, utilizando o espectro de frequência de 800MHz. Estas redes de celulares analógicas existem até os dias de hoje em muitos países.

A transmissão de voz com mobilidade também foi o principal objetivo dos sistemas de segunda geração (2G), baseados em tecnologia digital. Os sistemas de segunda geração foram projetados inicialmente para suportar serviços de transmissão de voz e posteriormente serviços de dados a baixa velocidade. Dentre os benefícios dos sistemas de segunda geração, os principais foram a melhora da qualidade do serviço, o aumento da área de cobertura e o aumento da capacidade de tráfego das redes de comunicação móvel. O aumento da capacidade de tráfego nos sistemas de comunicação digitais foi conseguido através da utilização de um mesmo canal de frequência por mais de um usuário, através de divisão por código, como é o caso do CDMA IS-95 (*Code Division Multiple Access*), ou através de divisão no tempo, como no TDMA IS-136 (*Time Division Multiple Access*), GSM (*Global System for Mobile*) e PDC (*Personal Digital Cellular*) [9].

A Fig. 1.1 apresenta de forma simplificada a evolução das tecnologias de comunicação celular a partir das tecnologias 2G.

O TDMA, também conhecido como D-AMPS (*Digital AMPS*), IS-136 ou US-TDMA utiliza o espectro de frequência de 850 MHz e 1900 MHz e foi um dos primeiros sistemas digitais a iniciar a substituição dos sistemas analógicos. Através de divisão no tempo, cada canal de 30kHz de

espectro é compartilhado entre três chamadas, aumentando assim a capacidade de tráfego em relação aos sistemas analógicos. Os sistemas GSM também utilizam divisão por tempo para múltiplo acesso e foram projetados com canais de 200kHz que suportam oito *slots* de tempo. O padrão GSM surgiu comercialmente na Europa, no início dos anos 90 e utiliza tecnologia de comutação por circuito. Já o GPRS (*General Packet Radio Service*) utiliza a comutação por pacotes para prover serviço de transmissão de dados através dos canais GSM. O GPRS utiliza até oito *timeslots* de um canal GSM e teoricamente poderia atingir até 162.8 kbps. Atualmente os terminais em operação atingem taxa de pico de 49.4 kbps.

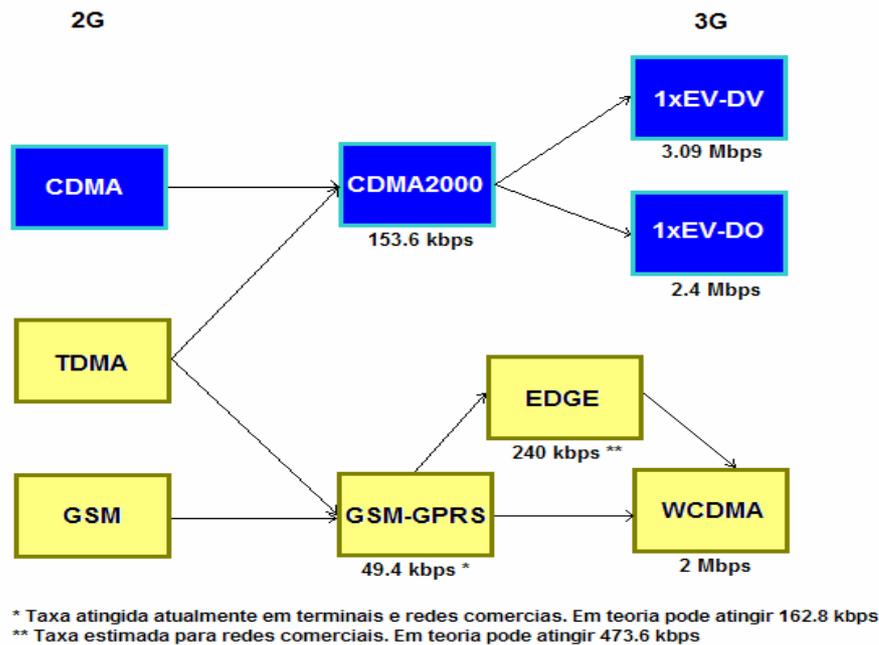


Figura 1.1 – Evolução das tecnologias de comunicação celular

Seguindo na linha do GSM, o EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) é um padrão desenvolvido visando prover taxas de transmissão de dados mais altas que o GPRS na mesma banda de 200 kHz, através de melhorias implementadas na modulação e na codificação que aumentam a eficiência da utilização do espectro. Desta forma, em teoria, é possível obter taxas de até 473.6 kbps [18].

O CDMA, também conhecido como IS-95, consegue alocar múltiplos usuários em uma mesma faixa de frequência de banda larga e, ao contrário das tecnologias TDMA e GSM, separa a transmissão de cada usuário através de diferentes códigos. Desta forma os usuários utilizam a portadora de 1.25 MHz ao mesmo tempo. Suas transmissões, que são diferenciadas com os códigos Walsh, ocupam toda a portadora através da técnica de espalhamento espectral.

O padrão IS-95A que define a tecnologia CDMA foi introduzido comercialmente em 1995, suportando comutação de voz por circuito e taxas de dados de até 14.4 kbps. Projetado para atender principalmente ao tráfego de voz, o tráfego de dados é também transmitido através dos canais de

tráfego. Com modulação BPSK e espalhamento de códigos Walsh de 64, o sistema atinge taxa de dados de 9.6 kbps na configuração de rádio 1 e de 14.4kbps na configuração de rádio 2.

No padrão IS-95B os canais de tráfego foram divididos em fundamentais e suplementares, permitindo a taxa de dados de pico de 64 kbps.

Os sistemas de comunicação móvel de geração 2.5G foram desenvolvidos visando aumentar a capacidade de tráfego dos sistemas 2G, melhorando também a qualidade dos serviços e provendo taxas de transmissão de dados mais altas através da comutação de dados por pacotes. O CDMA2000, definido pelo padrão IS-2000, nas revisões 0, A e B, foi projetado para prover tráfego de dados através de comutação por pacote, atingindo taxas de até 153.6 kbps na revisão A e de 307.2 kbps na revisão B, mantendo compatibilidade com os sistemas IS-95.

Através da modulação QPSK e do espalhamento de códigos Walsh variável, o CDMA2000 revisão 0 provê taxas de transmissão de dados bem maiores que as do IS-95B. Com estas modificações, a taxa de dados de pico chega a 153.6 kbps por canal suplementar na configuração de rádio 3.

O CDMA2000 já foi implantado utilizando diversos espectros de frequência como 450 MHz, 800 MHz e 1900 MHz, entre outros.

Na revisão A aprovada em 2000, o padrão CDMA2000 define a sinalização completa para as configurações de rádio 6, 7, 8 e 9, incluindo também a codificação convolucional e turbo na modulação QPSK. O padrão CDMA2000 revisão B aprovado em 2001 concentra suas melhorias na camada MAC, não apresentando maiores modificações no enlace de rádio.

Os sistemas de terceira geração (3G) foram definidos pelo IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications*) como os sistemas que atendem determinados requisitos, entre eles destacam-se: transmissão de dados em alta velocidade, atingindo pelo menos 2 Mbps em ambientes de condições favoráveis, transmissão de dados simétrica e assimétrica, comutação por circuito e comutação por pacotes e fornecimento de serviços multimídia. Atualmente, os padrões que atendem estes requisitos são: seguindo a linha de evolução do GSM, o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), e seguindo a linha de evolução do CDMA, o 1xEV-DO (*1x Evolution Data Only*) e o 1xEV-DV (*1x Evolution for Data and Voice*).

O padrão WCDMA, também conhecido como UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) define taxas de transmissão de dados de até 2 Mbps no enlace direto (sentido de transmissão da estação rádio base para a estação móvel), utilizando a técnica de multiplexação por divisão de código e ocupando 5 MHz de espectro por portadora.

O 1xEV-DO, definido pelo padrão IS-856 foi otimizado para prover serviços que exigem transmissão de dados em altas taxas, não suportando tráfego de voz. Este padrão atinge até 2.4576 Mbps de taxa de dados no enlace direto e 153.6 kbps no enlace reverso (sentido de transmissão da estação móvel para a estação rádio base), utilizando a mesma portadora CDMA de 1.25 MHz.

Na linha de evolução do CDMA2000, o 1xEV-DV, definido nas revisões C e D do padrão IS-2000, é a tecnologia de terceira geração capaz de prover taxas de transmissão de dados por pacotes de até 3.0912 Mbps no enlace direto, e de até 1.8456 Mbps no enlace reverso definida recentemente na revisão D. O padrão 1xEV-DV mantém compatibilidade com o CDMA2000 e com o padrão IS-95. A revisão C foi desenvolvida de Setembro de 2000 à Maio de 2002 e o padrão foi aprovado para publicação em Maio de 2002. A revisão D foi desenvolvida na sequência, de Fevereiro de 2003 à Fevereiro de 2004, e publicada em 13 de Fevereiro de 2004.

Para a transmissão de dados em alta velocidade e maior eficiência da utilização do espectro, o 1xEV-DV utiliza para transmissão de dados no enlace direto, a multiplexação por divisão de tempo (TDM), mas permite também a implementação da multiplexação por divisão de código (CDM).

O 1xEV-DV, desenvolvido como a evolução natural do CDMA, permite que as operadoras evoluam suas redes provendo continuidade aos serviços existentes. Desta forma, os serviços de voz e dados continuam sendo suportados na mesma portadora CDMA. A Fig. 1.2 mostra a evolução da tecnologia CDMA, do IS-95A ao CDMA2000 revisão D. O 1xEV-DV é compatível com os padrões IS-95A, IS-95B e CDMA2000 1X e permitirá a migração de sistemas 1X para sistemas 1xEV-DV preservando os serviços existentes.

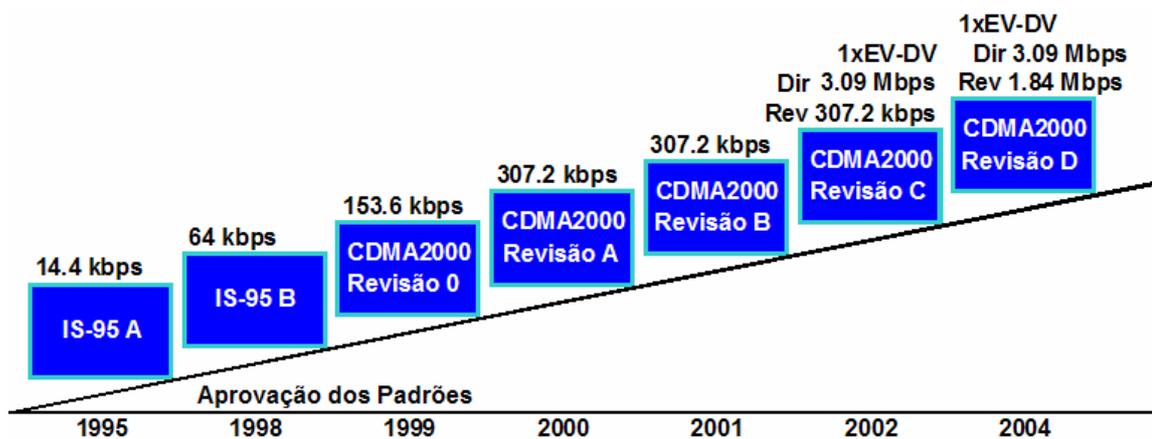


Figura 1.2 – Evolução do padrão CDMA

Além disto, é possível que os usuários utilizem simultaneamente os serviços de altas taxas de dados e chamada de voz. Para a operadora, a tecnologia 1xEV-DV proporciona a utilização mais eficiente do espectro, permitindo o balanceamento entre o tráfego de voz e de dados de acordo com o perfil de seus usuários.

Entre as tecnologias de terceira geração de sistemas de comunicação móvel definidas, este estudo é direcionado ao padrão 1xEV-DV. O 1xEV-DV tem sido alvo de intensa pesquisa, entretanto a maioria dos estudos publicados aborda o funcionamento e projeto do sistema. Em [5] a visão geral do sistema 1xEV-DV é apresentada, mostrando a alta capacidade para transmissão de dados do enlace direto, utilização de uma única portadora para transmissão de voz e dados e

compatibilidade do padrão com as tecnologias CDMA anteriores. O artigo apresenta os novos canais introduzidos na revisão C, as taxas de transmissão de dados atingidas no enlace direto e as principais técnicas utilizadas. Em [6] o foco são as principais técnicas implementadas, como Modulação e Codificações Adaptativa, Multiplexação TDM/CDM e HARQ. Em [7] o sistema 1xEV-DV e as modificações introduzidas na revisão C são apresentadas, descrevendo as principais técnicas implementadas no sistema e os novos canais. O artigo [9] apresenta o sistema 1xEV-DV descrevendo em detalhes a interface aérea e as principais técnicas implementadas. O artigo apresenta um histórico das comunicações móveis e também a tendência para tecnologias 3.5G e 4G. Em [20], os novos canais necessários para prover altas taxas de transmissão de dados no sistema 1xEV-DV são apresentados. O artigo [21] também discute os novos canais introduzidos na revisão C. Em [24] a revisão D do sistema 1xEV-DV é descrita, focando nas melhorias em relação à revisão C, e em [30] as melhorias implementadas na revisão D do padrão 1xEV-DV também são apresentadas.

O enlace reverso do 1xEV-DV é alvo de estudo em [10] e em [11] onde um esquema de controle de taxa de dados é proposto. A interface aérea do sistema 1xEV-DV é estudada em [8], onde as melhorias implementadas nas revisões C e D são apresentadas e o desempenho da interface aérea considerando modelo de canal multi-percurso é estudado. Em [12] o desempenho do sistema 1xEV-DV é estudado com foco na interface aérea, baseado na revisão C. No artigo [19] a degradação da capacidade do sistema 3G1x com a operação simultânea de chamadas de voz 3G1x e chamadas de dados 1xEV-DV é estudada. Este estudo apresenta uma metodologia para calcular a interferência resultante.

Em [13], o desempenho do sistema é avaliado, considerando-se a interface aérea e apenas o tráfego de dados FTP (*File Transfer Protocol*). Em [29] o foco do estudo é a capacidade do sistema 1xEV-DV suportar e satisfazer os requerimentos de qualidade de serviço para tráfego de dados e de voz. Para isto uma arquitetura é proposta na tentativa de solucionar o problema, buscando aumentar a vazão de dados sem sacrificar a qualidade dos serviços.

Nos estudos descritos acima, não é abordado o desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV considerando o modelo de filas, variações de escalonamento e avaliação da implementação da técnica TDM e CDM com fontes baseadas em modelos de tráfego de dados real, como WAP (*Wireless Application Protocol*), HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) e FTP, descritos em [4]. Este foi o objetivo deste trabalho, para o qual foi desenvolvido um simulador do enlace direto do sistema 1xEV-DV em *Matlab*. Este simulador trata os pacotes que chegam à estação rádio base, originários da rede fixa, e que devem ser transmitidos para diferentes usuários. Os pacotes passam pelo processamento de atendimento no simulador, que inclui o escalonamento, e então são encaminhados para a interface aérea.

A contribuição mais importante deste trabalho é a obtenção de parâmetros de desempenho como o tempo de atraso de pacotes, a vazão de dados e a utilização do sistema em função do carregamento de tráfego para diversos tipos de escalonadores que permitem uma avaliação da

eficácia do sistema 1xEV-DV. São considerados cenários que utilizam escalonamento de pacotes sem prioridade e escalonamento com prioridade de taxas de dados. A análise quantitativa do ganho no desempenho devido a técnica de multiplexação por divisão de códigos (CDM) no enlace direto do 1xEV-DV também é uma importante contribuição deste estudo.

A utilização dos modelos de tráfego WAP, HTTP e FTP tornam as simulações mais confiáveis por considerar fontes mais próximas do tráfego de dados real do que simulações realizadas com modelos de tráfego teóricos como Poisson. Isto foi verificado na comparação do desempenho do sistema 1xEV-DV com tráfego WAP, HTTP e FTP ao desempenho do sistema com tráfego poissoniano. Assim, este trabalho contribui também com a implementação das fontes de tráfego WAP, HTTP e FTP em *Matlab* que permitem simulações mais realistas.

Para a análise do desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV, a distribuição entre os tráfegos de dados HTTP, WAP e FTP foram variadas de forma a avaliar o impacto de diferentes perfis de tráfego no sistema.

O capítulo 2 apresenta a descrição do sistema 1xEV-DV, suas principais características e as técnicas utilizadas que permitem atingir altas taxas de transmissão de dados no enlace direto e reverso. São descritos também o canal de tráfego de dados do enlace direto F-PDCH (*Forward Packet Data Channel*), as técnicas de modulação, codificação e multiplexação adaptativa, e a alocação dinâmica de códigos Walsh.

Os modelos de simulação são descritos no capítulo 3, incluindo os parâmetros utilizados e as premissas consideradas. São apresentados os modelos de implementação das fontes de tráfego de dados WAP, HTTP e FTP e as distribuições obtidas.

No capítulo 4, são apresentados os cenários considerados e os resultados obtidos nas simulações e suas análises. As conclusões são apresentadas no capítulo 5.

O Apêndice A apresenta o modelo analítico do tráfego de Poisson utilizado nas simulações comparativas. O Apêndice B apresenta a estrutura do programa de simulação do sistema 1xEV-DV implementado, descrevendo o programa principal através de um diagrama de blocos e reproduzindo o código das fontes de tráfego WAP, HTTP e FTP.

Os artigos publicados são apresentados no Apêndice C. O primeiro artigo, intitulado *Estudo de Desempenho do Sistema 1xEV-DV no Enlace Direto* apresenta o estudo do enlace direto do sistema 1xEV-DV com tráfego poissoniano. O segundo artigo, *Forward Link Performance Study of the 1xEV-DV System*, também apresenta o estudo do sistema com tráfego poissoniano, comparando o sistema implementado ao modelo teórico de filas. O terceiro artigo, intitulado *Forward Link Performance Study of the 1xEV-DV System under HTTP Traffic*, apresenta o estudo do desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV com tráfego de dados HTTP.

# Capítulo 2

## O Sistema 1xEV-DV

### 2.1 Introdução

1xEV-DV é um sistema de comunicações sem fio de terceira geração, baseado em CDMA e desenvolvido com o objetivo de alcançar altas taxas de transmissão de dados, permitindo a utilização de diversas aplicações de dados, inclusive aplicações em tempo real. O 1xEV-DV é uma evolução do sistema CDMA2000 1X, sendo definido nas revisões C e D do padrão IS-2000.

O princípio fundamental do 1xEV-DV é a utilização dinâmica dos recursos. Este princípio busca garantir que os recursos do sistema, como a potência de transmissão e os códigos Walsh, sejam utilizados da forma mais eficiente possível. Estes recursos podem ser alocados para usuários de voz em um instante e, 1.25 milissegundos depois, podem ser alocados para a transmissão de dados e vice-versa.

Portadoras 1xEV-DV designadas apenas para a transmissão de dados também são beneficiadas por esta técnica, que proporciona maior vazão de dados. Esta flexibilidade é o que permite ao 1xEV-DV atingir a maior capacidade do sistema possível, utilizando ao máximo todos os recursos disponíveis, ao contrário de sistemas com alocação rígida de *timeslots*, potência, espectro ou códigos.

O padrão IS-2000 revisão C tem a maioria de suas modificações e melhorias concentradas no enlace direto (comunicação no sentido da estação rádio base para o terminal móvel), permitindo atingir a taxa de dados de pico de até 3.0912 Mbps neste enlace [1].

A revisão D do padrão IS-2000 concentra suas melhorias no enlace reverso (comunicação no sentido do terminal móvel para a estação rádio base), com o objetivo de aumentar a capacidade de transmissão de dados deste enlace [2].

## 2.2 Utilização da Potência de Transmissão

Assim como no CDMA2000 1X, o tráfego de voz no 1xEV-DV é suportado por canais dedicados de divisão por código (CDM) e transportado através do canal fundamental (FCH) em taxas variáveis de até 14.4kbps.

No CDMA2000 1X o tráfego de dados por pacotes é transportado pelo canal suplementar (SCH) em velocidades de até 307.2 kbps nos enlaces direto e reverso [3].

Embora o 1xEV-DV seja a evolução do CDMA2000, existem diferenças fundamentais na utilização da potência disponível para o enlace direto entre o CDMA2000 e o 1xEV-DV. A Fig. 2.1 apresenta as diferenças na utilização de potência, comparando também ao 1xEV-DO [30].

Comparado ao CDMA2000, o 1xEV-DV busca um melhor aproveitamento da potência de transmissão utilizada no enlace direto. No CDMA2000, os canais de *overhead* (canal piloto, canal de sincronismo e canal de *paging*) têm potência fixa, e o restante da potência é utilizada pelos canais de tráfego. No entanto, conforme pode ser observado na Fig. 2.1a, parte da potência do enlace direto não é utilizada.

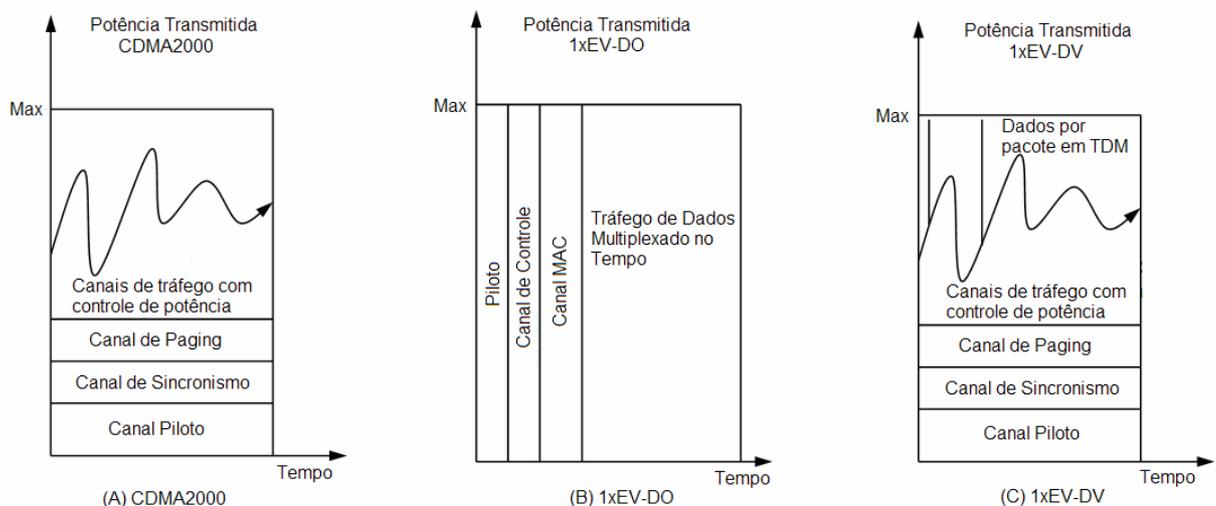


Figura 2.1 – Comparação de utilização de potência entre CDMA2000, 1xEV-DO e 1xEV-DV

Já o 1xEV-DO transmite em máxima potência constantemente. Como os canais são multiplexados em tempo, tanto os canais de *overhead* (canal piloto, canais de controle e canal MAC) como os canais de tráfego são transmitidos em potência máxima.

Assim como o CDMA2000, o 1xEV-DV transmite seus canais de *overhead* com potência fixa, entretanto a diferença é que o 1xEV-DV têm como objetivo utilizar a potência que é desperdiçada no CDMA2000 para a transmissão de dados em alta velocidade. Para isto, o 1xEV-DV utiliza tanto a multiplexação por divisão no tempo como a multiplexação por divisão de código. Desta forma, a

potência que não é utilizada no CDMA2000 é utilizada para os novos canais de dados do 1xEV-DV.

## 2.3 Estrutura de Canais no Enlace Direto

Na estrutura dos canais do 1xEV-DV, todos os canais dos sistemas IS-95 e CDMA2000 são suportados, desta forma uma estação rádio base que suporta serviços 1xEV-DV pode também prover serviços das tecnologias CDMA anteriores: IS-95 e CDMA2000.

A Fig. 2.2 apresenta a estrutura dos canais do enlace direto do 1xEV-DV [2]. Os canais existentes no CDMA2000 são mostrados em branco.

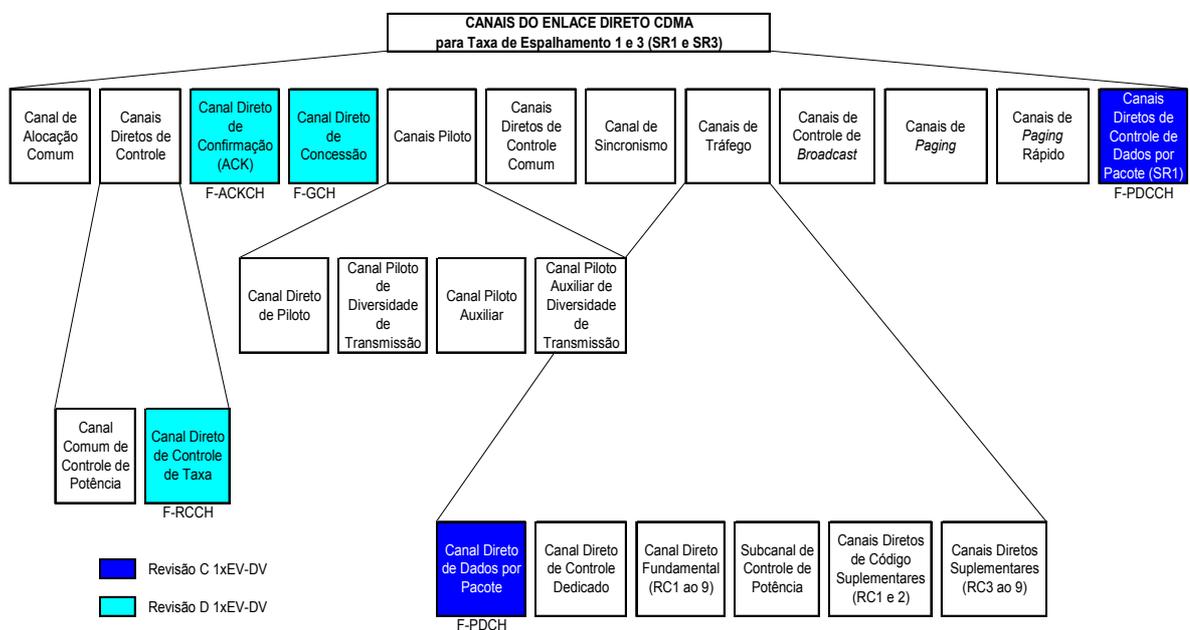


Figura 2.2 – Estrutura dos Canais do Enlace Direto

Os novos canais do enlace direto, introduzidos na revisão C do IS-2000, que permitem que o sistema atinja altas taxas de transmissão de dados, são o F-PDCH (*Forward Packet Data Channel*) e o F-PDCCH (*Forward Packet Data Control Channel*). O F-PDCH transporta o tráfego de dados, enquanto que o F-PDCCH fornece as informações necessárias ao móvel para decodificar os dados do F-PDCH.

Na revisão D, foram acrescentados outros três canais no enlace direto, o F-GCH (*Forward Grant Channel*), o F-RCCH (*Forward Rate Control Channel*) e o F-ACKCH

(*Forward Acknowledgement channel*). Estes três novos canais foram introduzidos com o objetivo de suportar a operação do enlace reverso.

### 2.3.1 F-PDCH

Para o tráfego de dados por pacotes, o 1xEV-DV introduz o F-PDCH *Forward Packet Data Channel* (canal de dados por pacote do enlace direto). Este novo canal compartilhado permite que o 1xEV-DV suporte de forma flexível os serviços de dados através dos canais dedicados (SCH), dos canais compartilhados (F-PDCH), ou de uma combinação de canais dedicados e compartilhados.

O F-PDCH é o principal canal de pacote de dados no enlace direto, sendo compartilhado pelos usuários. O F-PDCH pode ser compartilhado pelos usuários através de multiplexação por divisão no tempo, e também por multiplexação por divisão de código, utilizando a potência e os códigos Walsh disponíveis.

Por ser um canal compartilhado, o F-PDCH não pode fazer *soft-handoff*, requer canais de suporte nos enlaces direto e reverso e, para a adaptação rápida do enlace, possui tamanho de *timeslot* relativamente pequeno, de até 5ms [5]. Entretanto, é através do F-PDCH que o 1xEV-DV consegue atingir altas taxas de transmissão, de até 3.0912 Mbps de pico.

As principais técnicas aplicadas ao F-PDCH que permitem as altas taxas de transmissão de dados são a Modulação e Codificação Adaptativa, a Multiplexação TDM/CDM, o Protocolo ARQ Híbrido, a Redundância Incremental Adaptativa Assíncrona, e o Gerenciamento de Códigos Walsh.

#### 2.3.1.1 Modulação e Codificação Adaptativa

No 1xEV-DV, a modulação e a codificação do enlace direto são alteradas em tempo real para melhor se adaptarem ao ambiente de propagação de RF. É o esquema de adaptação do enlace, no qual a estação rádio base aloca aos usuários a melhor modulação e taxa de codificação para as condições do canal em cada instante.

A implementação da Modulação e Codificação Adaptativa permite que os usuários tenham acesso a serviços que não estavam disponíveis nas tecnologias CDMA anteriores. Isto é atingido através da mudança do esquema de modulação e de codificação de acordo com as variações das condições do enlace direto. Ou seja, a realimentação da qualidade de canal é utilizada para ajudar a determinar a taxa de dados ótima para o F-PDCH. Assim, a duração do quadro de RF, o número de bits por quadro de RF e a modulação variam continuamente para se adaptar às condições de propagação do enlace direto. No 1xEV-DV, a duração do quadro de RF pode ser 1.25, 2.5 ou 5

milissegundos. A quantidade de bits por quadro de RF pode variar de 408 a 3864 bits e as técnicas de modulação disponíveis são QPSK, 8-PSK e 16-QAM.

Desta forma, o sistema 1xEV-DV é beneficiado pelo algoritmo de agendamento que considera as condições de propagação de RF, maximizando a utilização do espectro através da eficiente utilização de recursos. Este algoritmo é um mecanismo flexível que permite atingir taxas de transmissão de dados de até 3.09 Mbps.

Nos sistemas de comunicação móveis tradicionais, a taxa de código e a modulação fixa são escolhidas baseado em um compromisso entre a vazão de dados e a robustez do sistema. No 1xEV-DV, a vazão do enlace é maximizada, já que a melhor combinação de modulação e codificação é escolhida a cada instante, através das condições de propagação informadas pelo móvel. Assim, ordens mais altas de modulação e baixas taxas de codificação são escolhidas para condições de propagação favoráveis, enquanto que em condições desfavoráveis de propagação, ordens mais baixas de modulação e taxas de codificação mais conservadoras podem ser escolhidas para minimizar as retransmissões.

A Tab. 2.1 apresenta as taxas de transmissão de dados definidas no padrão 1xEV-DV. A taxa de transmissão de dados do 1xEV-DV pode variar de 81.6kbps a 3.09Mbps, dependendo do tamanho do pacote, da duração do quadro de RF e da modulação utilizada. Para a maioria das taxas de transmissão de dados, o padrão 1xEV-DV define mais do que uma opção possível de modulação. A quantidade de *slots* por sub-pacote representa o tempo de 1.25 milissegundos de cada quadro de RF.

Tabela 2.1 – Taxas de transmissão de dados 1xEV-DV no enlace direto

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Tamanho do Pacote (bits)	Quantidade de Slots por subpacote	Modulação
81.6	408	4	16-QAM/QPSK
158.4	792	4	16-QAM/QPSK
163.2	408	2	16-QAM/QPSK
312	1560	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
316.8	792	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
326.4	408	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
465.6	2328	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
619.2	3096	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
624	1560	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
633.6	792	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
772.8	3864	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
931.2	2328	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1238.4	3096	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1248	1560	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
1545.6	3864	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1862.4	2328	1	16-QAM/8-PSK
2476.8	3096	1	16-QAM
3091.2	3864	1	16-QAM

### 2.3.1.2 Multiplexação TDM/CDM

A multiplexação adaptativa TDM/CDM é uma técnica opcional e exclusiva do 1xEV-DV, que maximiza a utilização de recursos através da escolha da quantidade de *timeslots* e também da quantidade de códigos Walsh alocados a um usuário. Desta forma o F-PDCH pode ser compartilhado por até dois usuários em um mesmo *timeslot*, diferenciados através dos códigos Walsh.

A técnica TDM permite que uma mesma portadora atenda diferentes usuários, dedicando um intervalo de tempo ao atendimento de cada um. Já a técnica CDM permite que os dados de diferentes usuários sejam transmitidos em uma mesma portadora ao mesmo tempo, diferenciando os dados dos usuários através de códigos.

A habilidade do 1xEV-DV de multiplexação TDM e CDM é muito interessante considerando que diferentes aplicações de dados demandam diferentes tamanhos de pacotes. Assim, para a transferência de pacotes grandes, como na transferência de arquivos, o TDM é a melhor opção. Já no caso de várias estações móveis transferindo pequenos pacotes, o TDM combinado ao CDM torna-se mais eficiente.

Além disto, para melhorar a eficiência espectral, no 1xEV-DV os recursos podem ser agendados de forma inteligente, porque a informação de qualidade do canal do enlace direto está disponível para a estação base (através do novo canal R-CQICH introduzido no enlace reverso, detalhado na seção 2.4.1). Desta forma, para um móvel que esteja passando por desvanecimento de sinal, os recursos podem ser alocados apenas quando a qualidade do canal estiver melhor, evitando desperdício de recursos e atendendo os móveis com taxas maiores.

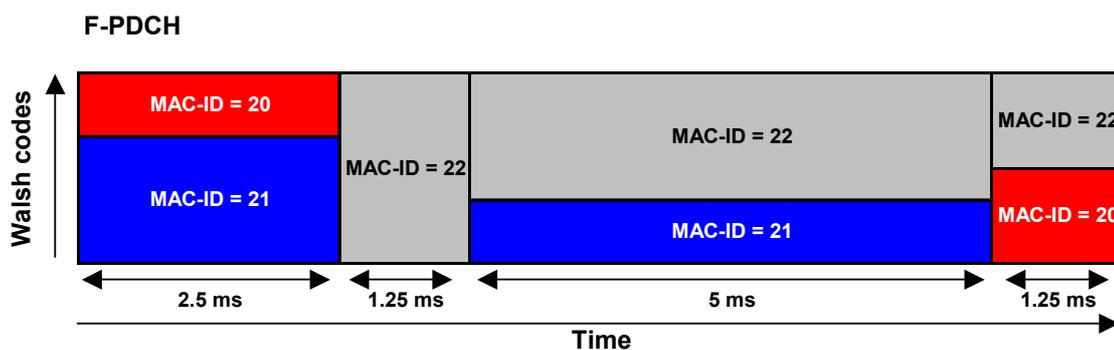


Figura 2.3 – Utilização do F-PDCH com multiplexação adaptativa TDM/CDM

A Fig. 2.3 apresenta um exemplo de compartilhamento de *timeslots* e códigos Walsh entre múltiplos usuários no F-PDCH utilizando a multiplexação TDM/CDM. Neste exemplo, 3 usuários estão compartilhando o F-PDCH. Inicialmente o usuário com MAC-ID 20 e o usuário com MAC-ID 21 compartilham os códigos Walsh durante 2.5 milissegundos (equivalente a 2 *timeslots*) e, em

seguida, pela alocação dinâmica de recursos, um terceiro usuário, com MAC ID 22 utiliza 1 *timeslot* de forma exclusiva, ou seja, utiliza todos os Walsh Codes disponíveis. Após este *timeslot*, o F-PDCH volta a ser compartilhado, desta vez pelos usuários MAC ID 22 e MAC ID 21 durante 4 *timeslots* e, na sequência, o *timeslot* seguinte é alocado para os usuários MAC ID 22 e MAC ID 20 com uma distribuição de códigos Walsh diferente da anterior. O F-PDCH pode ser alocado para um único usuário, sendo que a decisão de alocação do F-PDCH é feita pelo escalonador de F-PDCH da estação rádio base, que pode considerar a prioridade do serviço do usuário e a quantidade de dados que será transmitida por cada usuário.

### 2.3.1.3 Protocolo HARQ - Hybrid Automatic Repeat Request

No 1xEV-DV, o protocolo HARQ tipo II é utilizado para prover uma transmissão confiável no F-PDCH. É basicamente um protocolo de *stop-and-wait* proveniente do protocolo ARQ que migrou da camada MAC para a camada física no 1xEV-DV [6].

O protocolo ARQ Híbrido aumenta a vazão de dados e cria um código mais poderoso, através da combinação das tentativas de transmissão que falharam, com a última tentativa, ao invés de descartar as tentativas falhas.

A Fig. 2.4 apresenta um exemplo do funcionamento do protocolo HARQ, onde o F-PDCH transmite pacotes ao usuário 1 e 2. O 1xEV-DV apresenta no máximo 4 canais HARQ. Desta forma, após a transmissão do quarto pacote ao usuário 1, a estação rádio base precisa receber o ACK (*acknowledge*) ou NACK (*non-acknowledge*) do usuário 1 para enviar outro pacote para este usuário. Quando a estação rádio base recebe um NACK, a retransmissão do pacote é agendada, e dependendo da qualidade do enlace, o pacote pode ser retransmitido com diferente codificação, modulação e duração de tempo.

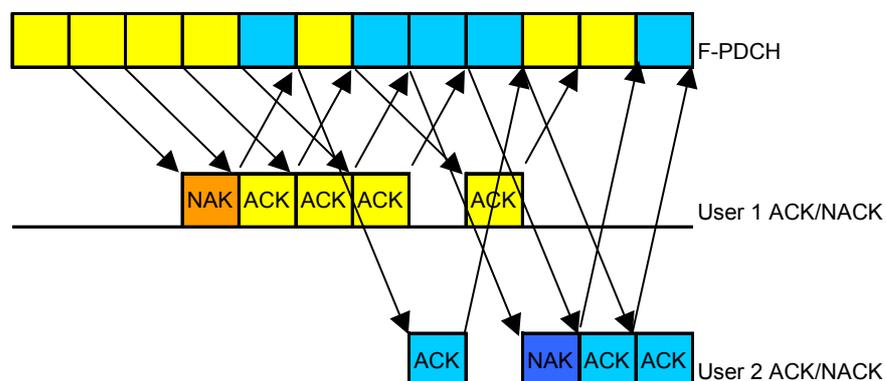


Figura 2.4 – Funcionamento do Protocolo HARQ

### 2.3.1.4 AAIR – Redundância Incremental Adaptativa Assíncrona

Para maximizar a eficiência espectral do sistema 1xEV-DV, a modulação e a codificação utilizadas no F-PDCH, que determinam a taxa de transmissão dos dados, precisam ser otimizadas de acordo com a qualidade de canal de interface aérea do enlace de transmissão.

A solução adotada no sistema 1xEV-DV foi a adaptação do enlace conhecida como AAIR (*Asynchronous Adaptive Incremental Redundancy*). A técnica AAIR é assíncrona, porque as retransmissões podem ser feitas em tempos flexíveis. É também adaptativa, porque permite a escolha de diferentes taxas de dados para retransmissão, e a redundância incremental é referente à transmissão de símbolos adicionais para correção de erros em resposta à cada retransmissão solicitada.

Através da técnica de AAIR, as informações de qualidade de canal recebidas pela estação rádio-base são utilizadas para determinar a melhor taxa de dados do F-PDCH para cada usuário. Da forma como foi implementada no 1xEV-DV, a técnica AAIR permite adaptação do enlace a cada 1.25 milisegundos.

Mesmo para a retransmissão de dados, a AAIR permite a escolha de uma taxa de dados diferente da transmissão anterior, dependendo da informação mais recente sobre a qualidade do canal.

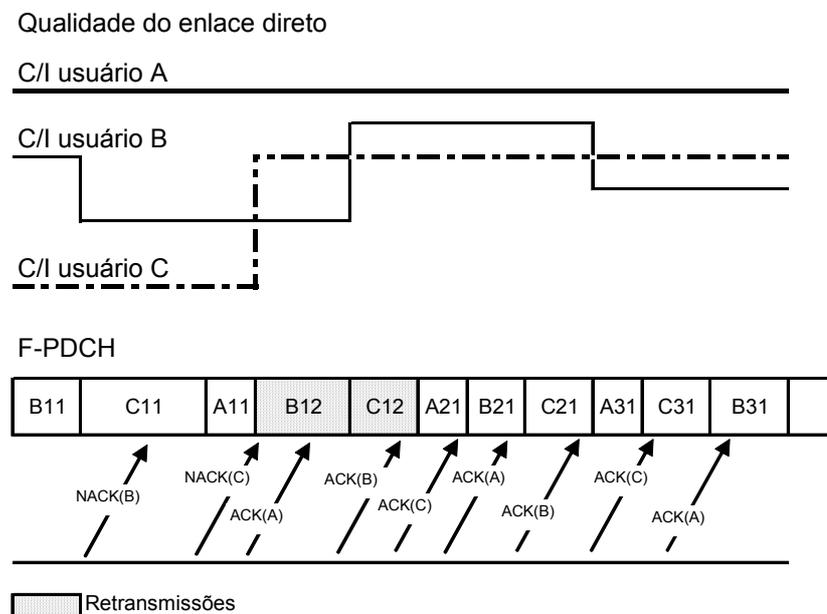


Figura 2.5 – Redundância Incremental Adaptativa Assíncrona

No exemplo da Fig. 2.5 podemos observar o tempo não sincronizado para as retransmissões, a quantidade de redundância variável em resposta a qualidade do enlace direto e a multiplexação flexível com duração de tempo variável. O usuário A, que permanece com nível de sinal constante, recebe todos os pacotes com mesmo tamanho de *slot*. Já o usuário B, que inicia com nível de sinal alto, quando o sinal cai, o tamanho do *slot* utilizado para a retransmissão é maior que o anterior, e após esta retransmissão, quando o sinal aumenta, o *slot* utilizado é menor novamente. O usuário C, que inicia com nível de sinal baixo e *slots* maiores, quando tem o sinal aumentado, começa a receber pacotes com tamanho de *slot* menores. Em todos estes casos o tamanho dos *slots* representa não apenas a variação na duração do tempo de transmissão, mas também a quantidade de redundância variável e a multiplexação flexível.

### 2.3.1.5 Gerenciamento dos Códigos Walsh

No 1xEV-DV, um dos objetivos do F-PDCH é a utilização dos códigos Walsh e da potência não utilizada nos canais de tráfego dedicados e canais de *overhead* para a transmissão de dados em alta velocidade.

Para maximizar a utilização dos códigos Walsh, permitindo assim uma maior vazão de dados no sistema 1xEV-DV, a estação rádio base utiliza mecanismos para informar o mapa de códigos Walsh para as estações móveis. Desta forma, a estação rádio base envia o mapa de códigos Walsh inicial através da mensagem de alocação de canal, envia atualizações deste mapa através da mensagem de direção de *handoff* universal, e também pode enviar em *broadcast* o mapa de códigos Walsh através do F-PDCCCH.

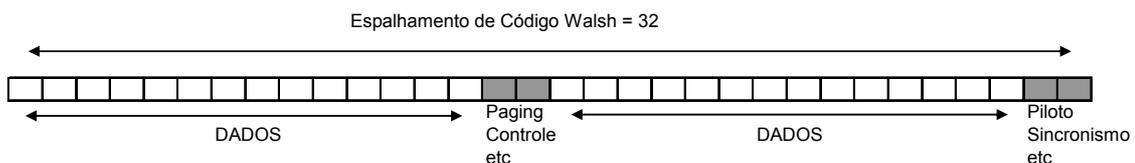


Figura 2.6 – Códigos Walsh com espanhamento 32 alocados para F-PDCH

O F-PDCH foi projetado para que uma grande quantidade de códigos de comprimento 32 possa ser utilizada. O comprimento 32 para o espaço Walsh foi escolhido visando uma melhor relação custo-benefício entre a vazão e a complexidade do sistema [5]. A Fig. 2.6 mostra os códigos Walsh com espalhamento 32 sendo utilizados apenas para a transmissão de dados no F-PDCH. Quatro códigos Walsh são utilizados para os canais de *overhead*, e desta forma, 28 códigos Walsh podem

ser utilizados para a transmissão de dados no F-PDCH. Nesta condição a portadora atinge a máxima taxa de transmissão de dados do 1xEV-DV, chegando à 3.09 Mbps.

Caso seja necessário que a mesma portadora suporte serviços CDMA2000, a alocação dos 28 códigos Walsh é reduzida. Desta forma, uma operadora que aloca 50% de seus recursos para serviços de voz e 50% para serviços de dados 1xEV-DV, terá disponível 14 códigos Walsh para a transmissão de dados, atingindo a taxa de transmissão de dados máxima de 1.54 Mbps. Entretanto, esta alocação de códigos Walsh não é estática, ao contrário, o principal benefício do 1xEV-DV é a alocação dinâmica dos recursos. Assim, os códigos Walsh que em um instante estão alocados para a transmissão de dados no F-PDCH, podem ser liberados, caso necessário, para a transmissão de tráfego de voz no instante seguinte e vice-versa.

O padrão IS-2000, revisões C e D, definem as possíveis quantidades de códigos Walsh necessárias por taxa de transmissão de dados, como mostra a Tab. 2.2. A quantidade de códigos Walsh por taxa de dados dependerá da implementação de cada fornecedor.

Tabela 2.2 – Códigos Walsh por taxa de transmissão de dados no enlace direto

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Quantidade de códigos Walsh		
	16-QAM	8 - PSK	QPSK
81.6	1	-	4/3/2
158.4	2	-	11/6/4/3
163.2	2	-	8/5/4/3
312	4/3	5	15/9/7/6
316.8	4/3	5	19/11/8/7/6
326.4	4/3	5	19/11/8/7/6
465.6	6/5/4	8/7	20/14/11/9
619.2	6/5/4	8/7	20/16/13/11
624	6/5/4	8/7	20/15/13/11
633.6	6/5/4	8/7	19/15/13/11
772.8	9/8/7	12/11	19/16/14
931.2	11/10/9/8	15/13	23/20/17
1238.4	15/12/11	21/19/17	25/22/13
1248	15/13/12/11	21/19/17	25/22
1545.6	19/17/15/14/13	25/23/21	27
1862.4	23/20/18/16	28/25	-
2476.8	26/23/21	-	-
3091.2	26	-	-

### 2.3.2 F-PDCCH

Como o canal de dados do 1xEV-DV é compartilhado e dedicado por pequenos períodos de tempo (1.25, 2.5 ou 5ms), é necessário um canal de controle para o F-PDCH, responsável por fornecer à estação móvel toda a informação necessária para identificar e decodificar os dados do F-

PDCH corretamente. Este canal de controle que foi introduzido na revisão C do padrão 1xEV-DV é o F-PDCCH (*Forward Packet Data Control Channel*).

As principais informações transmitidas no F-PDCCH são: o MAC-ID, o tamanho do pacote do F-PDCH, a quantidade de *timeslots* por sub-pacote e o último índice de código Walsh. A mensagem transmitida pelo F-PDCCH é apresentada na Fig. 2.7.

O MAC-ID é o identificador de 8 bits conhecido pela estação móvel e pela estação rádio base que identifica para qual estação móvel os dados do F-PDCH estão sendo transmitidos. O MAC-ID é estabelecido no *setup* da chamada e permanece associado a um determinado usuário durante toda a duração da chamada.

MAC_ID (8 bits)	EP_Size (3 bits)	ACID (2 bits)	SPID (2 bits)	AI_SN (1 bit)	LWCI (5 bits)
--------------------	---------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

MAC\_ID: Identificador MAC da estação móvel

EP\_Size: Tamanho do pacote

ACID: Identificação do canal ARQ

SPID: Identificação do subpacote

AI\_SN: Número de sequência identificador de ARQ

LWCI: Mais recente índice de código Walsh

Figura 2.7 – Mensagem F-PDCCH

Na Fig. 2.7, o tamanho do pacote F-PDCH (EP\_Size) indica o tamanho do pacote de F-PDCH sendo transmitido em determinado instante, e a quantidade de *timeslots* por sub-pacote indica quantos *slots* TDM estão sendo utilizados na transmissão. A informação de último índice de código Walsh (LWSI) é utilizada pela estação móvel para determinar qual código Walsh foi utilizado na transmissão dos dados. Esta informação permite a multiplexação por divisão de código no F-PDCH.

O F-PDCCH também carrega informação de identificação do canal ARQ (ACID), a identificação do sub-pacote (SPID) e o número de sequência do canal ARQ (AI\_SN).

O enlace direto do 1xEV-DV suporta dois canais F-PDCCH. Por este motivo, o F-PDCH pode ser compartilhado em CDM por até dois usuários em um mesmo *timeslot*. Estes dois canais são sincronizados com o F-PDCH, desta forma a estação móvel consegue facilmente utilizar a informação do F-PDCCH para decodificar e demodular os dados transmitidos pelo F-PDCH.

O F-PDCCH também pode ser utilizado para transmitir a informação do espaço Walsh em *broadcast*. Esta informação é transmitida através do F-PDCCH porque os códigos Walsh alocados ao F-PDCH podem mudar durante uma chamada e a estação móvel precisa ser informada. Quando o F-PDCCH transmite a informação de espaço Walsh, o MAC-ID é preenchido com zeros, como é mostrado na Fig. 2.8.

MAC_ID: 00000000	Informação de Espaço Walsh (13 bits)
---------------------	--------------------------------------

Figura 2.8 – Informação de espaço Walsh através do F-PDCCH

### 2.3.3 Outros canais do enlace direto

Além do F-PDCH e do F-PDCCH, a revisão D do padrão 1xEV-DV inclui os seguintes canais no enlace direto para suportar as altas taxas de dados do enlace reverso:

- F-GCH – O *Forward Grant Channel* foi introduzido para permitir que o 1xEV-DV suporte tanto o controle de taxa como de agendamento. Este canal é monitorado por todas as estações móveis do setor servidor e é utilizado para permitir que uma estação móvel acesse a rede e inicie sua transmissão com determinada taxa de dados.

- F-RCCH – O *Forward Rate Control Channel* facilita o controle de taxa de dados do móvel. Este canal tem apenas três estados, um para indicar que a potência de transmissão deve ser aumentada, um para indicar que a potência deve ser reduzida e um para indicar que a potência deve ser mantida.

- F-ACKCH – O *Forward Acknowledgment Channel* é utilizado para suportar o controle do protocolo ARQ híbrido do enlace reverso. Este canal foi adicionado para fornecer confirmações (ACK) síncronas para os pacotes de dados recebidos pela estação rádio-base.

## 2.4 Estrutura dos canais no enlace reverso

No enlace reverso, assim como no enlace direto, todos os canais existentes nos sistemas IS-95 e CDMA2000 são suportados no 1xEV-DV. Desta forma uma estação rádio-base que suporta 1xEV-DV pode também suportar estações móveis IS-95 ou CDMA2000. A estrutura de canais do enlace reverso do 1xEV-DV é apresentada na Fig. 2.9 [2].

Os novos canais do enlace reverso podem ser entendidos da seguinte forma: os dois primeiros canais introduzidos na revisão C do 1xEV-DV foram adicionados para suportar a operação do enlace direto. São eles o R-CQICH (*Reverse Quality Indicator Channel*) e o R-ACKCH (*Reverse Acknowledgment Channel*). Já os outros quatro canais introduzidos na revisão D do 1xEV-DV, incluindo o canal de dados por pacote do enlace reverso (R-PDCH), foram implementados para suportar altas taxas de transmissão de dados do enlace reverso.

No enlace reverso, na revisão C, mesmo sem a adição de um novo canal para tráfego de dados, a taxa de pico atinge 451.2 kbps. Já na revisão D do 1xEV-DV, com adição de novos canais, é possível atingir a taxa de pico de 1845.6 kbps no enlace reverso [2].

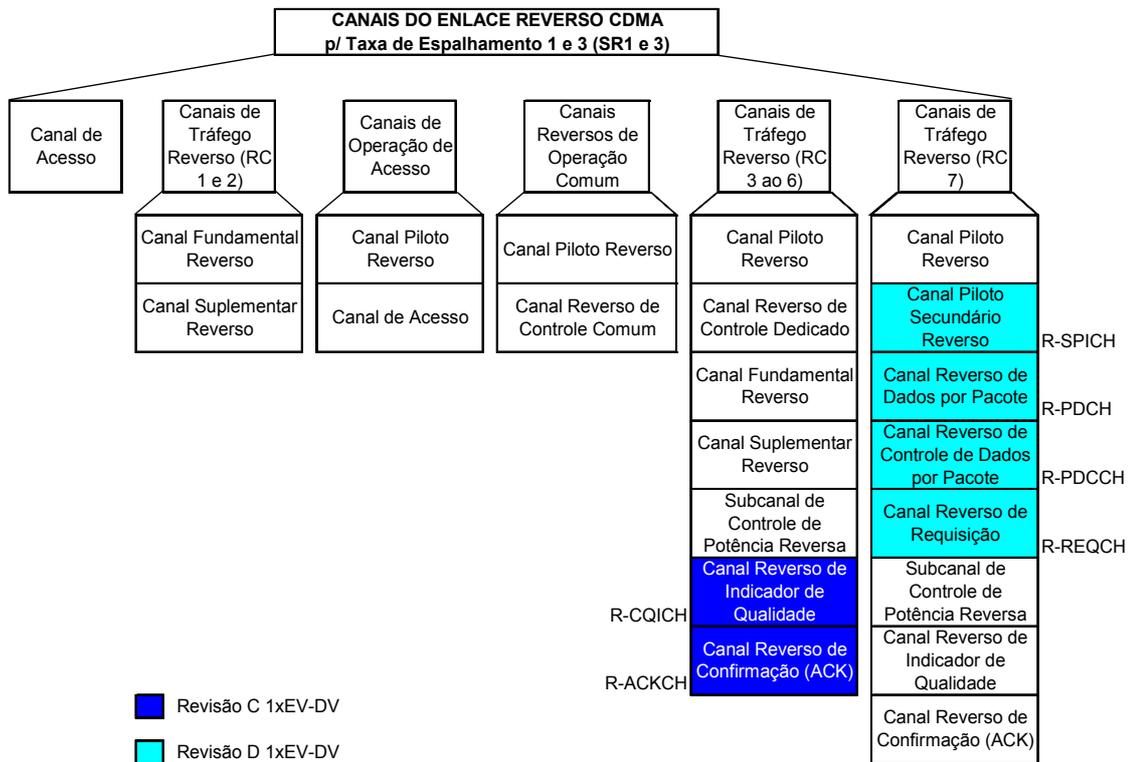


Figura 2.9 – Estrutura dos Canais do Enlace Reverso

### 2.4.1 R-CQICH

O canal R-CQICH é responsável por informar à estação rádio-base a qualidade de transmissão do canal de interface aérea, permitindo desta forma a adaptação rápida do enlace [6].

Na seleção de setor servidor, a estação móvel seleciona uma estação rádio-base de seu conjunto ativo de servidores do enlace direto. A seleção é baseada na qualidade das medidas de RF realizadas pela estação móvel. No 1xEV-DV não há *soft-handoff* para o canal F-PDCH e para o F-PDCCH. Desta forma, não é necessário o armazenamento dos mesmos dados de tráfego em múltiplas estações rádio-base. É importante notar que o *soft-handoff* dos canais CDMA2000 opera de forma independente à seleção de setor servidor do 1xEV-DV. Desta forma, no caso de uma chamada de voz e dados simultânea, onde o tráfego de voz está sendo transmitido através dos canais fundamentais do CDMA2000 e o tráfego de dados através do F-PDCH do 1xEV-DV, o tráfego de voz ainda utiliza o *soft-handoff*, enquanto que o tráfego de dados utiliza a seleção de setor servidor.

## 2.4.2 R-ACKCH

O R-ACKCH é utilizado para suportar o controle do protocolo ARQ híbrido do enlace direto. Desta forma, este canal é responsável por fornecer as confirmações (ACK) síncronas para os pacotes de dados recebidos pela estação móvel.

## 2.4.3 R-PDCH

O R-PDCH, *Reverse Packet Data Channel*, é o canal implementado no enlace reverso responsável por fornecer a transmissão de dados em altas taxas. O R-PDCH tem duração de pacote fixa de 10 milissegundos e pode transmitir qualquer conjunto de pacotes de tamanhos fixos de 192 até 18432 bits.

Tabela 2.3 – Taxas de transmissão de dados 1xEV-DV no enlace reverso

Tamanho do Pacote (bits)	Modulação	Taxa de Dados do Sub-pacote (kbps)		
		ID Sub-pacote = 2	ID Sub-pacote = 1	ID Sub-pacote = 0
192	BPSK	6.4	9.6	19.2
408	BPSK	13.6	20.4	40.8
792	BPSK	26.4	39.6	79.2
1560	QPSK	52	78	156
3096	QPSK	103.2	154.8	309.6
4632	QPSK	154.4	231.6	463.2
6146	QPSK	205.6	308.4	616.8
9218	QPSK	308	462	924
12290	QPSK	410.4	615.6	1231.2
15362	QPSK	512.8	769.2	1538.4
18434	8-PSK	615.2	922.8	1845.6

A Tab. 2.3 mostra as taxas de dados do enlace reverso. É possível transmitir os pacotes em 1, 2 ou até 3 sub-pacotes, o que faz com que a taxa de transmissão de dados varie dependendo da quantidade de sub-pacotes transmitidos. Assim, dependendo da modulação utilizada e quantidade de sub-pacotes, as taxas de transmissão de dados no R-PDCH podem variar de 6.4 kbps até 1.8432 Mbps.

## 2.4.4 Outros canais do enlace reverso

Além do R-CQICH e do R-PDCH, a revisão D do padrão 1xEV-DV inclui os seguintes canais no enlace reverso:

- R-PDCCH – O *Reverse Packet Data Control Channel* carrega a informação correspondente ao formato do pacote do R-PDCH, de forma equivalente ao F-PDCCH.

- R-REQCH – O *Reverse Request Channel* introduz a transmissão em modo autônomo. A transmissão em modo autônomo permite que a estação móvel inicie a transmissão de dados em qualquer tempo com uma taxa máxima de transmissão de dados pré-autorizada, desta forma, a estação móvel pode iniciar um serviço em qualquer tempo, reduzindo o atraso. O R-REQCH também fornece à rede a informação sobre o estado do *buffer* da estação móvel e potência de transmissão disponível.

- R-SPICH – O *Reverse Secondary Pilot Channel* foi adicionado ao enlace reverse do 1xEV-DV com três objetivos: facilitar a detecção simples e rápida, melhorar o controle de potência do enlace reverso e melhorar o desempenho da demodulação coerente.

## 2.5 Conclusão

Com o princípio fundamental de utilização dinâmica dos recursos, o sistema 1xEV-DV, definido pelas revisões C e D do padrão IS-2000, é capaz de atingir altas taxas de transmissão de dados, chegando a 3.09 Mbps no enlace direto, definido na revisão C do padrão IS-2000 e a 1.84 Mbps no enlace reverso, definido na revisão D do padrão IS-2000.

O princípio de utilização dinâmica de recursos tem como objetivo garantir que os recursos do sistema, como a potência de transmissão e os códigos Walsh, sejam utilizados da forma mais eficiente possível, maximizando a capacidade do sistema.

O principal canal de transmissão de dados do enlace direto do 1xEV-DV, o F-PDCH, utiliza técnicas como a Modulação e Codificação Adaptativa, a Multiplexação TDM/CDM, o Protocolo ARQ Híbrido, a Redundância Incremental Adaptativa Assíncrona, e o Gerenciamento de Códigos Walsh, que permitem uma melhor eficiência na utilização do canal, aumentando a vazão de dados transmitida.

# Capítulo 3

## Modelos de Simulação

### 3.1 Introdução

Neste capítulo, são apresentados os modelos de simulação desenvolvidos para o sistema 1xEV-DV e para as fontes de tráfego de dados. Além das fontes poissonianas, foram considerados modelos de tráfego real de dados, como WAP, HTTP e FTP, propostos em [4]. Para a realização das simulações, foi utilizada a ferramenta de software *Matlab*, na qual foi desenvolvido um simulador do enlace direto do sistema 1xEV-DV. Este simulador trata os pacotes que chegam à estação rádio base, originários da rede fixa, e que devem ser transmitidos a diferentes usuários. Os pacotes passam pelo processamento de atendimento no simulador e então são encaminhados para a interface aérea.

O sistema 1xEV-DV permite multiplexação por divisão em código (CDM) além da multiplexação por divisão no tempo (TDM) no F-PDCH. Assim, foram realizadas simulações para o caso em que o sistema 1xEV-DV tem esta opção implementada e também para o caso em que não há a multiplexação por divisão de código.

O desempenho do sistema 1xEV-DV foi também avaliado em relação aos diferentes tipos de escalonamento: o FIFO (*First In First Out*) e o escalonamento baseado em prioridade.

### 3.2 Modelo do Enlace Direto do Sistema 1xEV-DV

Somente o enlace direto do sistema 1xEV-DV é estudado nesta dissertação. A parte do sistema estudada é mostrada na Fig. 3.1a.

Os pacotes originários da rede fixa que devem ser transmitidos a diferentes usuários chegam à estação rádio base, passam por um processamento de atendimento e então são enviados para a interface aérea para transmissão através do canal de tráfego de dados F-PDCH. Este estudo se limita à análise do processamento dos pacotes no enlace direto antes da transmissão na interface aérea, considerando diferentes níveis de carregamento no sistema. Dessa forma, o modelo de fila do enlace direto do sistema 1xEV-DV pode ser considerado como mostrado na Fig. 3.1b. Neste modelo, os pacotes são armazenados em um único *buffer* e são atendidos por um servidor que transmite de acordo com as taxas estabelecidas pelo padrão 1xEV-DV. O diagrama de blocos do programa de simulação principal e os programas desenvolvidos para a simulação de tráfego são apresentados no Apêndice B.

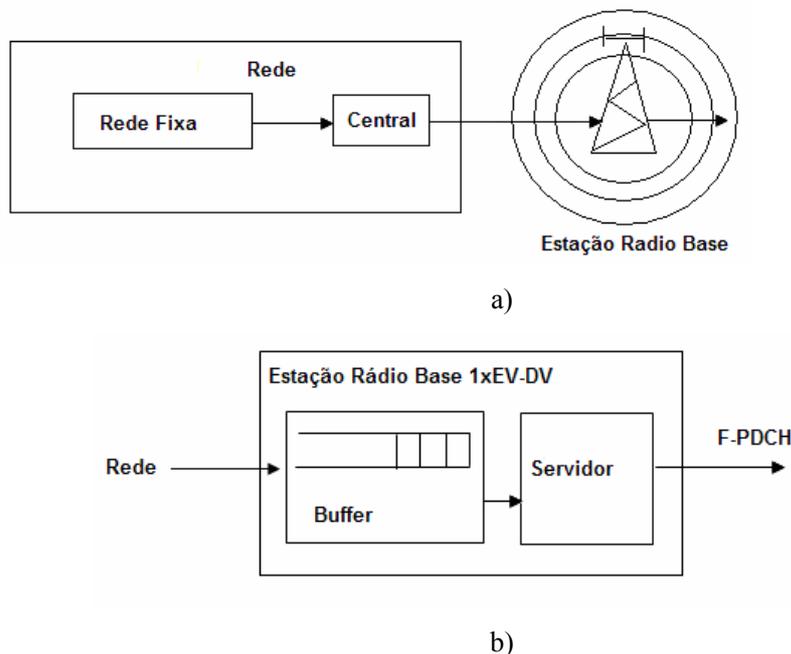


Figura 3.1 – Modelo do sistema 1xEV-DV

O padrão 1xEV-DV define dezoito diferentes taxas de transmissão de dados, conforme apresentado anteriormente na Tab. 2.1. Nesta análise foram consideradas nove taxas de transmissão de dados, selecionadas de forma a representar significativamente a variação entre as taxas.

Como o sistema 1xEV-DV ainda não é um sistema em operação, não há estatísticas disponíveis sobre a distribuição de probabilidade de taxas de transmissão de dados. Desta forma, foi adotada a distribuição de probabilidade apresentada na Tab. 3.1. Esta distribuição mostra a maioria dos móveis nas taxas intermediárias. Nesta situação, considera-se que na borda da célula de cobertura há poucas estações móveis, ou seja, poucos móveis com taxas baixas, assim como poucas estações móveis com taxas máximas, já que nestes casos a condição de propagação dos móveis precisa ser muito boa.

Considerando que o sistema 1xEV-DV permite a multiplexação por divisão de código (CDM), além da multiplexação por divisão no tempo (TDM), entre diferentes estações móveis, as simulações foram feitas para os casos em que as duas técnicas estão implementadas no sistema e para os casos em que há apenas TDM. Esta comparação permite avaliar a melhoria devido a implementação da técnica CDM no enlace direto.

Tabela 3.1 – Taxas de transmissão de dados 1xEV-DV no enlace direto

Taxa de Dados (kbps)	Probabilidade
3091.2	4.0%
2476.8	10.0%
1862.4	15.0%
1238.4	17.0%
931.2	23.0%
624	18.0%
312	8.0%
158.4	3.0%
81.6	2.0%

Para as simulações que consideram a multiplexação por divisão em código (CDM), a quantidade de códigos Walsh escolhida, necessária para cada taxa de transmissão de dados, foi sempre o melhor caso das opções definidas no padrão 1xEV-DV, ou seja, a menor quantidade de códigos Walsh necessária para cada taxa de transmissão de dados.

A Tab. 3.2 apresenta a modulação, a quantidade de *timeslots* e a quantidade de códigos Walsh escolhidas, para cada taxa de transmissão de dados.

Tabela 3.2 – Taxas de transmissão de dados 1xEV-DV no enlace direto

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Tamanho do Pacote (bits)	Modulação	Quantidade de Slots por subpacote	Quantidade de Códigos Walsh
81.6	408	QPSK	4	2
158.4	792	QPSK	4	3
312	1560	QPSK	4	6
624	1560	8-PSK	2	9
931.2	2328	8-PSK	2	13
1238.4	3096	8-PSK	2	17
1862.4	2328	16-QAM	1	16
2476.8	3096	16-QAM	1	21
3091.2	3864	16-QAM	1	26

Nas simulações com CDM, foi assumida a disponibilidade de 28 códigos Walsh para o canal de tráfego de dados F-PDCH, ou seja, um sistema puramente de serviços de dados 1xEV-DV, sem os serviços CDMA2000-1X (FCH e SCH), e com alocação dinâmica dos recursos de códigos Walsh.

Nas simulações com prioridades, o estudo considera que o atendimento na estação rádio base é feito por um servidor baseado em prioridade e sem preempção. Os pacotes de maior prioridade são atendidos primeiramente, e quando não há mais pacotes da prioridade mais alta, o servidor passa a atender a segunda prioridade e assim por diante. O *buffer* é considerado de tamanho infinito e os pacotes são armazenados por ordem de prioridade e dentro de cada prioridade, por ordem de chegada.

O tempo de atendimento por pacote é igual à duração da quantidade de *timeslots* necessários para a transmissão, por exemplo, para taxa de 3091.2 kbps o tempo de atendimento é 1.25ms, enquanto que para 312 kbps é de 5ms.

Nos modelos de tráfegos HTTP, WAP e FTP, também implementados na ferramenta de software *Matlab*, cada fonte gerada representa um usuário. Assim, o carregamento de tráfego é baseado na quantidade de usuários de dados acessando o sistema.

Durante a simulação, todos os usuários estão continuamente fazendo requisições, ou seja, fazem alguma requisição de dados, seja HTTP, FTP ou WAP, esperam pelos pacotes solicitados, esperam o tempo de leitura e então fazem uma nova requisição de dados, que poderá ser do mesmo tipo de tráfego, ou de outro. Por exemplo, um usuário que inicialmente fez uma requisição HTTP, pode em sua próxima requisição solicitar um *download* de FTP, iniciar uma sessão WAP, ou novamente acessar HTTP.

Os parâmetros de análise de desempenho estudados são: o atraso médio dos pacotes, a vazão de dados do sistema e a utilização do enlace em função do carregamento do sistema.

### 3.3 Protocolo TCP

Com o objetivo de representar de forma mais precisa o tráfego de dados, o protocolo TCP é considerado nos modelos de fontes de tráfego HTTP e FTP. O tráfego HTTP e FTP utilizam o TCP como protocolo de transporte. O modelo TCP considerado nas simulações é um modelo simplificado baseado no modelo proposto em [4]. Neste modelo simplificado, o mecanismo de controle de congestionamento do TCP não é considerado. Assim, após o estabelecimento da conexão entre a estação móvel e a estação rádio base, os pacotes de dados são transmitidos através do protocolo de transporte TCP, como mostra a Fig. 3.2.

As características importantes do TCP consideradas no modelo de simulação são: o mecanismo de *handshake*, ou seja, o tempo necessário para o recebimento das mensagens de ACK, e o tamanho dos pacotes TCP.

Considerando o tempo necessário para o recebimento das mensagens ACK, o tempo total para a transmissão de segmentos TCP é dado por:

$$\tau_{\text{total}} = \tau_c + \tau_1$$

Onde:

$\tau_c$  = soma do tempo necessário para a mensagem ACK ser transmitida da estação móvel ao servidor e do tempo necessário para o segmento de dados TCP ser transmitido do servidor até a estação rádio base.

$\tau_1$  = tempo de transmissão do segmento de dados TCP da estação rádio base à estação móvel.

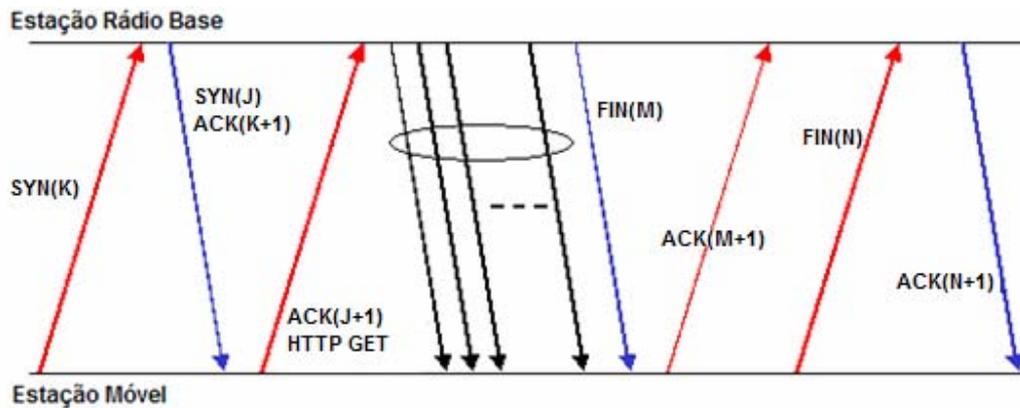


Figura 3.2 – Segmentos de controle nas conexões TCP

No modelo TCP considerado, apresentado na Fig. 3.3,  $\tau_c$  é modelado como uma variável aleatória distribuída exponencialmente com média 50 ms, e  $\tau_1$  é avaliado dependendo da taxa de transmissão de dados da interface aérea [4].

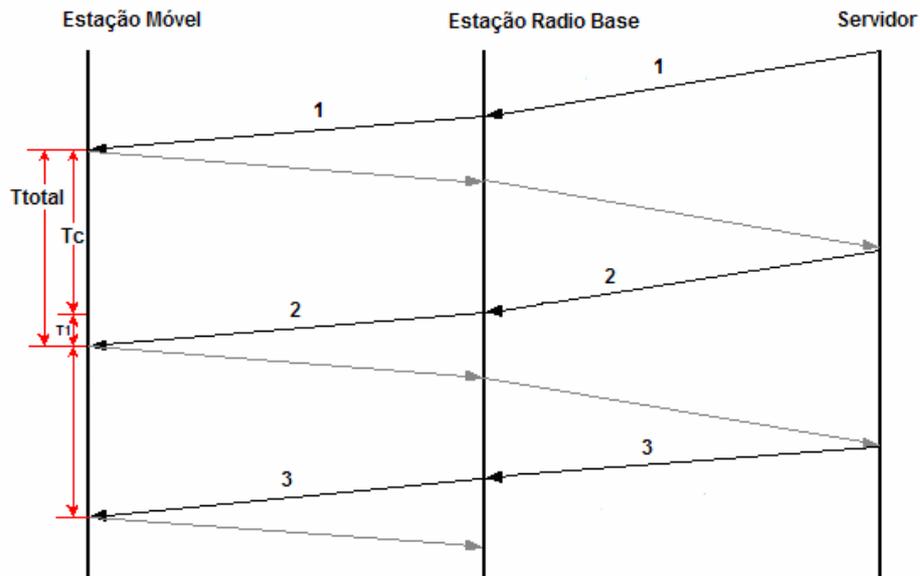


Figura 3.3 – Fluxo de controle e tempo de transmissão de segmentos TCP

Segundo [4], baseado em estudos das propriedades de tamanhos de pacotes trafegados na internet, foi observado que os tamanhos de MTU (*Maximum Transfer Unit*) mais frequentemente utilizados em conexões TCP em internet são 576 bytes e 1500 bytes, na proporção de 24% e 76% respectivamente. Ou seja, no caso de HTTP, é considerado que 24% de todas as transmissões de páginas web utilizam MTU de 576 bytes e 76% utilizam MTU de 1500 bytes, incluindo os segmentos de controle de protocolo TCP de 40 bytes. Desta forma, com MTU de 1500 bytes, existem 1460 bytes de informação líquida, e com MTU de 576 bytes, a quantidade de informação líquida é 536 bytes. Ainda para o caso de tráfego HTTP, o tamanho MTU permanece fixo durante uma chamada de pacotes. Isto significa que todos os objetos de uma página web (objeto principal e os objetos embutidos) são transmitidos utilizando o mesmo tamanho de MTU.

### 3.4 Modelo do Tráfego HTTP

O modelo de tráfego HTTP considerado nesta análise é baseado no modelo proposto em [4], que representa sessões típicas de navegação na web. Uma sessão é composta de chamadas de pacotes (que representam o *download* das páginas de web) e tempos de leitura, como mostrado na Fig. 3.4. Em outras palavras, uma sessão HTTP é composta de períodos de ON e de OFF, resultantes da interação humana, onde as chamadas de pacotes representam as requisições dos usuários e os tempos de leitura representam o tempo necessário para o usuário analisar a informação recebida e decidir sobre uma nova requisição.

Como o tráfego de navegação na web se aproxima de um processo auto-similar, cada chamada de pacotes também pode ser dividida em períodos de ON e OFF. Neste caso os períodos de ON e OFF não são resultantes da interação humana, mas sim da interação de máquina. Cada chamada de pacotes em uma sessão inclui o objeto principal da página de web, os objetos embutidos, e o tempo de *parsing*. O objeto principal é a página HTML inicial, os objetos embutidos são os objetos que são inseridos no objeto principal e o tempo de *parsing* é o tempo necessário para o navegador montar a página HTML com os objetos embutidos. Desta forma, a página inicial e todos os objetos embutidos representam o período de ON e o tempo de *parsing* representa o tempo de OFF.

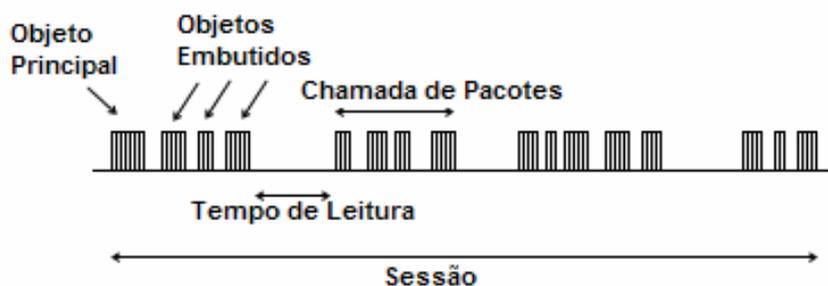


Figura 3.4 – Transmissão de Pacotes em uma sessão HTTP

Os parâmetros utilizados para representar o tráfego HTTP incluem o tamanho do objeto principal da página web, a quantidade e tamanho dos objetos embutidos, o tempo de *parsing* da página principal e o tempo de leitura do usuário. Todos estes parâmetros são definidos através de distribuições estatísticas, como apresentado na Tab. 3.3.

Os tamanhos dos objetos principais e embutidos são modelados através da função de distribuição lognormal truncada, sendo que a média do tamanho de um objeto principal é 10.71 kbytes e a média de um objeto embutido é de 7.758 kbytes. A quantidade média de objetos embutidos por página web é 5.64, sendo modelada pela função de distribuição pareto truncada. Os tempos de *parsing* e de leitura são modelados com função de distribuição exponencial, onde a média do tempo de *parsing* é 0.13 segundos e a média do tempo de leitura do usuário é 30 segundos.

A Tab. 3.3 também apresenta as funções densidade de probabilidade (FDP) dos modelos de tráfego HTTP. Para a geração de números aleatórios com as distribuições lognormal, pareto e exponencial, foi utilizado o método da transformação inversa, onde as funções são invertidas analiticamente [17].

O protocolo de transporte do HTTP é o TCP, que utiliza o mecanismo de *handshake*, desta forma, para cada pacote TCP, o transmissor espera pela mensagem de confirmação (ACK) do receptor para transmitir o próximo pacote.

Tabela 3.3 – Parâmetros do Modelo de Tráfego HTTP

	Média	Mínimo	Máximo	Distribuição	PDF
Tamanho do Objeto Principal	10.71 kbytes	100 bytes	2 Mbytes	Lognormal Truncada	$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], x \geq 0$ $\sigma = 1.37, \mu = 8.35$
Quantidade de Objetos Embutidos	5.64	-	53	Pareto Truncada	$f_x = \left(\frac{\alpha k^\alpha}{x(\alpha + 1)}\right), k \leq x < m$ $f_x = \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha, x = m$ $\alpha = 1.1, k = 2, m = 55$
Tamanho dos Objetos Embutidos	7.758 kbytes	50 bytes	2Mbytes	Lognormal Truncada	$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], x \geq 0$ $\sigma = 1.37, \mu = 8.35$
Tempo de Parsing	0.13 seg	-	-	Exponencial	$f_x = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ $\lambda = 0.033$
Tempo de Leitura	30 seg	-	-	Exponencial	$f_x = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ $\lambda = 0.033$

O tráfego HTTP depende da versão do protocolo HTTP nos navegadores e servidores de web. De acordo com [4], pode-se considerar uma distribuição de 50%-50% de páginas de web em HTTP 1.0 modo *burst* e HTTP 1.1 modo persistente. A principal diferença entre estes protocolos é que no HTTP 1.0 modo *burst* uma conexão TCP distinta é utilizada para o objeto principal e para cada objeto embutido. É possível utilizar conexões TCP simultâneas e na maioria dos navegadores, pode-se utilizar até 4 conexões simultâneas. No HTTP 1.1 modo persistente, apenas uma conexão TCP é habilitada e os objetos são transmitidos serialmente.

Nas simulações os dois protocolos HTTP foram modelados, considerando-se a proporção de 50%-50%, e a distribuição de tamanhos de MTU do protocolo TCP de 24% para MTU 576 bytes e 76% para MTU 1500 bytes.

Desta forma, o processo de modelamento de tráfego HTTP segue o fluxo apresentado na Fig. 3.5.

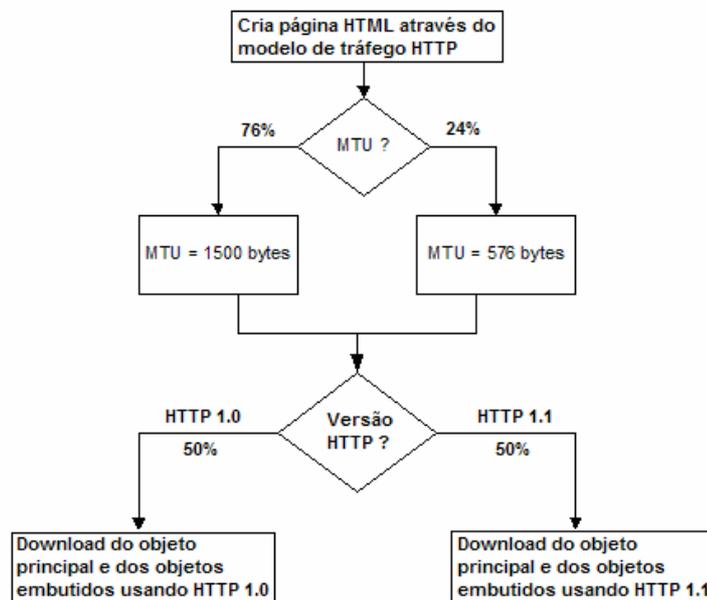


Figura 3.5 – Modelamento de Tráfego HTTP

### 3.4.1 Distribuições do Modelo de Tráfego HTTP

A seguir, são apresentadas as distribuições obtidas para os parâmetros de modelamento do tráfego HTTP que demonstram a consistência da implementação do modelo de tráfego HTTP na ferramenta de software *Matlab*.

A Fig. 3.6a apresenta o histograma de tamanho de objeto principal. Conforme descrito na Tab. 3.3, a média é 10.71 kbytes seguindo a função lognormal truncada. Isto pode ser observado na Fig. 3.6b, que apresenta a função distribuição de probabilidade FDP, que assim como os demais gráficos

de FDP apresentados a seguir mostram a curva teórica em preto, os resultados obtidos em cinza e média obtida em tracejado.

As Figs. 3.7a e 3.7b apresentam respectivamente o histograma e a FDP da quantidade de objetos embutidos do modelo HTTP. É possível observar que as quantidades de pacotes obtidas no modelo implementado em *Matlab* obedecem à função Pareto truncada com média de 5.64 objetos.

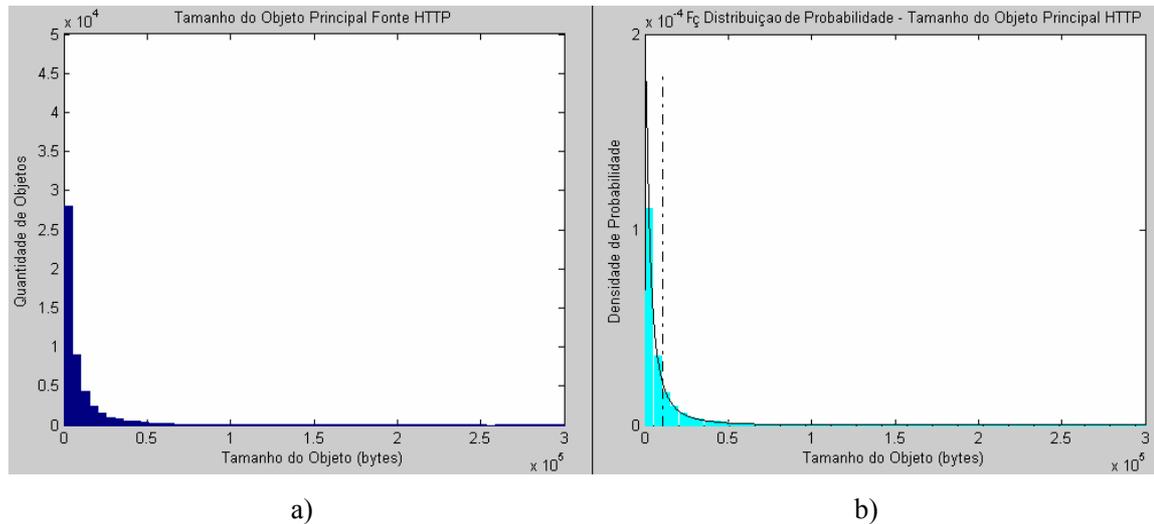


Figura 3.6 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tamanho de Objeto Principal do Modelo de Tráfego HTTP

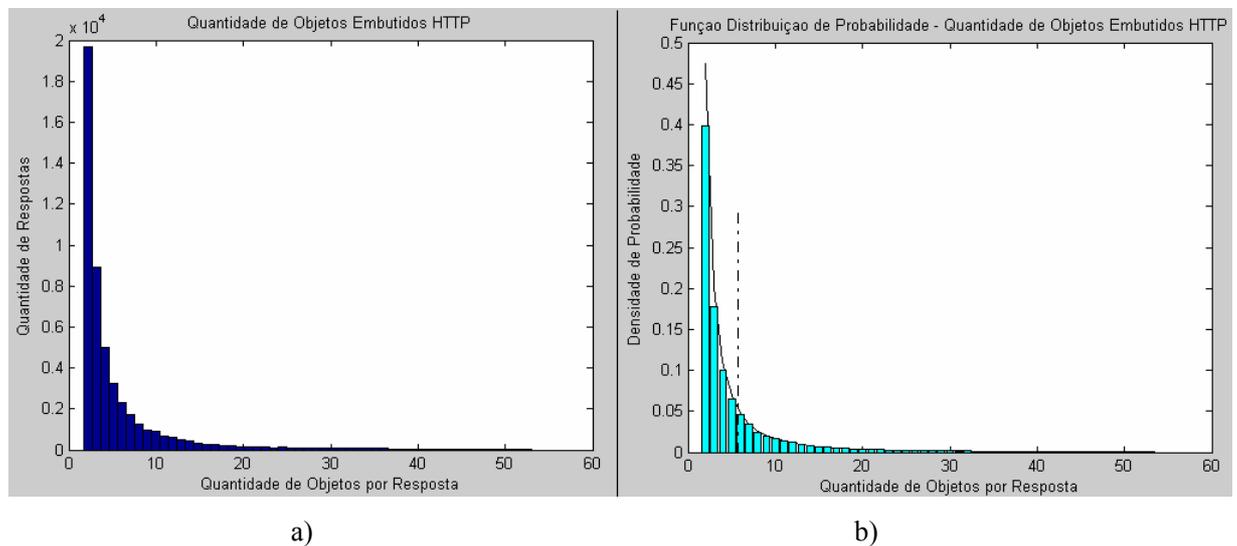


Figura 3.7 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade da Quantidade de Objetos Embutidos do Modelo de Tráfego HTTP

As Figs. 3.8a e 3.8b mostram respectivamente o histograma e a FDP dos tamanhos dos objetos embutidos, seguindo a função lognormal truncada e apresentando média de 7.76 kbytes.

O histograma e a FDP de tempo de *parsing* são apresentado nas Figs. 3.9a e 3.9b. A média obtida com a implementação em *Matlab* foi 0.13 segundos seguindo a distribuição exponencial, assim como mostrado na Tab. 3.3.

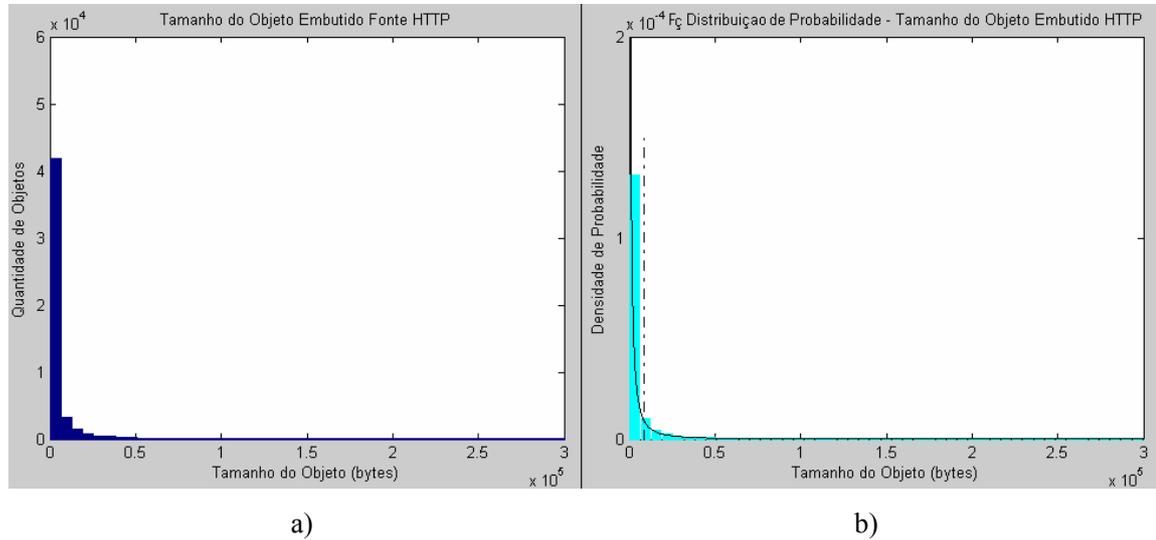


Figura 3.8 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tamanho de Objeto Embutido do Modelo de Tráfego HTTP

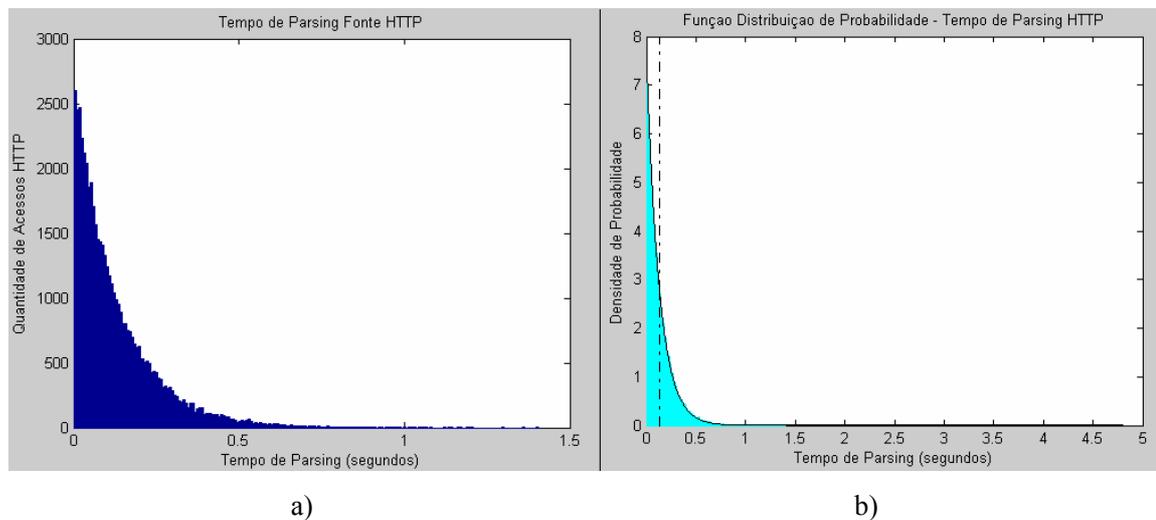


Figura 3.9 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de *Parsing* do Modelo de Tráfego HTTP

As Figs. 3.10a e 3.10b apresentam o histograma e a FDP de tempo de leitura. Os resultados obtidos seguindo a distribuição exponencial mostram média de 30 segundos.

Desta forma, o modelo de tráfego HTTP implementado em *Matlab* foi validado através dos parâmetros descritos na Tab. 3.3.

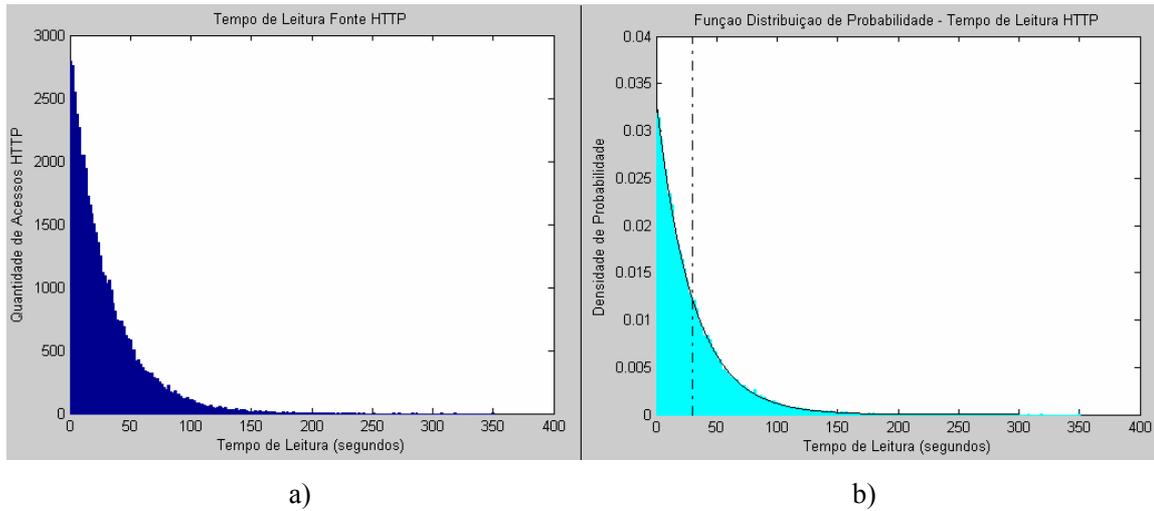


Figura 3.10 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de Leitura do Modelo de Tráfego HTTP

### 3.5 Modelo do Tráfego WAP

O modelo de tráfego WAP é composto de períodos de ON e OFF, onde os períodos de ON são os períodos em que há transmissão de dados do servidor WAP ao móvel e os períodos de OFF são os períodos de leitura, além do tempo de resposta do servidor e tempo entre as chegadas dos objetos. Este modelo é baseado no modelo proposto em [4].

O modelo considera que a resposta do servidor para cada requisição do navegador tem um tempo de resposta que segue a função de distribuição exponencial. Este tempo de resposta é chamado de tempo de resposta do *gateway* de WAP.

A resposta do servidor WAP a uma requisição é modelada com a quantidade de objetos por resposta que segue a função de distribuição geométrica e o tempo entre as chegadas modelado pela função de distribuição exponencial. O tamanho de cada objeto é modelado através da função de distribuição Pareto truncada, com média de 256 bytes. Assim que o último objeto da resposta do servidor WAP é recebido pela estação móvel, inicia-se o tempo de leitura do usuário, que termina com uma nova requisição de dados.

A Fig. 3.11 apresenta o fluxo de dados para o modelo de tráfego WAP e a Tab. 3.4 descreve as distribuições e parâmetros do modelo.

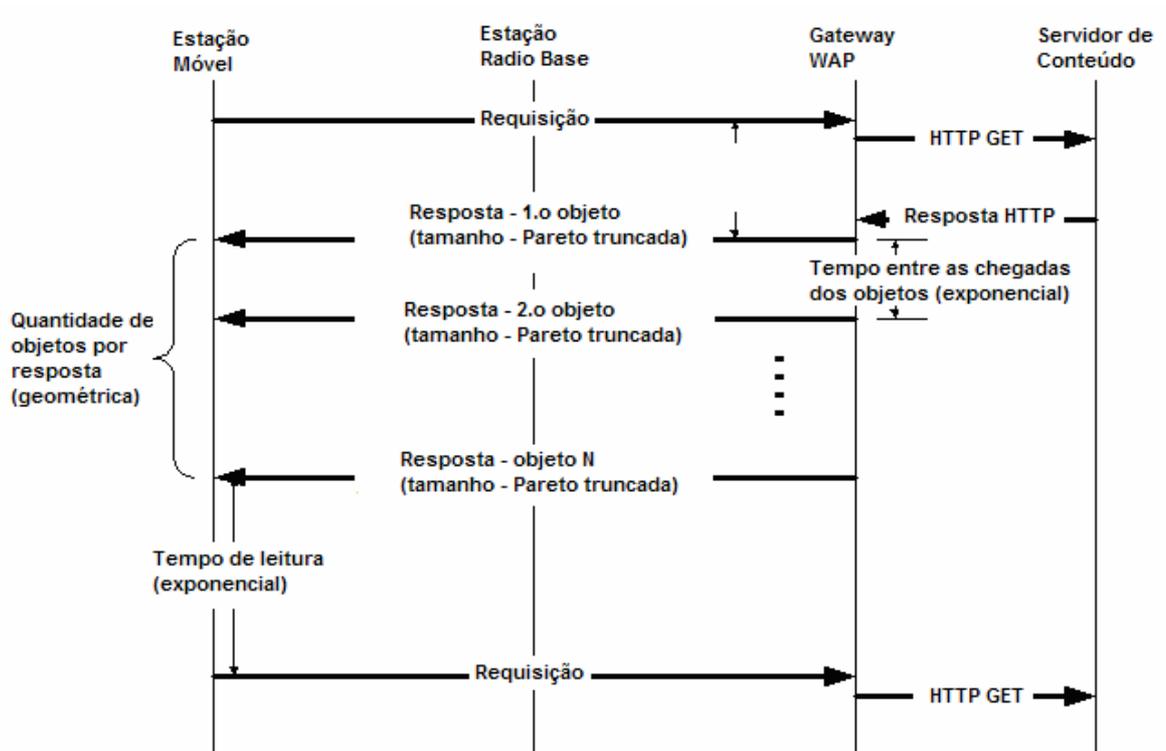


Figura 3.11 – Fluxo de Dados do Modelo WAP

Tabela 3.4 – Parâmetros do Modelo de Tráfego WAP

	Média	Máximo	Distribuição	PDF
Tamanho do Objeto	256 bytes	1400 bytes	Pareto Truncada	$f_x = \left( \frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}} \right)$ $\alpha = 1.1, k = 71.7$
Quantidade de Objetos	2	-	Geométrica	$f_x = p(1-p)^n$
Tempo entre chegadas dos Objetos	1.6 seg	-	Exponencial	$f_x = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ $\lambda = 0.625$
Tempo de Resposta do Gateway WAP	2.5 seg	-	Exponencial	$f_x = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ $\lambda = 0.4$
Tempo de Leitura	5.5 seg	-	Exponencial	$f_x = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ $\lambda = 0.182$

### 3.5.1 Distribuições do Modelo de Tráfego WAP

As distribuições obtidas para os parâmetros de modelamento do tráfego WAP que demonstram a consistência da implementação do modelo de tráfego WAP na ferramenta de software *Matlab* são apresentadas nesta seção.

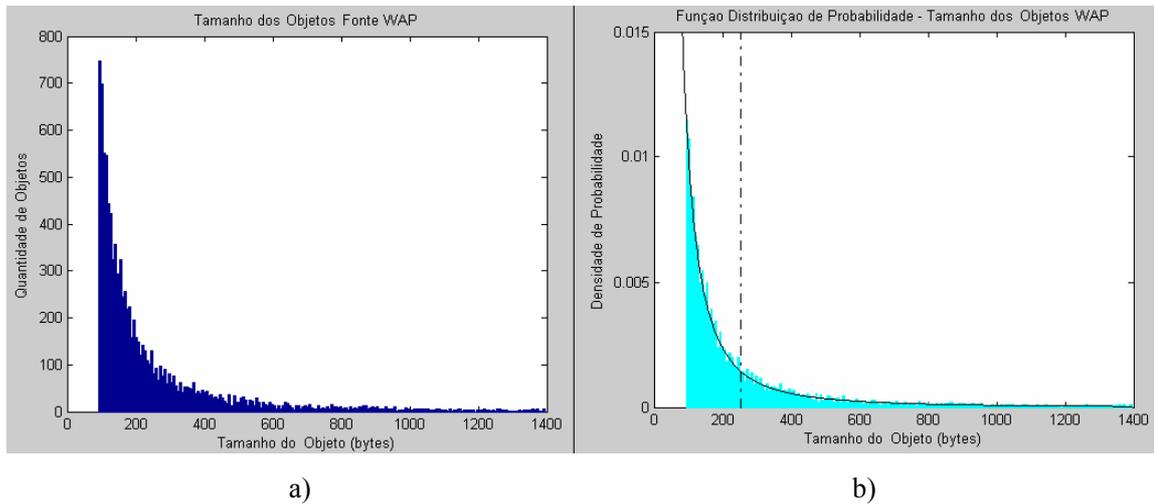


Figura 3.12 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tamanho dos Objetos do Modelo de Tráfego WAP

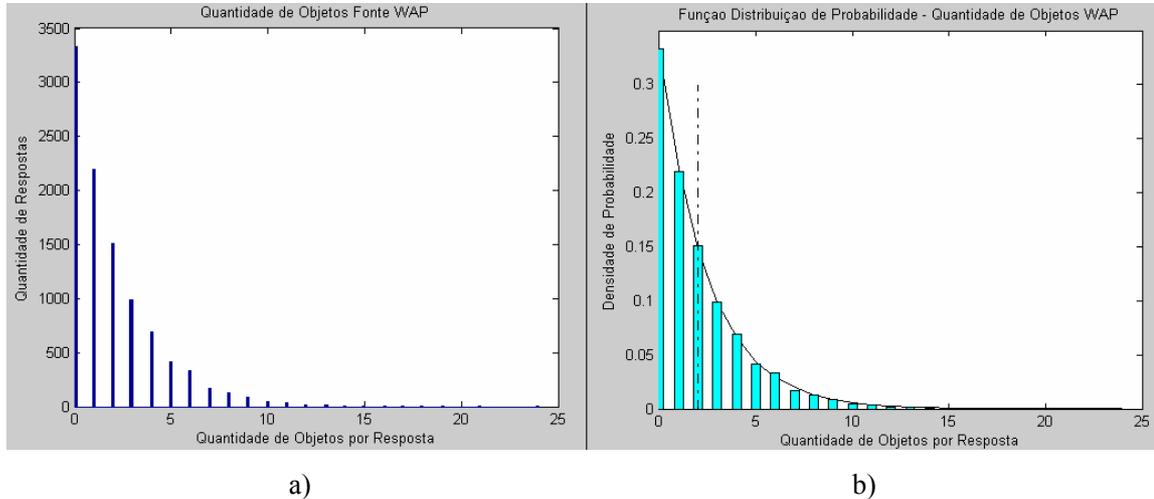


Figura 3.13 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade da Quantidade de Objetos do Modelo de Tráfego WAP

As Figs. 3.12a e 3.12b apresentam respectivamente o histograma e a FDP do tamanho dos objetos do modelo de tráfego WAP. Validando a descrição da Tab. 3.4, a média obtida no modelo implementado em *Matlab* é 256 bytes seguindo a função Pareto truncada, como pode ser observado na Fig. 3.12b.

O histograma e a FDP da quantidade de objetos por requisição são mostrados nas Figs. 3.13a e 3.13b, apresentando média de 2 objetos, seguindo a distribuição geométrica.

O tempo entre as chegadas dos objetos, o tempo de resposta do *gateway* WAP e o tempo de leitura do modelo WAP implementado, seguiram a função exponencial, conforme mostrado nas figuras 3.14, 3.15 e 3.16 respectivamente. As médias obtidas foram as médias descritas na Tab. 3.4 para cada um dos parâmetros.

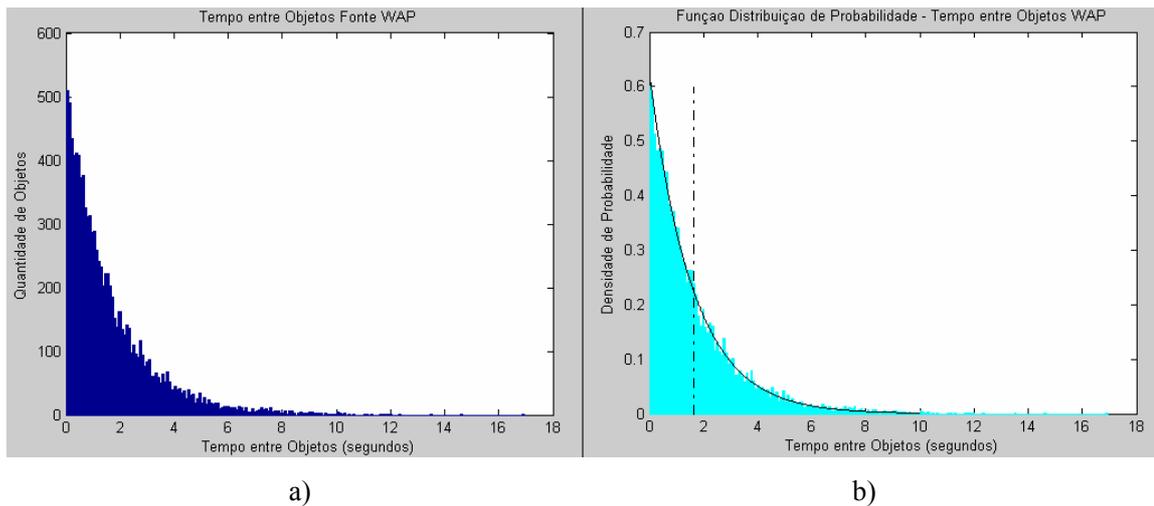


Figura 3.14 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo entre Objetos do Modelo de Tráfego WAP

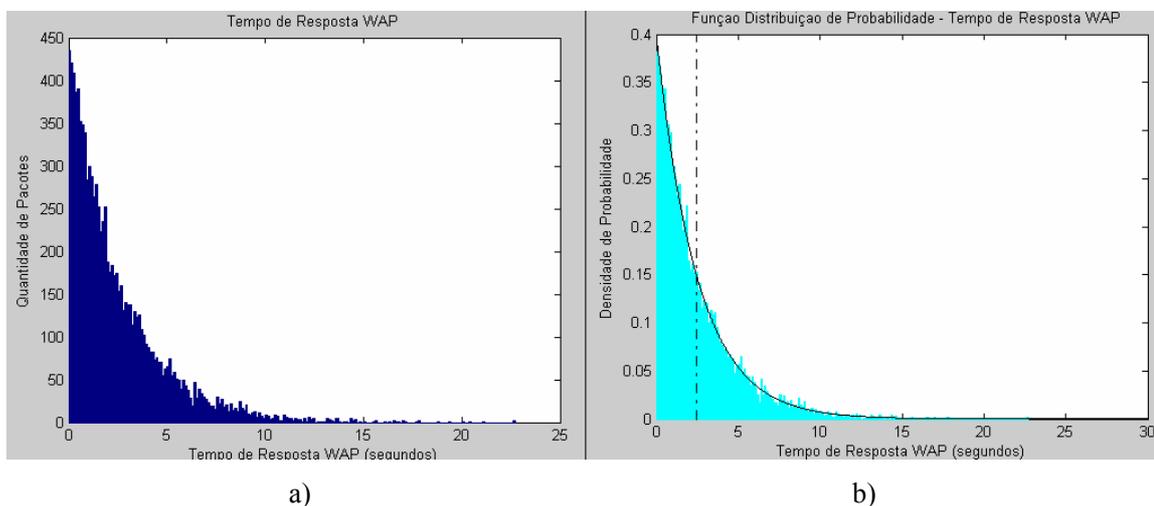


Figura 3.15 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de Resposta do Gateway do Modelo de Tráfego WAP

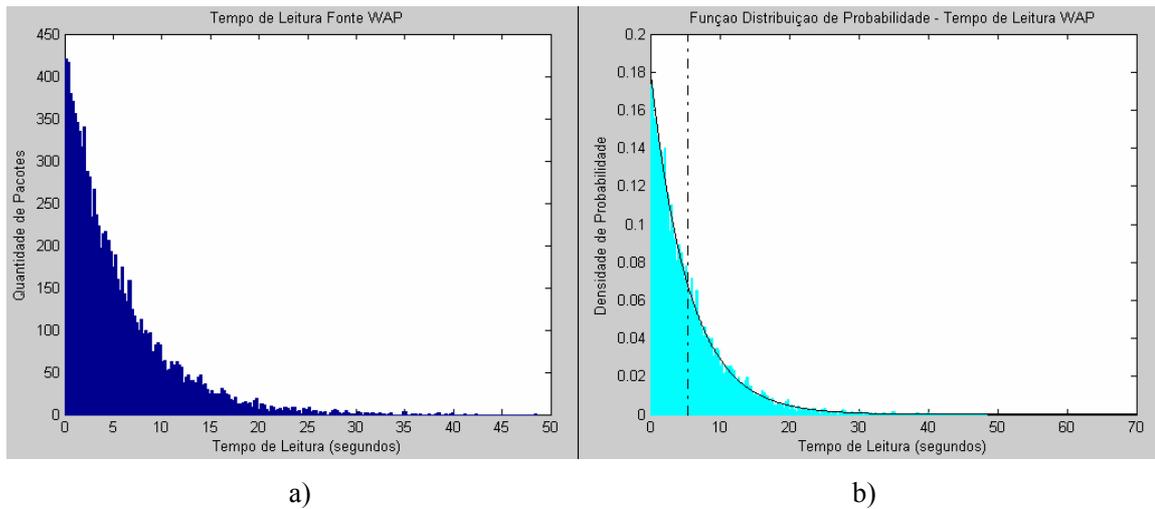


Figura 3.16 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de Leitura do Modelo de Tráfego WAP

### 3.6 Modelo do Tráfego FTP

Segundo o modelo proposto em [4], uma sessão de FTP consiste de uma sequência de transferência de arquivos, separadas por tempos de leitura, como apresentado na Fig. 3.17. Desta forma há apenas dois parâmetros no modelamento do tráfego FTP: o tamanho do arquivo que será transferido e o tempo de leitura do usuário, que representa o tempo entre o término do *download* do arquivo anterior e a requisição do usuário por um novo arquivo.

O protocolo de transporte do FTP é o TCP, descrito na seção 3.3, e assim como no caso do tráfego HTTP, é considerado a distribuição de 76% de arquivos sendo transferidos utilizando MTU de 1500 bytes e 24% dos arquivos sendo transferidos utilizando MTU de 576 bytes.

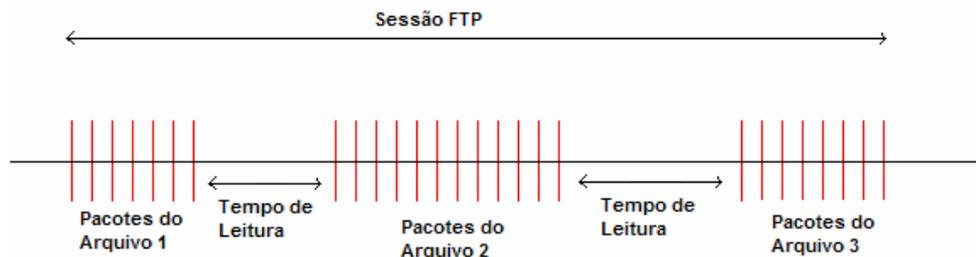


Figura 3.17 – Transmissão de Pacotes em uma Sessão FTP

Os parâmetros do modelo de tráfego FTP são apresentados na Tab. 3.5. O tamanho do arquivo é modelado através da função distribuição Lognormal truncada, com média 2 Mbytes. O tempo de leitura com média de 180 segundos, é modelado pela função distribuição exponencial.

Tabela 3.5 – Parâmetros do Modelo de Tráfego FTP

	Média	Máximo	Distribuição	PDF
Tamanho do Arquivo	2 Mbytes	5 Mbytes	Lognormal Truncada	$f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], x \geq 0$ $\sigma = 0.35, \mu = 14.45$
Tempo de Leitura	180 seg	-	Exponencial	$f_x = \lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$ $\lambda = 0.006$

### 3.6.1 Distribuições do Modelo de Tráfego FTP

Nesta seção, são apresentadas as distribuições obtidas para os parâmetros de modelamento do tráfego FTP que mostram a consistência da implementação do modelo de tráfego FTP na ferramenta de software *Matlab*.

As Figs. 3.18a e 3.18b apresentam respectivamente o histograma e a FDP do tamanho do objeto do modelo FTP. É possível observar na Fig. 3.18b que os tamanhos de objeto obtidos no modelo implementado em *Matlab* obedecem a função lognormal truncada com média de 2 Mbytes conforme descrito na Tab. 3.5.

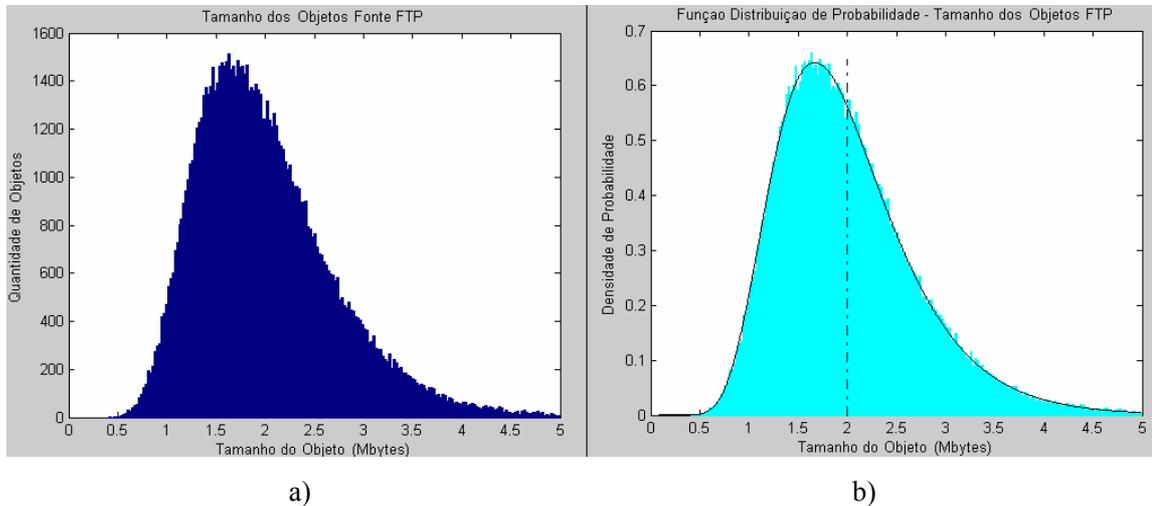
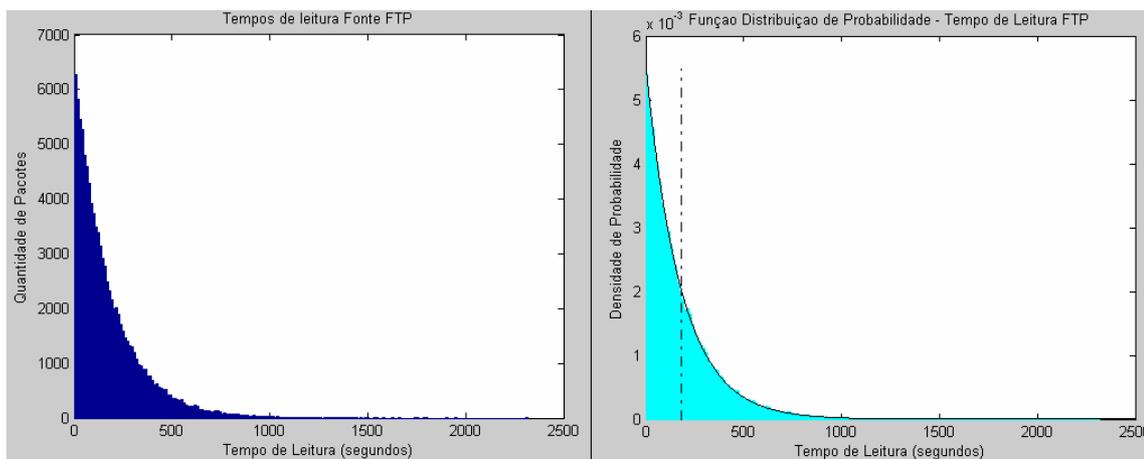


Figura 3.18 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tamanho de Pacote do Modelo de Tráfego FTP

O histograma e a FDP do tempo de leitura são apresentados nas Figs. 3.19a e 3.19b. Para o tempo de leitura do modelo de tráfego FTP, a média obtida foi 180 segundos, seguindo a função exponencial.



a)

b)

Figura 3.19 – Histograma e Função Distribuição de Probabilidade do Tempo de Leitura do Modelo de Tráfego FTP

### 3.7 Conclusão

Através dos modelos que representam tráfego real de dados em aplicações como HTTP, FTP e WAP, foi possível criar na ferramenta de software *Matlab* fontes de geração de tráfego de dados, que permitem simulações com resultados mais realistas. O enlace direto para tráfego de dados do sistema 3G 1xEV-DV foi modelado visando a análise do desempenho do sistema em termos de atraso médio dos pacotes, vazão de dados e utilização do enlace.

# Capítulo 4

## Análise dos Resultados

### 4.1 Introdução

Neste capítulo, os cenários estudados são apresentados e os resultados das simulações do enlace direto do sistema 1xEV-DV são analisados em detalhes. As simulações foram realizadas utilizando modelos de tráfego real de dados, como HTTP, WAP e FTP, o que torna os resultados mais realistas. Os resultados da comparação com modelo de tráfego poissoniano também são apresentados. Adicionalmente, os estudos realizados com tráfego poissoniano são apresentados nos artigos publicados no SBT2004 e IWT2004 (Apêndices C.1 e C.2). O estudo apenas com tráfego HTTP é apresentado no artigo aceito para publicação no A-ICT-2005 (Apêndice C.3).

O desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV é analisado em relação ao tempo de atraso médio dos pacotes, à vazão de dados e à utilização do enlace.

Para a análise do desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV, a distribuição entre os tráfegos de dados HTTP, WAP e FTP foram variadas de forma a avaliar o impacto de diferentes perfis de tráfego no sistema.

Para avaliar a utilização de escalonadores com prioridade de taxas de transmissão de dados, todos os cenários foram simulados com escalonamento por prioridade de taxa de dados e também no esquema FIFO (*first in first out*), ou seja, sem escalonamento por prioridade. O escalonamento por prioridade de taxa de dados considera que quanto maior for a taxa de dados de transmissão, maior será a prioridade. Além disto, a melhoria resultante da implementação do CDM além do TDM no sistema 1xEV-DV também é analisada através das simulações em todos os cenários, bem como a resposta do sistema à diferentes níveis de carregamento de tráfego.

## 4.2 Cenário 1

O primeiro cenário representa o início da utilização de sistemas 3G, ou seja, a maioria dos usuários continua acessando WAP e o tráfego de HTTP começa a crescer. Neste cenário, os usuários geram tráfego WAP e HTTP continuamente, sendo 60% tráfego WAP e 40% tráfego HTTP, como apresentado na Tab. 3.6.

Tabela 3.6 – Distribuição de Probabilidade de Tráfego do Cenário 1

Tráfego	Probabilidade
WAP	60%
HTTP	40%

Os resultados para este cenário são mostrados na Fig. 4.1 que apresenta os tempos de atraso médio dos pacotes em relação ao carregamento de tráfego. Em todos os gráficos, *Spr* significa “sem escalonamento por prioridade”, *Cpr* significa “com escalonamento por prioridade” e *Cpr e CDM* significa “com escalonamento por prioridade e implementação da técnica CDM”. Os intervalos de confiança de 95% não são visualizados no gráfico porque seus valores são muito pequenos em relação aos valores dos tempos de atraso.

O sistema com escalonamento FIFO, ou seja, sem escalonamento baseado em prioridade, apresentou tempos de atraso médio dos pacotes de aproximadamente 360 ms para 70% de carregamento de tráfego. Para o mesmo carregamento de tráfego, os tempos de atraso médio dos pacotes foram 100 ms para o sistema com escalonamento baseado em prioridade de taxas e 15.6 ms para o sistema com escalonamento baseado em prioridade de taxas e com implementação da técnica CDM. Em média o desvio padrão foi 4.3% do valor médio. O intervalo de confiança de 95% apresentou valores muito pequenos de no máximo 0.024% do valor médio.

Desta forma, para 70% de carregamento de tráfego, a redução no tempo de atraso médio dos pacotes foi de 72.2% com a utilização do escalonador baseado em prioridade de taxas em relação ao sistema FIFO. A redução foi maior ainda comparando o sistema com prioridade sem CDM com o sistema com a técnica CDM implementada, chegando à 84.4% para 70% de carregamento de tráfego. As reduções nos tempos de atraso médio dos pacotes são maiores quanto maior for o carregamento de tráfego. Para sistemas 1xEV-DV com carregamento baixo, os ganhos devido à utilização do CDM são menores porém muito significativos, com 30% de carregamento, a diminuição do tempo médio de atraso chega a 73.7%.

Na Fig. 4.2 é mostrado o gráfico da utilização do enlace em função do carregamento. Nota-se que para um mesmo carregamento de tráfego do sistema 1xEV-DV, a utilização do enlace é reduzida com a implementação da técnica CDM, o que permite que o sistema suporte um carregamento de tráfego maior para a mesma utilização de enlace. Neste caso, para o carregamento de tráfego de 70%, a utilização do enlace do sistema 1xEV-DV foi 82% para o sistema sem CDM e

69% para o sistema com CDM. Desta forma, para o cenário 1, a implementação do CDM representa uma economia de 15.9% na utilização do enlace do sistema para carregamento de tráfego de 70%. A diferença resultante da implementação da técnica CDM é maior quanto maior for o carregamento do sistema.

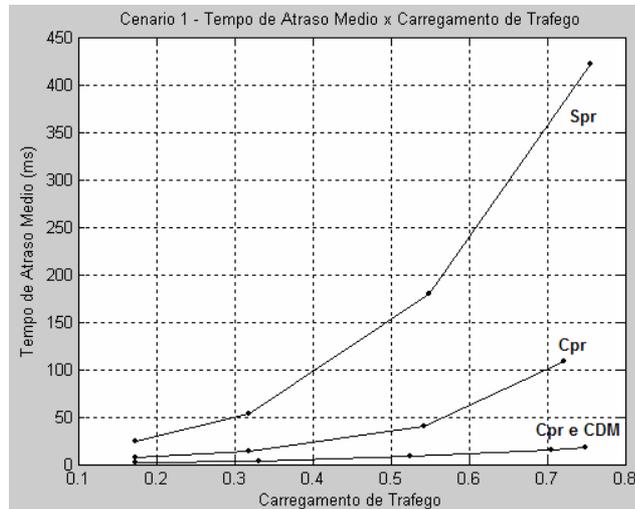


Figura 4.1 – Cenário 1 - Tempo de atraso médio x Carregamento de tráfego

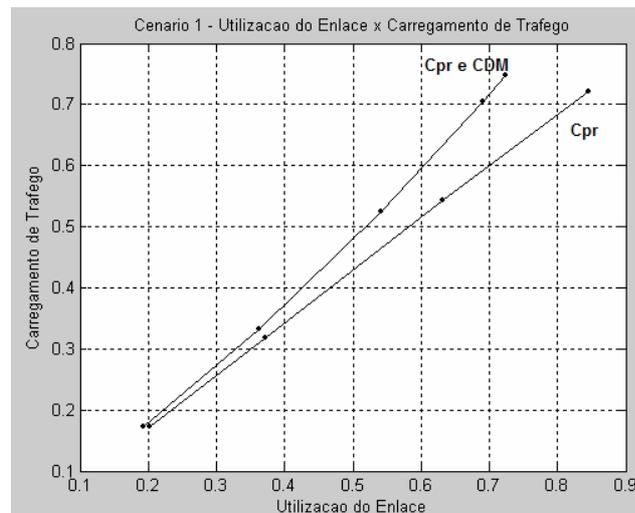


Figura 4.2 – Cenário 1 - Carregamento de tráfego x Utilização do enlace

O gráfico da Fig. 4.3 apresenta a vazão de dados em relação à utilização do enlace de transmissão de dados para o cenário 1 do sistema 1xEV-DV. A vazão de dados do sistema 1xEV-DV em relação à utilização do enlace de transmissão de dados manteve-se muito próxima para o sistema sem prioridade e com prioridade sem CDM, atingindo cerca de 530 kbps com 70% de utilização do enlace. Para o sistema com escalonamento baseado em prioridade e implementação da técnica CDM, a vazão de dados atingiu 606 kbps, representando um ganho de 14.3% na vazão de dados com a utilização da técnica CDM no sistema.

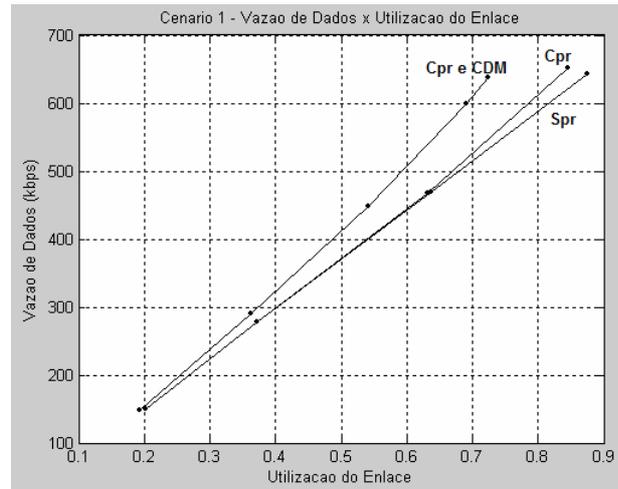


Figura 4.3. – Cenário 1 – Vazão de dados x Utilização do enlace

Os gráficos das Figs. 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam os tempos de atraso médios por taxa para o sistema sem escalonamento baseado em prioridade, com escalonamento baseado em prioridade e para o sistema com escalonamento e com a implementação de CDM, respectivamente. As taxas são representadas nos gráficos seguindo a seguinte legenda: (1) 3091.2 kbps, (2) 2476.8 kbps, (3) 1862.4 kbps, (4) 1238.4 kbps, (5) 931.2 kbps, (6) 624 kbps, (7) 312 kbps, (8) 158.4 kbps e (9) 81.6 kbps.

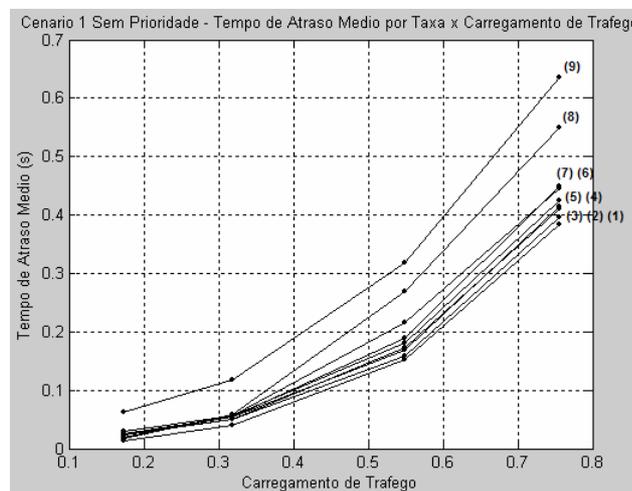


Figura 4.4 – Cenário 1 sem prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

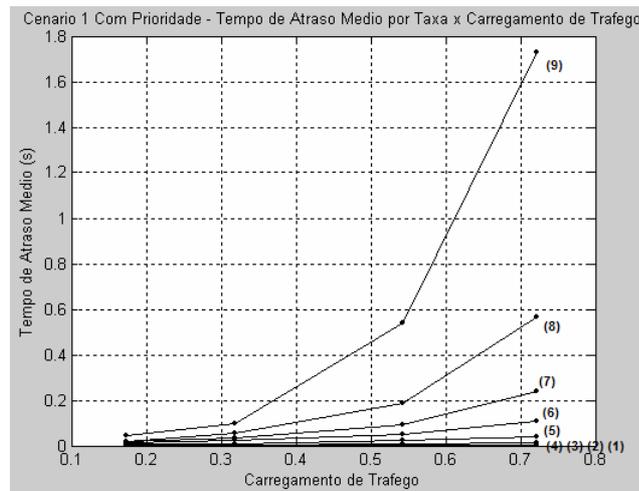


Figura 4.5 – Cenário 1 com prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

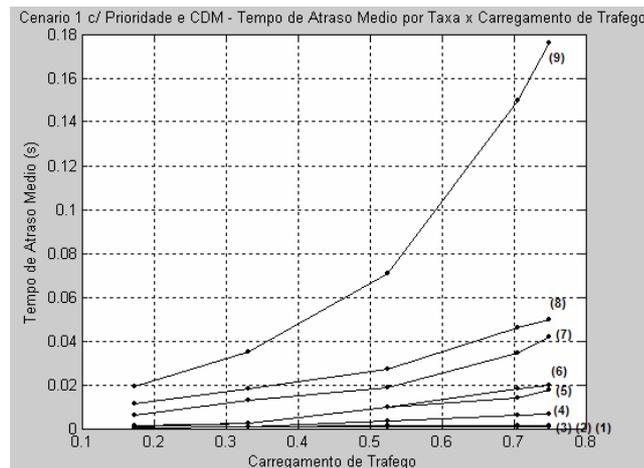


Figura 4.6 – Cenário 1 com prioridade e CDM - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

### 4.3 Cenário 2

Neste cenário, além do tráfego WAP e HTTP, os usuários geram tráfego FTP, representando a maior penetração dos sistemas 3G no mercado de telefonia móvel. O tráfego é gerado continuamente pelos usuários, na distribuição 40% WAP, 30% HTTP e 30% FTP, como apresentado na Tab. 3.7.

Tabela 3.7 – Distribuição de Probabilidade de Tráfego do Cenário 2

Tráfego	Probabilidade
WAP	40%
HTTP	30%
FTP	30%

A Fig. 4.7 mostra os tempos de atraso médio dos pacotes em relação ao carregamento de tráfego para o Cenário 2. Neste cenário, o sistema sem escalonamento baseado em prioridade, apresentou tempos de atraso médio dos pacotes de 2000 ms para 70% de carregamento de tráfego. O sistema com escalonamento baseado em prioridade de taxas apresentou tempo de atraso médio dos pacotes de 188 ms para o mesmo carregamento de tráfego, e de 47.3 ms para o sistema com escalonamento baseado em prioridade de taxas e com implementação da técnica CDM. Em média o desvio padrão foi 6.19% do valor médio e o intervalo de confiança de 95% representou no máximo 0.0076% do valor médio.

Para o cenário 2, com 70% de carregamento de tráfego, a redução no tempo de atraso médio dos pacotes foi de 90.6% com a utilização do escalonador baseado em prioridade de taxas em relação ao sistema FIFO. Comparando-se o sistema com prioridade sem CDM com o sistema com a técnica CDM implementada, a redução foi de 74.8%. Assim como no cenário 1, as reduções nos tempos de atraso médio dos pacotes são maiores quanto maior for o carregamento de tráfego.

O gráfico da Fig. 4.8 apresenta a utilização do enlace em relação ao carregamento de tráfego de dados. Assim como no cenário 1, a utilização do enlace é reduzida com a implementação da técnica CDM. Neste cenário, para 70% de carregamento de tráfego, a utilização do enlace do sistema 1xEV-DV foi 78.6% para o sistema sem CDM e 62% para o sistema com CDM. Isto mostra que a implementação da técnica CDM representa, neste caso, uma economia de 21.1% na utilização do enlace do sistema para carregamento de tráfego de 70%.

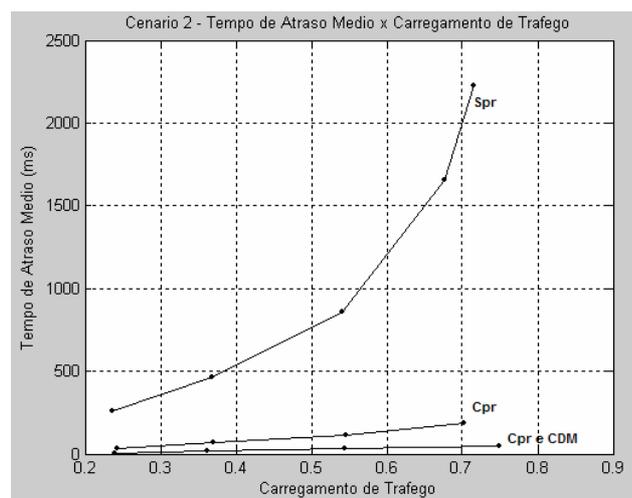


Figura 4.7 – Cenário 2 - Tempo de atraso médio x Carregamento de tráfego

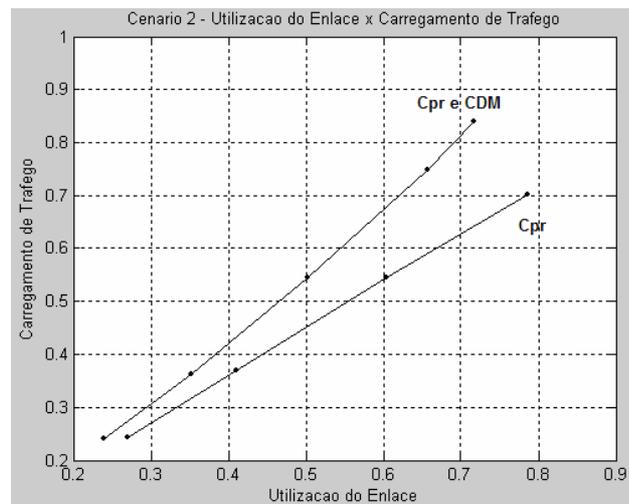


Figura 4.8 – Cenário 2 - Carregamento de tráfego x Utilização do enlace

O gráfico da Fig. 4.9 mostra a vazão de dados em relação à utilização do enlace de transmissão de dados para o cenário 2 do sistema 1xEV-DV. Em relação à utilização do enlace de transmissão de dados, a vazão de dados do sistema manteve-se próxima para o sistema sem prioridade e com prioridade sem CDM, sendo que a diferença é maior quanto maior for a utilização de enlace. A vazão do sistema atingiu 500 kbps para o sistema sem prioridade e 550 kbps para o sistema com prioridade com 70% de utilização do enlace. Com escalonamento por prioridade e implementação da técnica CDM, a vazão de dados atingiu 650 kbps para a mesma utilização de enlace. Esta diferença representa um ganho de 18.2% na vazão de dados com a utilização da técnica CDM no sistema.

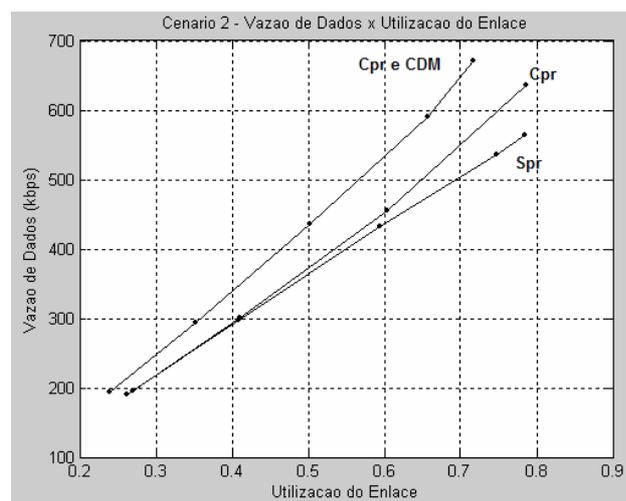


Figura 4.9 – Cenário 2 – Vazão de dados x Utilização do enlace

Os tempos de atraso médios por taxa para o sistema sem escalonamento baseado em prioridade, com escalonamento baseado em prioridade e para o sistema com escalonamento e com a implementação de CDM, são apresentados nos gráficos das Figs. 4.10, 4.11 e 4.12, respectivamente.

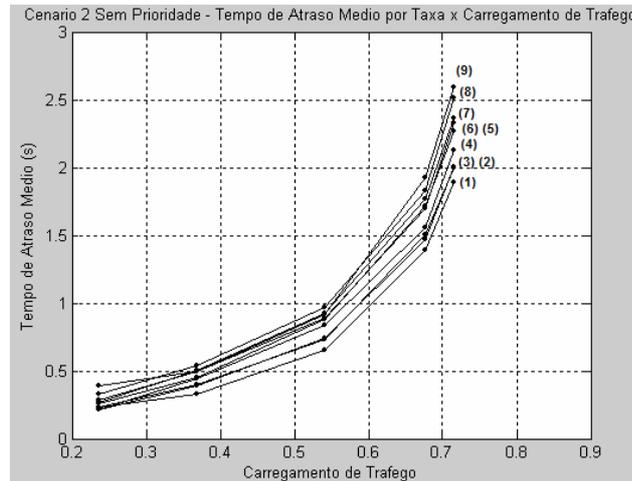


Figura 4.10 – Cenário 2 sem prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

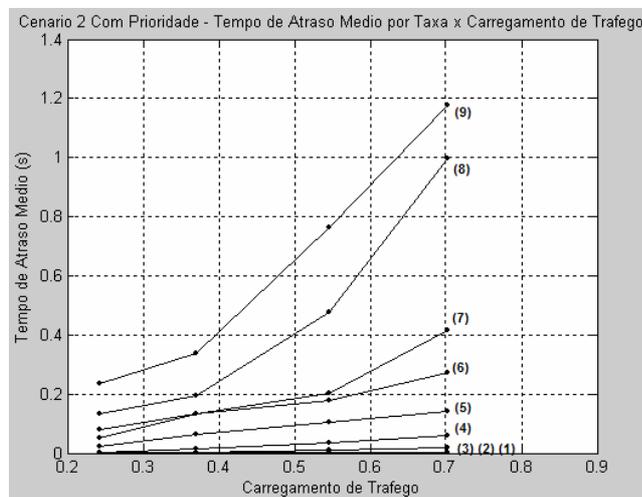


Figura 4.11 – Cenário 2 com prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

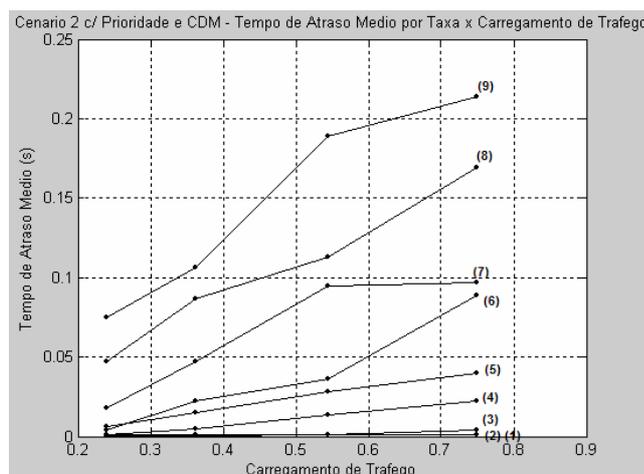


Figura 4.12 – Cenário 2 com prioridade e CDM - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

## 4.4 Cenário 3

No terceiro cenário, os tráfegos WAP, HTTP e FTP são gerados continuamente pelos usuários na distribuição 20% WAP, 40% HTTP e 40% FTP, como apresentado na Tab. 3.8. Este cenário apresenta uma diminuição do tráfego de dados via WAP, e aumento de HTTP e FTP, representando maior amadurecimento das tecnologias 3G, e com isto, aumento de tráfego dos usuários em aplicações que requerem transmissão de dados em alta velocidade.

Tabela 3.8 – Distribuição de Probabilidade de Tráfego do Cenário 3

Tráfego	Probabilidade
WAP	20%
HTTP	40%
FTP	40%

O gráfico da Fig. 4.13 apresenta os tempos de atraso médio dos pacotes em função do carregamento de tráfego para o Cenário 3. O sistema sem escalonamento por prioridade de taxas, com 70% de carregamento de tráfego, apresentou tempos de atraso médio dos pacotes estimado de aproximadamente 2600 ms. Com o mesmo carregamento de tráfego, os tempos de atraso médio dos pacotes foram 139.3 ms para o sistema com escalonamento por prioridade de taxas e 38.3 ms para o sistema com escalonamento por prioridade de taxas e com implementação da técnica CDM. Em média o desvio padrão foi 5.19% do valor médio e o intervalo de confiança de 95% apresentou 0.0084% do valor médio.

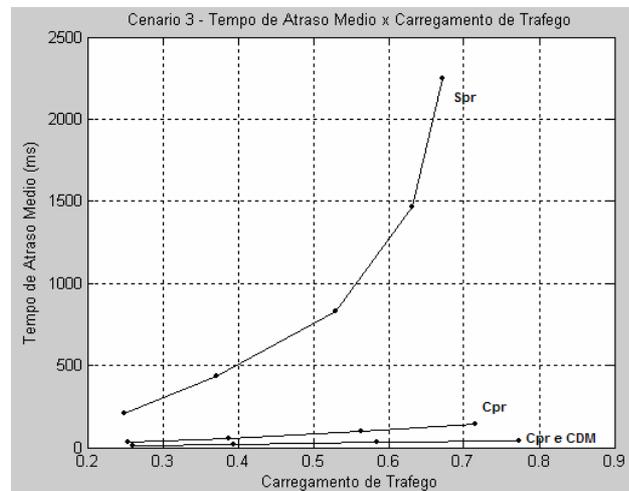


Figura 4.13 – Cenário 3 - Tempo de atraso médio x Carregamento de tráfego

Estes resultados apontam uma redução de 94.6% no tempo de atraso médio dos pacotes com a utilização do escalonador baseado em prioridade de taxas em relação ao sistema sem prioridade. Comparando o sistema com prioridade sem CDM e o sistema com a técnica CDM implementada, a redução chega a 72.5% para 70% de carregamento de tráfego.

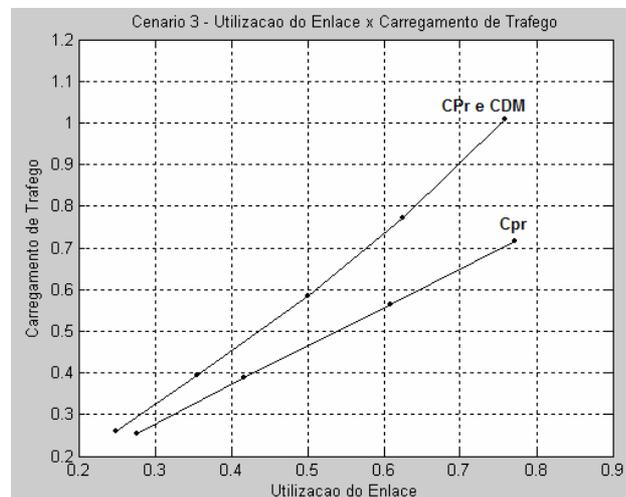


Figura 4.14 – Cenário 3 - Carregamento de tráfego x Utilização do enlace

A utilização do enlace do sistema 1xEV-DV foi de 75.6% para o sistema sem CDM com 70% de carregamento de tráfego e 57% para o sistema com CDM. Assim, a implementação do CDM representou a redução de 24.6% da utilização do enlace do sistema para carregamento de tráfego de 70%. Assim como nos cenários anteriores, a diferença resultante da implementação da técnica

CDM é maior quanto maior for o carregamento do sistema, conforme apresentado no gráfico da Fig. 4.14.

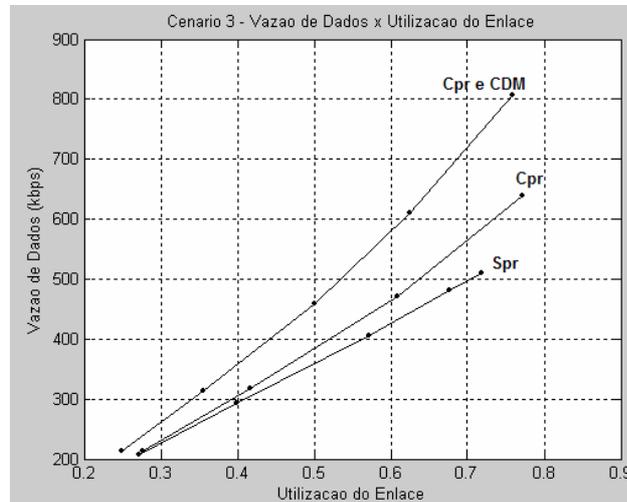


Figura 4.15 – Cenário 3 – Vazão de dados x Utilização do enlace

O gráfico da Fig. 4.15 apresenta a vazão de dados em relação à utilização do enlace de transmissão de dados para o cenário 3 do sistema 1xEV-DV. A vazão de dados do sistema 1xEV-DV em relação à utilização do enlace de transmissão de dados apresentou resultados próximos para o sistema sem prioridade e com prioridade sem CDM para valores baixos de utilização de enlace, atingindo 500 kbps para o sistema sem prioridade e 579 kbps para o sistema com prioridade, com 70% de utilização do enlace. Para mesma utilização de enlace, com a implementação da técnica CDM, a vazão de dados atingiu 725 kbps, representando um ganho de 25.2% na vazão de dados.

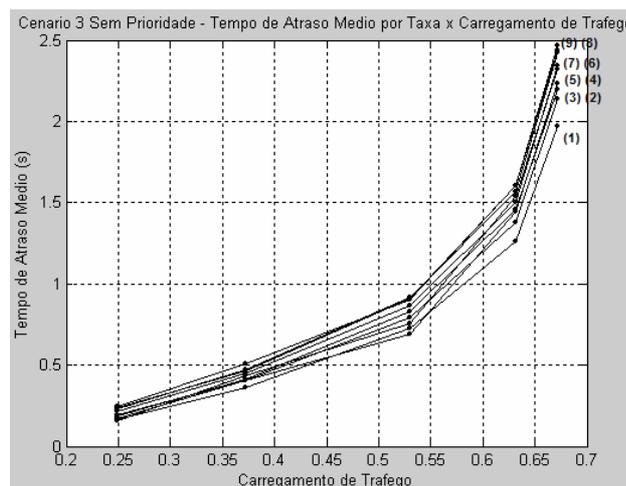


Figura 4.16 – Cenário 3 sem prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

Os gráficos das Figs. 4.16, 4.17 e 4.18 apresentam os tempos de atraso médios por taxa para o sistema sem escalonamento baseado em prioridade, com escalonamento baseado em prioridade e para o sistema com escalonamento e com a implementação de CDM respectivamente.

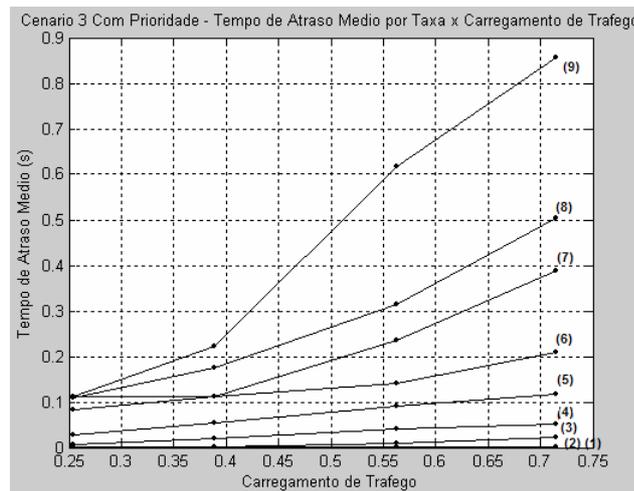


Figura 4.17 – Cenário 3 com prioridade - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

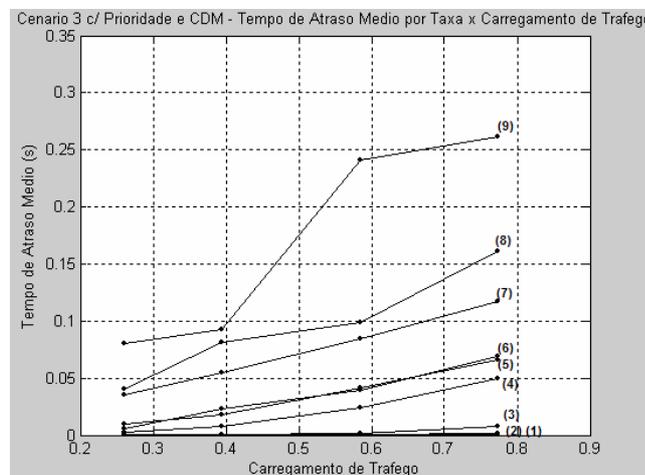


Figura 4.18 – Cenário 3 com prioridade e CDM - Tempo de atraso médio por taxa x Carregamento de tráfego

## 4.5 Comparação com Modelo de Tráfego de Poisson

Além das simulações com modelos de fonte de tráfego de dados reais (HTTP, WAP e FTP), foram realizadas simulações considerando tráfego poissoniano para comparação. Para este caso, o programa de simulação em *Matlab* considera que a chegada de pacotes segue uma distribuição exponencial negativa, e  $\lambda$  (taxa de chegada dos pacotes) é calculado de forma a seguir as distribuições de probabilidade de cada taxa de transmissão de dados, seguindo a distribuição apresentada anteriormente na Tab. 3.1. O tempo de atendimento ( $1/\mu$ ) é equivalente a quantidade de *timeslots* necessários para a transmissão.

O carregamento do sistema  $\rho$  é determinado através da relação entre a taxa de chegada e a taxa de atendimento dos pacotes, assim, para variar o carregamento de tráfego na estação rádio base, a taxa de chegada de pacotes  $\lambda$  foi calculada para cada caso, já que a taxa de atendimento  $\mu$  mantém-se fixa dependendo apenas da taxa de transmissão de dados.

Desta forma, variando o carregamento total do sistema 1xEV-DV  $\rho(\text{total})$ , as taxas de chegada dos pacotes  $\lambda(i,n)$  pode ser calculada levando-se em conta a distribuição das probabilidades de cada taxa de dados. Assim:

$$\rho_{total} = \sum \rho(i) \quad (1)$$

$$\rho(i) = \frac{\lambda(i)}{\mu(i)} \quad (2)$$

$$Pb(i) = \frac{\lambda(i)}{\sum \lambda(i)} \quad (3)$$

Sendo:

$\lambda(i)$  = taxa de chegada dos pacotes para taxa de dados  $i$ .

$\mu(i)$  = taxa de atendimento dos pacotes para taxa de dados  $i$ .

$\rho(i)$  = carregamento de tráfego para taxa de dados  $i$  ( $\lambda(i)/\mu(i)$ ).

$Pb(i)$  = probabilidade para taxa de dados  $i$ .

Para esta análise, foram realizadas simulações com e sem escalonamento por prioridade de taxa de dados, e também com e sem a implementação da técnica de multiplexação por divisão em código (CDM).

A Fig. 4.19 mostra os resultados obtidos nas simulações com tráfego poissoniano para o cenário sem escalonamento por prioridade, com prioridade e com prioridade e implementação de CDM. Os resultados das simulações são apresentados em linha contínua e os resultados teóricos em linha pontilhada. Os resultados do modelo teórico e das simulações com tráfego poissoniano apresentaram resultados muito próximos, com desvio padrão médio de 0.69% para o cenário sem

prioridade e 0.54% para o cenário com prioridade, validando a simulação. O modelo teórico é apresentado em detalhes no Apêndice A.

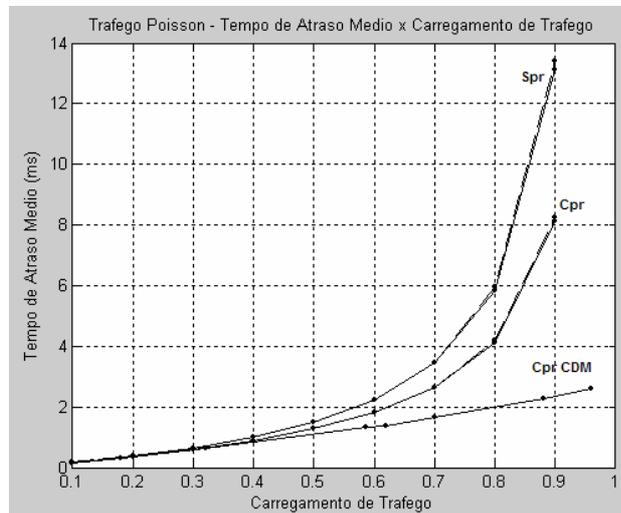


Figura 4.19 – Tráfego de Poisson - Tempo de atraso médio x Carregamento de tráfego

Seguindo a mesma distribuição de taxas de dados mostrada na Tab. 3.1, a simulação do sistema 1xEV-DV com tráfego poissoniano e sem prioridade apresentou tempos médios de atraso dos pacotes de 0.16 ms a 13.4 ms dependendo do carregamento do sistema, atingindo 3.47 ms para 70% de carregamento de tráfego.

A simulação do sistema com tráfego poissoniano e com escalonamento baseado em prioridade de taxas apresentou tempo médio de atraso dos pacotes menores quando comparados com o cenário sem prioridade. Com 70% de carregamento de tráfego, o tempo médio de atraso dos pacotes foi 2.66 ms.

Com a mesma distribuição de tráfego com escalonamento por prioridade de taxas, considerando-se a implementação da técnica CDM, os resultados mostraram-se bem mais favoráveis para a média de atraso dos pacotes. O tempo de atraso médio dos pacotes foi 1.7 ms para 70% de carregamento de tráfego. A diferença entre os atrasos médios dos pacotes torna-se mais evidente quanto maior for o carregamento do sistema.

Na média das simulações, o desvio padrão foi 1.84% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.092% do valor da média. O modelo de simulação do sistema 1xEV-DV com tráfego poissoniano é validado pelo modelo analítico conforme descrito no Apêndice A.

Os tempos de atraso médio dos pacotes para o tráfego poissoniano mostraram-se muito menores que os valores encontrados na simulação do sistema 1xEV-DV utilizando modelos baseados em tráfego real de dados, como WAP, HTTP e FTP. Esta grande diferença ocorre porque

os tráfegos de dados WAP, HTTP e FTP apresentam correlação entre os pacotes, ou seja, os pacotes não são independentes e chegam à estação rádio base em *bursts*. Além disto, como o tráfego HTTP e FTP utilizam o protocolo TCP, os pacotes dependem da mensagem ACK da estação móvel para serem transmitidos. No tráfego poissoniano isto não ocorre, os pacotes são independentes, com chegada seguindo a distribuição exponencial negativa e não precisam esperar a confirmação da estação móvel para serem transmitidos.

Em relação a implementação da técnica CDM, assim como nos cenários anteriores com tráfego de dados baseado nos modelos WAP, HTTP e FTP, para sistemas com alto carregamento de tráfego de dados, a aplicação da técnica CDM traz benefício. Embora este benefício seja menor considerando o tráfego poissoniano, com 70% de carregamento, os atrasos médios apresentaram diminuição de 46.9%. Para sistemas com carregamento baixo, os ganhos devido à utilização do CDM são menores, com 30% de carregamento de tráfego poissoniano, a diminuição do tempo médio de atraso atinge 13%.

Com tráfego poissoniano, os valores médios da vazão do sistema 1xEV-DV são muito próximos para os três casos quando analisados em função do carregamento do sistema. Isto ocorre porque a distribuição das probabilidades por taxa de dados é a mesma. Entretanto quando estes valores são analisados em função da utilização do enlace, pode-se observar na Fig. 4.20 que para a mesma utilização de enlace, a vazão é maior quando se utiliza a técnica CDM, sendo esta diferença mais acentuada quanto maior for o carregamento do sistema. Para carregamento de sistema de 70%, no caso sem CDM, a utilização do enlace é 70%, porém no caso com CDM, a utilização do enlace foi 63.6%. A relação entre o carregamento de tráfego e a utilização do enlace é apresentada na Fig. 4.21.

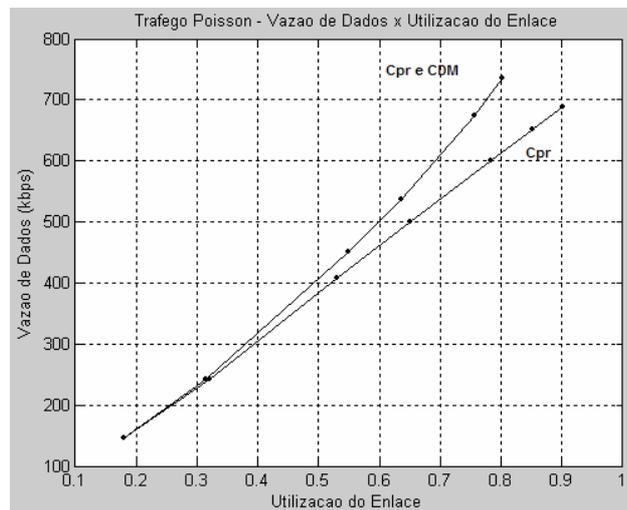


Figura 4.20 – Tráfego de Poisson – Vazão de dados x Utilização do enlace

Para o tráfego de Poisson, sem a implementação da técnica CDM, a utilização do enlace apresenta o mesmo valor que o carregamento de tráfego. Isto não ocorre para as simulações com os

modelos de tráfego HTTP, FTP e WAP, devido ao protocolo TCP e o tamanho dos pacotes 1xEV-DV. Como o tamanho dos pacotes gerados varia e precisa ser dividido nos tamanhos dos pacotes TCP e depois nos tamanhos dos pacotes 1xEV-DV, na maioria dos casos esta divisão não é exata, e existirão pacotes que não serão preenchidos inteiramente com dados, gerando uma quantidade maior de pacotes para serem transmitidos.

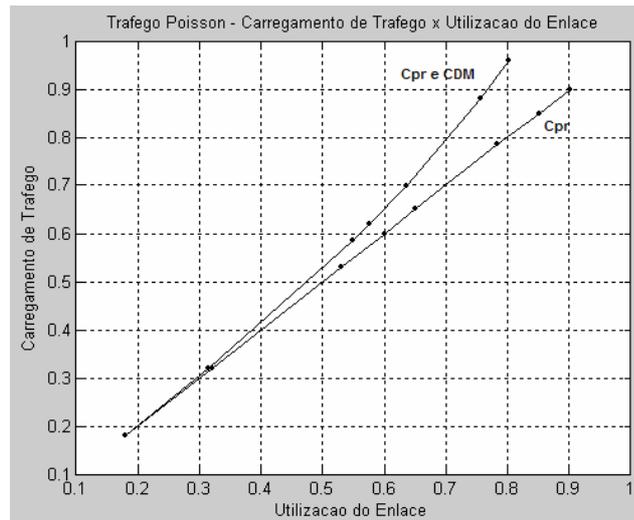


Figura 4.21 – Tráfego de Poisson – Carregamento de tráfego x Utilização do enlace

## 4.6 Conclusão

Considerando diversos cenários que representam perfis de usuários de dados diferentes, além da variação de carregamento de tráfego, escalonamento por prioridade de taxas e utilização da técnica CDM, foi possível obter uma ampla visão do desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV em diferentes situações.

Através de simulações foi possível avaliar o desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV para tráfego de dados HTTP, FTP e WAP. O sistema foi analisado em relação aos tempos médios de atraso dos pacotes, à vazão de dados e à utilização do enlace de transmissão.

Foi possível obter resultados que avaliam o comportamento do canal de tráfego de dados do enlace direto do sistema 1xEV-DV em situações com priorização das taxas de dados, assim como verificar a eficiência da utilização da multiplexação por divisão em código (CDM) além da multiplexação por divisão no tempo (TDM) no enlace direto. Com a utilização da técnica CDM, é possível obter uma grande redução dos tempos médios de atraso dos pacotes. Esta redução é acentuada conforme o carregamento de tráfego do sistema aumenta.

Este capítulo também apresentou a comparação dos resultados para o modelo baseado em tráfego real de dados (HTTP, FTP e WAP) com tráfego poissoniano, mostrando que os resultados de tempo de atraso médio dos pacotes são bastante diferentes. Isto mostra que para uma análise mais realista, é necessário considerar modelos baseados em tráfego de dados real.

# Capítulo 5

## Conclusões

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV considerando o modelo de filas, variações de escalonamento e implementação da técnica CDM além do TDM com fontes baseadas em modelos de tráfego de dados real WAP, HTTP e FTP. O tempo médio de atraso dos pacotes, a vazão e a utilização de enlace foram avaliados em função do carregamento de tráfego do sistema.

O enlace direto do sistema 1xEV-DV foi analisado em cenários que consideram o escalonamento FIFO e o escalonamento baseado em prioridade de taxas. Além disto, foi possível verificar e quantificar a eficiência da implementação da multiplexação por divisão em código (CDM) além da multiplexação por divisão no tempo (TDM) no enlace direto.

Com a utilização da técnica CDM, é possível obter uma grande redução dos tempos médios de atraso dos pacotes e aumento da vazão de dados do sistema. Considerando os cenários analisados com modelos de tráfego real de dados, a redução dos tempos de atraso médio dos pacotes devido a implementação da técnica CDM foi em média 77.2% para 70% de carregamento de tráfego. O ganho na vazão de dados do sistema atingiu em média 19.2% em relação ao sistema sem CDM para 70% de utilização do enlace.

Quanto maior o carregamento de tráfego do sistema, maior será o ganho com a utilização da técnica CDM, entretanto, a técnica CDM já apresenta alto ganho mesmo para carregamentos de tráfego baixos, principalmente em relação ao tempo de atraso médio dos pacotes. O que demonstra a eficiência da implementação da técnica independente do nível de carregamento de tráfego do sistema.

A implementação do escalonamento baseado em prioridade de taxas também apresentou um alto ganho no tempo de atraso médio dos pacotes em relação ao sistema sem escalonamento. Na média, a redução do tempo médio de atraso foi 85.8% com o escalonamento por prioridade de taxas. Entretanto, como não há grande redução na utilização do enlace com a implementação do escalonamento por prioridade, a vazão de dados do sistema não apresenta grande aumento.

Além disto, foi possível comparar os resultados das simulações do sistema 1xEV-DV utilizando modelos de tráfego de dados realistas (HTTP, WAP e FTP), com os resultados obtidos a partir do modelo de tráfego poissoniano, demonstrando a importância da utilização dos modelos de tráfego de dados real.

Em relação à vazão de dados do sistema, não há grandes alterações nos resultados obtidos, comparando-se o tráfego poissoniano com os tráfegos HTTP, WAP e FTP. Entretanto, com o modelo de tráfego poissoniano os tempos médios de atraso foram muito menores que os resultados obtidos com tráfego HTTP, WAP e FTP. Isto ocorre porque os tráfegos de dados WAP, HTTP e FTP apresentam correlação entre os pacotes, que não são independentes e chegam à estação rádio base em *bursts*. Outro fator importante é que como o tráfego HTTP e FTP utilizam o protocolo TCP, os pacotes precisam esperar a mensagem ACK da estação móvel para serem transmitidos. No tráfego poissoniano isto não ocorre, os pacotes são independentes, com chegada seguindo a distribuição exponencial negativa e não precisam esperar a confirmação da estação móvel para serem transmitidos.

Estas diferenças entre o tráfego poissoniano e o tráfego baseado em modelos de tráfego real são responsáveis por uma grande diferença nos resultados de tempo médio de atraso, tanto nos valores obtidos, como no comportamento devido à utilização do escalonamento baseado em prioridade de taxa de dados e à implementação da técnica CDM.

Com tráfego poissoniano, a redução do tempo médio de atraso dos pacotes devido à utilização do escalonamento por prioridade foi 27.3% e devido à implementação do CDM foi 46.9%. Isto mostra uma grande diferença em relação às simulações com tráfego HTTP, WAP e FTP, demonstrando que os ganhos devido à implementação das técnicas de escalonamento e CDM são melhor avaliadas com a utilização de modelos baseados em tráfego real de dados.

Desta forma, este trabalho contribui apresentando os resultados do desempenho do tempo de atraso de pacotes, da vazão de dados e da utilização do enlace do sistema 1xEV-DV, obtidos através de simulações e avaliados em função do carregamento de tráfego, assim como a análise quantitativa do ganho no desempenho devido a implementação da técnica de CDM no enlace direto. Além disto, a implementação das fontes de tráfego WAP, HTTP e FTP em *Matlab* foi outra importante contribuição deste estudo, pois permite simulações mais realistas através da utilização dos modelos de tráfego baseados em tráfego de dados real.

## Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, a análise do desempenho do sistema 1xEV-DV pode ser realizada considerando-se também as características da interface aérea. O modelo de simulação também pode ser implementado para a análise do desempenho do enlace reverso do sistema 1xEV-DV.

## Referências Bibliográficas

1. 3GPP2 C.S0002-C, *Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release C*, version 1.0, May 2002.
2. 3GPP2 C.S0002-D, *Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release D*, version 1.0, February 2004
3. 3GPP2 C.S0002-A, *Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release A*, version 6.0, Feb 2002.
4. 3GPP2 WG5 Evaluation AHG, *1xEV-DV Evaluation Methodology – Addendum (V6)*, July 25, 2001.
5. Motorola Inc., *Technical Overview of 1xEV-DV*, version G1.4, 2002.
6. L.Hsu, M. W. Cheng, I. Niva, *Evolution Towards Simultaneous High-Speed Packet Data and Voice Services: An Overview of cdma2000 1xEV-DV*, IEEE 10th International Conference on Telecommunications (ICT 2003), pg. 1313-1317, vol. 2, 23 Feb.-1 March 2003.
7. A. Soong, S. Oh, A. Damnjanovic, Y. Yoon, *Forward High-Speed Wireless Packet Data Service in IS-2000 – 1xEV-DV*, IEEE Communications Magazine, vol. 41, issue 8, pg. 170–177, August 2003.
8. R. T. Derryberry, Lin Ma, Z. Rong, *Performance of the cdma2000 1xEV-DV System*, IEEE Vehicular Technology Conference, 2003 (VTC 2003-Spring), vol. 2, pg. 1163-1167, 22-25 April 2003.
9. S. Agrawal, I. Acharya, S. Goel, *Inside 3G Wireless Systems: The 1xEV-DV*.
10. Z.Pi, R. T. Derryberry, *CDMA2000 1xEV-DV Reverse Link System Design*, IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC 2003), vol. 1, pg. 514-519, 16-20 March 2003.
11. Y Chung, C. Koo, B. Bae, H. Lee, D. CHo, *An Efficient Reverse Link Data Rate Control Scheme for 1xEV-DV*, IEEE Vehicular Technology Conference, 2001 (VCT 2001 - Fall), vol. 2, pg. 802-823, 7-11 October 2001.
12. R. T. Derryberry, L. Ma, Z. Rong, *Voice and Data Performance of the cdma2000 1xEV-DV System*, International Communication Conference 2003.

13. H. Kwon, Y. Kim, J. Han, D. Kim, H. W. Lee, Y. K. Kim, *Performance Evaluation of High-Speed Packet Enhancement on cdma2000 1xEV-DV*, IEEE Communications Magazine, April 2005.
14. S. Motoyama, *Fila de multi-usuários sem e com prioridade*. Apostila do curso IE670, aula 11, DT- Unicamp, 2005.
15. T. G. Robertazzi, *Computer Networks and Systems – Queueing Theory and Performance Evaluation*, second edition, Springer-Verlag, 1994.
16. H. Waldman, M. D. Yacoub, *Telecomunicações Princípios e Tendências*. Editora Érica, São Paulo, 1.a edição, 1997.
17. M. Evans, N. Hastings, B. Peacock, *Statistical Distributions*, second edition, 1993.
18. *EDGE – Introduction of high-speed data in GSM/GPRS networks*, White Paper Ericsson.
19. A. Kavak, J. R. Cleveland, *Interference Analysis and Capacity for Mixture of Forward Link cdma2000-1X and 1xEV-DV Voice Traffic*, IEEE 2003.
20. A. Glosch, L. Jalloul, B. Love, M. Cudak, B. Classon, *Air-Interface for IXTREME /1xEV-DV*, VTC'01 - IEEE 2001.
21. S. Sarkar, Y. Wei, D. P. Oses, *New Channels for Efficient Data Services in cdma2000*, PIMRC 2002 – IEEE 2002.
22. A. Das, F. Khan, A. Sampath, H. Su, *Adaptive, Asynchronous, Incremental Redundancy (A2IR) with Fixed Transmission Time Intervals (TTI) for HSDPA*, PIMRC 2002 – IEEE 2002.
23. *CDMA2000 1X Overview: Revolutionary Performance from an Evolutionary Technology – White Paper – Qualcomm*, October 2002.
24. R. T. Derryberry, A. Hsu, W. Tamminen, *Overview of cdma2000 Revision D*, Nokia.
25. J. Cao, W. S. Cleveland, D. Lin, D. X. Sun, *Internet Traffic Tend Toward Poisson and Independent as the Load Increases*.
26. M. E. Crovella, A. Bestavros, *Self-Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes*.
27. D. Staehle, K. Leibnitz, P. Tran-Gia, *Source Traffic Modeling of Wireless Applications*, Research Report Series, Report N.o 261, June 2000.
28. F. Khan, S. Kumar, K. Medepalli, S. Nanda, *Link Layer Buffer Size Distributions for HTTP and FTP Applications in an IS-2000 System*, IEEE 2000.
29. J. Cho, T. Kwon, C. Koo, DS Park, D. Kim, D. Cho, *Multiple Quality Control: A New Framework for QoS Control in Forward Link of 1xEV-DV Systems*, IEEE 2002.
30. Lucent Technologies, *1xEV-DV Revision D standards tutorial presentation*, March 2004.

31. T. A. G. Bassi, S. Motoyama, *Estudo de Desempenho do Sistema IxEV-DV no Enlace Direto*, XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBT04 – Belém, PA. 06-09 de Setembro de 2004.
32. T. A. G. Bassi, S. Motoyama, *Forward Link Performance Study of the IxEV-DV System*, International Workshop on Telecommunications – IWT2004 – Santa Rita do Sapucaí – MG. Páginas 6-11. 23-27 de Agosto de 2004.
33. T. A. G. Bassi, S. Motoyama, *Forward Link Performance Study of the IxEV-DV System under HTTP Traffic*, Advanced Industrial Conference on Telecommunications – A-ICT2005 – Lisboa – Portugal. Aceito para publicação.

# Apêndice A

## Modelo Análítico para Tráfego de Poisson

Modelos analíticos baseados em teoria de filas são utilizados para comparar os resultados obtidos na seção 4.5 com a simulação do sistema 1xEV-DV sem e com escalonamento baseado em prioridade de taxas. Para o cenário com tráfego poissoniano sem escalonamento por prioridade, o modelo de fila sem prioridade é considerado, e para o cenário com escalonamento por prioridade o modelo de fila com prioridade e sem preempção é utilizado.

Sendo:

$E\{T_0\}$  – tempo médio para completar a transmissão do pacote atual quando um pacote chega.

$E\{W\}$  – tempo médio de atraso de pacote na fila.

$\rho$  – carregamento de tráfego

$\mu$  – taxa de atendimento dos pacotes

$\lambda$  – taxa de chegada dos pacotes

$i$  – taxa de transmissão de dados

Para o cenário sem prioridade, o modelo analítico é dado por:

$$E\{W\} = \frac{E\{T_0\}}{(1 - \rho_{\text{total}})} \quad (\text{A.1})$$

$$\text{Onde: } E\{T_0\} = \frac{1}{2} \frac{\sum \lambda(i)}{\sum \mu^2(i)}$$

O modelo analítico para o cenário com prioridade é dado por:

$$E\{W_1\} = \frac{E\{T_0\}}{(1 - \rho_1)} \quad (\text{Primeira prioridade})$$

$$E\{W_k\} = \frac{E\{T_0\}}{(1 - \sigma_{k-1})(1 - \sigma_k)} \quad (\text{A.2})$$

$$E\{W_r\} = \frac{E\{T_0\}}{(1 - \sigma_{r-1})(1 - \rho_{\text{total}})} \quad (\text{Última prioridade})$$

Onde:

$$\sigma_k = \sum_{j=1}^{j=k} \rho_j$$

Neste caso,  $E\{W_n\}$  é calculado para cada nível de prioridade, e a média  $E\{W_n T\}$  é:

$$E\{W_{nT}\} = \sum P_b(n) E\{W_n\} \quad (\text{A.3})$$

A vazão média para ambos casos é calculada considerando o carregamento de tráfego ( $\rho$ ) e a taxa de transmissão de dados ( $i$ ):

$$\text{Vazão} = \sum i \rho(n) \quad (\text{A.4})$$

Para validar as simulações do sistema 1xEV-DV com tráfego poissoniano, os resultados foram comparados com os modelos analíticos utilizando as Eqs. A.1 e A.2.

A simulação do sistema com tráfego de Poisson e o modelo analítico apresentaram resultados muito próximos nos dois casos, sem e com prioridade. Para a simulação sem prioridade, a variação média foi 0.69% para o tempo médio de atraso de pacotes e 0.13% para a vazão de dados. Para a simulação com prioridade, a variação média para o tempo médio de atraso dos pacotes foi 0.54% e para a vazão de dados foi de 0.12%.

## Apêndice B

### Programas Desenvolvidos em Matlab

Neste apêndice são apresentados os programas desenvolvidos em *Matlab* para a simulação do sistema 1xEV-DV. O programa principal é descrito através de um diagrama de blocos devido sua extensão e complexidade. Os códigos das fontes de tráfego para HTTP, WAP e FTP são apresentados na sequência.

#### B.1 Programa Principal - Sistema 1xEV-DV

A Fig. B.1 apresenta o diagrama de blocos do programa de simulação principal.

Os parâmetros de entrada de geração de pacotes dos usuários são a quantidade de usuários (para cada carregamento de tráfego) e os percentuais de cada tipo de tráfego de dados. O tráfego de dados que será transmitido para cada usuário, é gerado individualmente seguindo o percentual para cada tipo de tráfego de dados, por exemplo, no cenário 2, 40% de tráfego WAP, 30% de tráfego HTTP e 30% de tráfego FTP. Os pacotes dos usuários já consideram os tamanhos de pacotes do protocolo de transporte TCP, no caso do HTTP e FTP, assim como o tamanho dos pacotes da interface aérea do 1xEV-DV, que depende da taxa de transmissão de dados em que cada usuário se encontra.

Os pacotes que serão transmitidos para cada usuário, são enviados ao servidor, que representa a estação rádio base 1xEV-DV. A estação rádio base 1xEV-DV pode então realizar a simulação sem escalonamento baseado em prioridade, com prioridade, e com prioridade e implementação da técnica CDM. Isto é determinado através dos parâmetros de entrada do servidor.

Caso a simulação considere escalonamento FIFO (sem prioridade), os pacotes entram em um *buffer*, onde ficam armazenados por ordem de chegada até que sejam transmitidos.



No caso do escalonamento com prioridade, os pacotes passam por um separador por usuário e prioridade. Como a prioridade considerada depende da taxa de transmissão de dados, os pacotes são separados por usuário e por taxa de transmissão, sendo armazenados em um conjunto de *buffers*. No atendimento, o seletor de prioridade seleciona qual é o pacote de prioridade mais alta que está esperando por atendimento no *buffer*, e começa a atender sempre pelo pacote de maior prioridade.

Após o seletor de prioridade, caso a simulação considere a implementação da técnica CDM, o pacote passa por um combinador CDM, que verifica, seguindo a ordem de prioridade, se há algum outro pacote no *buffer* que pode ser transmitido no mesmo *timeslot*. Isto dependerá da quantidade de Walsh codes ainda disponíveis no *timeslot*, que depende da taxa de transmissão de dados.

Após todos os pacotes gerados serem atendidos, dentro de um tempo estipulado, o simulador gera estatísticas para cada simulação. Os dados de saída do simulador são o tempo médio de atraso de pacotes, desvio padrão e intervalo de confiança, os tempos médios de atraso de pacotes por taxa de transmissão, desvio padrão e intervalo de confiança, a vazão de dados do sistema 1xEV-DV e a utilização do enlace direto do sistema 1xEV-DV.

## B.2 Fonte de Tráfego HTTP

```
% Fonte HTTP com protocolos HTTP1.0 e HTTP1.1
% Tania Bassi
% Dezembro/2004

lambda = 1/30;
bytes_HTTP = 0;

http_burst = 0; % contador de quantas vezes foi o protocolo HTTP1.0
http_persistent = 0; % contador de quantas vezes foi o protocolo HTTP1.1

% probabilidade de 50-50% para HTTP1.0 e HTTP1.1
sorteio = rand;
while sorteio == 0.5
    sorteio = rand;
end
if sorteio < 0.5
    http_burst = http_burst + 1;
    HTTP_Burst3;
else
    http_persistent = http_persistent + 1;
    HTTP_Persistent3;
end
% Reading time
delta_tch = -log(rand)/lambda;
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
```

### B.2.1 HTTP Burst

```
% Fonte HTTP 1.0 Burst Mode
% Tania Bassi
% Outubro/2004

delta_tch = 0;
lambda_pars = 1/0.13; % Parsing time
```

```

lambda_prop = 20; % Tempo de propagacao

% Parametros da distribuicao de Pareto
k = 1.75;
alfa = 1.1;

% Tamanho do pacote 1xEV-DV para interface aerea, dependendo da taxa de dados
switch taxa,
    case 1, % para taxa de dados de 3091.2kbps
        pacote = 3864; % (bits)
    case 2, % para taxa de dados de 2476.8kbps
        pacote = 3096;
    case 3, % para taxa de dados de 1862.4kbps
        pacote = 2328;
    case 4, % para taxa de dados de 1238.4kbps
        pacote = 3096;
    case 5, % para taxa de dados de 931.2kbps
        pacote = 2328;
    case 6, % para taxa de dados de 624kbps
        pacote = 1560;
    case 7, % para taxa de dados de 312kbps
        pacote = 1560;
    case 8, % para taxa de dados de 158.4kbps
        pacote = 792;
    case 9, % para taxa de dados de 81.6kbps
        pacote = 408;
end

MTU1 = 12000; % 76% Tamanho do pacote (1500 bytes)
MTU1_40 = 11680; % (1460 bytes)
MTU2 = 4608; % 24 % Tamanho do pacote (576 bytes)
MTU2_40 = 4288; % (536 bytes)
% 76% das vezes o MTU sera 1500 bytes
sorteio = rand;
if sorteio <= 0.76
    MTU = MTU1;
    MTU_40 = MTU1_40;
else
    MTU = MTU2;
    MTU_40 = MTU2_40;
end

% Envio de segmentos SYN+ACK e segmentos de controle
tamanho = 640; % 80 bytes
fwrite(fid3,tamanho,'float');
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end

% Tamanho do objeto principal segundo a distribuicao lognormal com media 10710 bytes
tamanho_main = round(lognrnd(8.35,1.37));
% Enquanto o tamanho do arquivo for maior que 2 MB e menor que 100 bytes gere outro tamanho
aleatorio
while (tamanho_main > 2000000) | (tamanho_main < 100)
    tamanho_main = round(lognrnd(8.35,1.37));
end

bytes_HTTP = tamanho_main;

tamanho_main = tamanho_main*8; % passa para bits

% Calcula o numero de pacotes necessarios para transmitir o arquivo
n_pacotes = ceil(tamanho_main/MTU_40);
for j = 1:n_pacotes,
    fwrite(fid3,MTU,'float');
    %fprintf(fid4,'%1.4f\r',MTU);
end

```

```

for j = 1:n_pacotes
    % Tempo de propagacao
    delta_tch = -log(rand)/lambda_prop;
    fwrite(fid,delta_tch,'float');
    t_total = t_total + delta_tch;
    tamanho = MTU;
    if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
        n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
        for j = 2:n_pacotes_ev,
            delta_tch = 0;
            fwrite(fid,delta_tch,'float');
        end
    end
end

% Envio do segmento FIN
% tamanho = 40 bytes - sempre sera necessario apenas 1 pacote ev-dv (menor pacote ev-dv =
408 bits para 81.6kbps)
tamanho = 320;
delta_tch = -log(rand)/lambda_prop;
fwrite(fid,delta_tch,'float');
fwrite(fid3,tamanho,'float');
t_total = t_total + delta_tch;

% Envio do segmento ACK, fecha a conexao
% tamanho = 40 bytes - sempre sera necessario apenas 1 pacote ev-dv (menor pacote ev-dv =
408 bits para 81.6kbps)
tamanho = 320;
delta_tch = -log(rand)/lambda_prop;
fwrite(fid,delta_tch,'float');
fwrite(fid3,tamanho,'float');
t_total = t_total + delta_tch;

% Numero de objetos embutidos segundo a distribuicao de pareto com media = 5.64
n_objetos = round(k*(1 - rand)^(-1/alfa)); % Numero de objetos embutidos
% Enquanto o numero de objetos embutidos for maior do que 53 gera-se outro numero aleatorio
while (n_objetos > 53) | (n_objetos < 1.5)
    n_objetos = round(k*(1 - rand)^(-1/alfa));
end

if n_objetos ~= 0,
    resto_composto = 0;

    if (n_objetos/4) <= 1
        b = n_objetos;
        n_compostos = 1;
    else
        b = 4;
        n_compostos = fix(n_objetos/4);
        if ((n_objetos/4) - fix(n_objetos/4)) > 0
            resto_composto = ((n_objetos/4) - fix(n_objetos/4))*4;
        end
    end

    for i = 1:n_compostos
        objeto_composto = 0;
        for w = 1:b
            % Tamanho do objeto embutido segundo a distribuicao lognormal com media 7758 bytes
            tamanho_objeto_embutido = round(lognrnd(6.17,2.36));
            % Enquanto o tamanho do objeto embutido for maior que 2 MB e menor que 50 bytes
            gere outro tamanho aleatorio
            while (tamanho_objeto_embutido > 2000000) | (tamanho_objeto_embutido < 50)
                tamanho_objeto_embutido = round(lognrnd(6.17,2.36));
            end

            bytes_HTTP = bytes_HTTP + tamanho_objeto_embutido;

            objeto_composto = objeto_composto + tamanho_objeto_embutido;
        end
    end
end

```

```

objeto_composto = objeto_composto*8; % passa para bits

% Envio de segmentos SYN+ACK e segmentos de controle
tamanho = 640*b; % 80 bytes * b
fwrite(fid3,tamanho,'float');
% Espera tambem o Parsing time se for o primeiro objeto composto
if i == 1,
    delta_tch = -log(rand)/lambda_prop + -log(rand)/lambda_pars; % Tempo de propagacao
+ parsing time
else
    delta_tch = -log(rand)/lambda_prop; % Tempo de propagacao apenas
end
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
        %fprintf(fid2,'%1.4f\r',delta_tch);
    end
end

% Calcula o numero de pacotes necessarios para transmitir o arquivo
n_pacotes = ceil(objeto_composto/MTU_40);
for j = 1:n_pacotes,
    fwrite(fid3,MTU,'float');
end

for j = 1:n_pacotes
    % Tempo de propagacao
    delta_tch = -log(rand)/lambda_prop;
    fwrite(fid,delta_tch,'float');
    t_total = t_total + delta_tch;
    tamanho = MTU;
    if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
        n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
        for j = 2:n_pacotes_ev,
            delta_tch = 0;
            fwrite(fid,delta_tch,'float');
        end
    end
end

% Envio do segmento FIN
tamanho = 320*b; % 40 bytes * b
fwrite(fid3,tamanho,'float');
delta_tch = -log(rand)/lambda_prop; % Tempo de propagacao
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end

% Envio do segmento ACK, fecha a conexao
tamanho = 320*b; % 40 bytes * b
fwrite(fid3,tamanho,'float');
delta_tch = -log(rand)/lambda_prop; % Tempo de propagacao
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end
end

```

```

end

if resto_composto > 0
    for w = 1:resto_composto
        % Tamanho do objeto embutido segundo a distribuicao lognormal com media 7758 bytes
        tamanho_objeto_embutido = round(lognrnd(6.17,2.36));
        % Enquanto o tamanho do objeto embutido for maior que 2 MB e menor que 50 bytes
        gere outro tamanho aleatorio
        while (tamanho_objeto_embutido > 2097152) | (tamanho_objeto_embutido < 50)
            tamanho_objeto_embutido = round(lognrnd(6.17,2.36));
        end

        bytes_HTTP = bytes_HTTP + tamanho_objeto_embutido;

        objeto_composto = objeto_composto + tamanho_objeto_embutido;
    end
    objeto_composto = objeto_composto*8; % passa para bits

    % Envio de segmentos SYN+ACK e segmentos de controle
    tamanho = 640*resto_composto; % 80 bytes * resto_composto
    fwrite(fid3,tamanho,'float');
    delta_tch = -log(rand)/lambda_prop; % Tempo de propagacao
    fwrite(fid,delta_tch,'float');
    t_total = t_total + delta_tch;
    if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
        n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
        for j = 2:n_pacotes_ev,
            delta_tch = 0;
            fwrite(fid,delta_tch,'float');
        end
    end
end

% Calcula o numero de pacotes necessarios para transmitir o arquivo
n_pacotes = ceil(objeto_composto/MTU_40);
for j = 1:n_pacotes,
    fwrite(fid3,MTU,'float');
end

for j = 1:n_pacotes
    % Tempo de propagacao
    delta_tch = -log(rand)/lambda_prop;
    fwrite(fid,delta_tch,'float');
    t_total = t_total + delta_tch;
    tamanho = MTU;
    if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
        n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
        for j = 2:n_pacotes_ev,
            delta_tch = 0;
            fwrite(fid,delta_tch,'float');
        end
    end
end

% Envio do segmento FIN
tamanho = 320 * resto_composto; % 40 bytes * resto_composto
fwrite(fid3,tamanho,'float');
delta_tch = -log(rand)/lambda_prop; % Tempo de propagacao
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end

% Envio do segmento ACK, fecha a conexao
tamanho = 320 * resto_composto; % 40 bytes * resto_composto
fwrite(fid3,tamanho,'float');

```

```

delta_tch = -log(rand)/lambda_prop; % Tempo de propagacao
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end
end
end
end

```

## B.2.2 HTTP Persistent

```

% Fonte HTTP 1.1 Persistent Mode
% Tania Bassi
% Outubro/2004

delta_tch = 0;
lambda_pars = 1/0.13; % Parsing time
lambda_prop = 20; % Tempo de propagacao

% Parametros da distribuicao de Pareto
k = 1.75;
alfa = 1.1;

% Tamanho do pacote 1xEV-DV para interface aerea, dependendo da taxa de dados
switch taxa,
    case 1, % para taxa de dados de 3091.2kbps
        pacote = 3864; % (bits)
    case 2, % para taxa de dados de 2476.8kbps
        pacote = 3096;
    case 3, % para taxa de dados de 1862.4kbps
        pacote = 2328;
    case 4, % para taxa de dados de 1238.4kbps
        pacote = 3096;
    case 5, % para taxa de dados de 931.2kbps
        pacote = 2328;
    case 6, % para taxa de dados de 624kbps
        pacote = 1560;
    case 7, % para taxa de dados de 312kbps
        pacote = 1560;
    case 8, % para taxa de dados de 158.4kbps
        pacote = 792;
    case 9, % para taxa de dados de 81.6kbps
        pacote = 408;
end

MTU1 = 12000; % 76% Tamanho do pacote (1500 bytes)
MTU1_40 = 11680; % (1460 bytes)
MTU2 = 4608; % 24 % Tamanho do pacote (576 bytes)
MTU2_40 = 4288; % (536 bytes)
% 76% das vezes o MTU sera 1500 bytes
sorteio = rand;
if sorteio <= 0.76
    MTU = MTU1;
    MTU_40 = MTU1_40;
else
    MTU = MTU2;
    MTU_40 = MTU2_40;
end

% Envio de segmentos SYN+ACK e segmentos de controle
tamanho = 640; % 80 bytes
fwrite(fid3,tamanho,'float');
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea

```

```

    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end

% Tamanho do objeto principal segundo a distribuicao lognormal com media 10710 bytes
tamanho_main = round(lognrnd(8.35,1.37));
% Enquanto o tamanho do arquivo for maior que 2 MB e menor que 100 bytes gere outro tamanho
aleatorio
while (tamanho_main > 2000000) | (tamanho_main < 100)
    tamanho_main = round(lognrnd(8.35,1.37));
end

bytes_HTTP = tamanho_main;

tamanho_main = tamanho_main*8; % passa para bits

% Calcula o numero de pacotes necessarios para transmitir o arquivo
n_pacotes = ceil(tamanho_main/MTU_40);
for j = 1:n_pacotes,
    fwrite(fid3,MTU,'float');
end

for j = 1:n_pacotes
    % Tempo de propagacao
    delta_tch = -log(rand)/lambda_prop;
    fwrite(fid,delta_tch,'float');
    t_total = t_total + delta_tch;
    tamanho = MTU;
    if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
        n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
        for j = 2:n_pacotes_ev,
            delta_tch = 0;
            fwrite(fid,delta_tch,'float');
        end
    end
end

% Numero de objetos embutidos segundo a distribuicao de pareto com media = 5.64
n_objetos = round(k*(1 - rand)^(-1/alfa)); % Numero de objetos embutidos
% Enquanto o numero de objetos embutidos for maior do que 53 gera-se outro numero aleatorio
while (n_objetos > 53) | (n_objetos < 1.5)
    n_objetos = round(k*(1 - rand)^(-1/alfa));
end

if n_objetos ~= 0,

% Transmite 4 pacotes de 40 bytes
tamanho = 1280; % 160 bytes
fwrite(fid3,tamanho,'float');
delta_tch = -log(rand)/lambda_prop + -log(rand)/lambda_pars; % Tempo de propagacao +
parsing time
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end

Nd = 1;

while Nd <= n_objetos

% Tamanho do objeto embutido segundo a distribuicao lognormal com media 7758 bytes

```

```

    tamanho_objeto_embutido = round(lognrnd(6.17,2.36));
    % Enquanto o tamanho do objeto embutido for maior que 2 MB e menor que 50 bytes gere
    outro tamanho aleatorio
    while (tamanho_objeto_embutido > 2000000) | (tamanho_objeto_embutido < 50)
        tamanho_objeto_embutido = round(lognrnd(6.17,2.36));
    end

    bytes_HTTP = bytes_HTTP + tamanho_objeto_embutido;

    tamanho_objeto_embutido = tamanho_objeto_embutido*8;

    % Calcula o numero de pacotes necessarios para transmitir o arquivo
    n_pacotes = ceil(tamanho_objeto_embutido/MTU_40);
    for j = 1:n_pacotes,
        fwrite(fid3,MTU,'float');
    end

    for j = 1:n_pacotes
        delta_tch = -log(rand)/lambda_prop;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
        t_total = t_total + delta_tch;
        tamanho = MTU;
        if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
            n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
            for j = 2:n_pacotes_ev,
                delta_tch = 0;
                fwrite(fid,delta_tch,'float');
            end
        end
    end
    end

    Nd = Nd + 1;
end

% Envio do segmento FIN e do segmento ACK, fecha a conexao
tamanho = 640; % 80 bytes
fwrite(fid3,tamanho,'float');
delta_tch = -log(rand)/lambda_prop; % Tempo de propagacao
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end
end
end

```

## B.3 Fonte de Tráfego WAP

```

% Fonte WAP
% Tania Bassi
% Agosto/2005

delta_tch = 0;
lambda1 = 1/1.6; % Tempo inter-chegada entre objetos
lambda2 = 1/2.5; % Tempo de resposta do gateway WAP
lambda3 = 1/5.5; % Tempo de leitura

% Parametros da distribuicao de Pareto
k = 93.21;
alfa = 1.1;

bytes_WAP = 0;

```

```

% Tamanho do pacote 1xEV-DV para interface aerea, dependendo da taxa de dados
switch taxa,
    case 1, % para taxa de dados de 3091.2kbps
        pacote = 3864; % (bits)
    case 2, % para taxa de dados de 2476.8kbps
        pacote = 3096;
    case 3, % para taxa de dados de 1862.4kbps
        pacote = 2328;
    case 4, % para taxa de dados de 1238.4kbps
        pacote = 3096;
    case 5, % para taxa de dados de 931.2kbps
        pacote = 2328;
    case 6, % para taxa de dados de 624kbps
        pacote = 1560;
    case 7, % para taxa de dados de 312kbps
        pacote = 1560;
    case 8, % para taxa de dados de 158.4kbps
        pacote = 792;
    case 9, % para taxa de dados de 81.6kbps
        pacote = 408;
end

% Numero de objetos seguindo distribuicao geometrica de media = 2
n_objetos = round((log(1 - rand)/log(1-1/3))-1);
% Enquanto numero de objetos for igual a 0 gere outro numero
while n_objetos < 0
    n_objetos = round((log(1 - rand)/log(1-1/3))-1);
end

for j = 1:n_objetos
% Geracao do tamanho_pacote_wap do objeto seguindo distribuicao de pareto de media 256
bytes
n_aleatorio = round(k*(1 - rand)^(-1/alfa));
% Enquanto o tamanho_pacote_wap do objeto for maior do que 1400 bytes gere
% outro tamanho de pacote wap
while n_aleatorio > 1400
    n_aleatorio = round(k*(1 - rand)^(-1/alfa));
end

bytes_WAP = bytes_WAP + n_aleatorio;

tamanho = n_aleatorio*8; % passa para bits
fwrite(fid3,tamanho,'float');

if j > 1,
    % Tempo de resposta para os demais pacotes
    % Tempo inter-chegadas entre os objetos seguindo a distribuicao poissoniana com media
1.6s
    delta_tch = -log(rand)/lambda1;
    fwrite(fid,delta_tch,'float');
    t_total = t_total + delta_tch;
end

if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
    %disp(['Quantidade de pacotes ev = ',num2str(n_pacotes_ev)]);
end

end % end do for de n_objetos

% Reading time (com media 5.5 segundos)
reading = -log(rand)/lambda3;
% Tempo de resposta do gateway WAP para o 1.o pacote segundo a
% distribuicao poissoniana de media 2.5s
gateway = -log(rand)/lambda2;
% o delta_tch para o proximo pacote depende do reading time + resposta do
% gateway para o 1.o pacote depois do request

```

```

delta_tch = reading + gateway;
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;

```

## B.4 Fonte de Tráfego FTP

```

% Fonte FTP
% Tania Bassi
% Agosto/2005

delta_tch = 0;
lambda_prop = 20; % Tempo de propagacao
lambda = 1/180; % Tempo de Leitura

bytes_FTP = 0;

% Tamanho do pacote 1xEV-DV para interface aerea, dependendo da taxa de dados
switch taxa,
    case 1, % para taxa de dados de 3091.2kbps
        pacote = 3864; % (bits)
    case 2, % para taxa de dados de 2476.8kbps
        pacote = 3096;
    case 3, % para taxa de dados de 1862.4kbps
        pacote = 2328;
    case 4, % para taxa de dados de 1238.4kbps
        pacote = 3096;
    case 5, % para taxa de dados de 931.2kbps
        pacote = 2328;
    case 6, % para taxa de dados de 624kbps
        pacote = 1560;
    case 7, % para taxa de dados de 312kbps
        pacote = 1560;
    case 8, % para taxa de dados de 158.4kbps
        pacote = 792;
    case 9, % para taxa de dados de 81.6kbps
        pacote = 408;
end

MTU1 = 12000; % 76% Tamanho do pacote (1500 bytes)
MTU1_40 = 11680; % (1460 bytes)
MTU2 = 4608; % 24 % Tamanho do pacote (576 bytes)
MTU2_40 = 4288; % (536 bytes)
% 76% das vezes o MTU sera 1500 bytes
sorteio = rand;
if sorteio <= 0.76
    MTU = MTU1;
    MTU_40 = MTU1_40;
else
    MTU = MTU2;
    MTU_40 = MTU2_40;
end

% Envio de segmentos SYN+ACK e segmentos de controle
tamanho = 640; % 80 bytes
fwrite(fid3,tamanho,'float');
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,

```

```
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end

% Tamanho do objeto principal segundo a distribuicao lognormal com media 2 Mbytes
tamanho_main = round(lognrnd(14.45,0.35));
% Enquanto o tamanho do arquivo for maior que 5 Mbytes gere outro tamanho aleatorio
while tamanho_main > 5000000
    tamanho_main = round(lognrnd(14.45,0.35));
end

bytes_FTP = tamanho_main;

tamanho_main = tamanho_main*8; % passa para bits

% Calcula o numero de pacotes necessarios para transmitir o arquivo
n_pacotes = ceil(tamanho_main/MTU_40);
for j = 1:n_pacotes,
    fwrite(fid3,MTU,'float');
end

for j = 1:n_pacotes
    % Tempo de propagacao
    delta_tch = -log(rand)/lambda_prop;
    fwrite(fid,delta_tch,'float');
    t_total = t_total + delta_tch;
    tamanho = MTU;
    if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
        n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
        for j = 2:n_pacotes_ev,
            delta_tch = 0;
            fwrite(fid,delta_tch,'float');
        end
    end
end
end

% Envio do segmento FIN e do segmento ACK, fecha a conexao
tamanho = 640; % 80 bytes
fwrite(fid3,tamanho,'float');
delta_tch = -log(rand)/lambda_prop; % Tempo de propagacao
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
if tamanho > pacote, % caso seja necessario mais de um pacote na interface aerea
    n_pacotes_ev = ceil(tamanho/pacote);
    for j = 2:n_pacotes_ev,
        delta_tch = 0;
        fwrite(fid,delta_tch,'float');
    end
end
end

% Reading time (com media 180 segundos)
delta_tch = -log(rand)/lambda;
fwrite(fid,delta_tch,'float');
t_total = t_total + delta_tch;
```

# Apêndice C

## Trabalhos Publicados

### C. 1 Artigo Publicado no XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – STB2004

## Estudo de Desempenho do Sistema 1xEV-DV no Enlace Direto

Tania Aida Garcia Bassi e Shusaburo Motoyama

**Resumo** – Neste artigo é apresentado um estudo de desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV. O sistema é estudado através de simulações que permitem analisar o atraso médio dos pacotes, a vazão de saída e a utilização do enlace em função do carregamento de tráfego do sistema. O desempenho do enlace direto é estudado utilizando escalonamento de pacotes sem prioridade, com prioridade de taxas de bits mais alta para mais baixa e também prioridades de usuários. Os resultados das simulações mostraram que o sistema 1xEV-DV permite transmitir altas taxas de bits. Entretanto, o desempenho do sistema pode ser ainda melhorado com a introdução de escalonador de prioridades.

**Palavras-Chave** – 1xEV-DV, enlace direto, desempenho, prioridade, tempo de atraso de pacote.

**Abstract** – The forward link performance study of the 1xEV-DV systems is presented in this paper. The system is studied through simulations that allow the analyses of the average packet delay, the throughput of the system and link utilization in function of traffic load. The performance of forward link is studied by using packet

schedulers without priority, with priority of higher bit rates to lower as well as user priority. The simulation results showed that the 1xEV-DV system allows transmission of high bit rates. However, the system performance can be still enhanced by introducing priority scheduler.

**Index Terms** – 1xEV-DV, forward link, performance, priority, packet delay.

### I. INTRODUÇÃO

A primeira geração de sistemas de comunicação móvel foi baseada em tecnologia analógica, e tinha como objetivo viabilizar a comunicação de voz com mobilidade. Este também foi o principal objetivo dos sistemas de segunda geração (2G), baseados em tecnologia digital.

Os sistemas de segunda geração foram projetados inicialmente para suportar serviços de transmissão de voz e posteriormente serviços de dados à baixa velocidade [6]. Em seguida, os sistemas de comunicação móvel de geração 2.5G, foram desenvolvidos visando aumentar a capacidade de

tráfego dos sistemas 2G, melhorando também a qualidade dos serviços e provendo taxas de transmissão de dados mais altas através da comutação de dados por pacotes.

O maior objetivo dos sistemas de terceira geração é prover além de serviços de voz, serviços de transmissão de dados em alta velocidade. Estes sistemas também são baseados em tecnologias digitais, suportando tráfego de voz, dados e multimídia.

O padrão IS-95A que define a tecnologia CDMA (Code Division Multiple Access), foi introduzido comercialmente em 1995 [6], suportando comutação de voz por circuito, e taxas de dados de até 14.4 kbps. Em seguida, o padrão IS-95B mostrou-se capaz de transmitir dados em taxas de até 64 kbps.

O CDMA2000, definido pelo padrão IS-2000, nas revisões 0, A e B, foi projetado para prover tráfego de dados através de comutação por pacote, atingindo taxas de até 153.6 kbps (até revisão A) e de 307.2 kbps (revisão B), mantendo compatibilidade com os sistemas IS-95 [10].

Na linha de evolução do padrão IS-2000, o 1xEV-DV, definido nas revisões C e D do padrão IS-2000, é a tecnologia de terceira geração capaz de prover taxas de transmissão de dados por pacotes de até 3.0912 Mbps no enlace direto [1], e de até 1.8456 Mbps no enlace reverso definida muito recentemente na revisão D [7]. O padrão 1xEV-DV mantém compatibilidade com o CDMA2000 e com o padrão IS-95.

A maioria das referências disponível na literatura descreve o funcionamento do sistema 1xEV-DV [2], [3], [4] e [6]. Outras referências analisam os detalhes do enlace reverso em relação aos problemas de projeto de interface aérea [8] ou em relação ao esquema de controle das taxas para otimizar a utilização do enlace [9]. Em [5] é apresentado um estudo de desempenho do sistema 1xEV-DV no enlace direto quando dois tipos de tráfego (voz e dados) estão presentes em uma mesma portadora.

Neste artigo, o desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV considerando somente o tráfego de dados é estudado. Através de simulações, os desempenhos dos atrasos de pacotes, da vazão e da utilização em função do carregamento do sistema são examinados. São considerados vários cenários utilizando escalonamento de pacotes sem prioridade, com prioridade de taxas mais altas para mais baixa e também prioridades de usuários.

Na seção 2 é apresentada a descrição do sistema 1xEV-DV. O modelo de simulação é descrito na seção 3. Na seção 4, são apresentados os resultados obtidos nas simulações e suas análises. As conclusões são apresentadas na seção 5.

## II. 1xEV-DV

1xEV-DV é um sistema de comunicações sem fio de terceira geração, baseado em CDMA e desenvolvido com o objetivo de atender altas taxas de transmissão de dados, permitindo a utilização de diversas aplicações de dados, inclusive aplicações em tempo real. O 1xEV-DV é uma evolução do sistema CDMA2000 1X, sendo definido nas revisões C e D do padrão IS-2000.

O padrão IS-2000 revisão C tem a maioria de suas modificações e melhorias concentradas no enlace direto (comunicação no sentido da estação rádio base para o terminal móvel), permitindo atingir a taxa de dados de pico de até 3.0912 Mbps neste enlace [1].

A revisão D do padrão IS-2000, concentra suas melhorias no enlace reverso (comunicação no sentido do terminal móvel para a estação rádio base), com o objetivo de aumentar a capacidade de transmissão de dados deste enlace [7].

Assim como no CDMA2000 1X, o tráfego de voz no 1xEV-DV é suportado por canais dedicados de divisão por código (CDM), e transportado através do canal fundamental (FCH) em taxas variáveis de até 14.4kbps.

No CDMA2000 1X, o tráfego de dados por pacotes é transportado pelo canal suplementar (SCH) em velocidades de até 307.2 kbps nos enlaces direto e reverso [10].

Para o tráfego de dados por pacotes, o 1xEV-DV introduz o F-PDCH (canal de dados por pacote do enlace direto). Este novo canal compartilhado permite que o 1xEV-DV suporte de forma flexível os serviços de dados através dos canais dedicados (SCH), dos canais compartilhados (F-PDCH), ou de uma combinação de canais dedicados e compartilhados.

Por ser um canal compartilhado, o F-PDCH não pode fazer soft-handoff, requer canais de suporte nos enlaces direto e reverso, e para a adaptação do enlace rápido, o tamanho de timeslot no F-PDCH é relativamente pequeno, de até 5ms [2]. Entretanto, é através do F-PDCH que o 1xEV-DV consegue atingir altas taxas de transmissão, de até 3.0912 Mbps de pico. No enlace reverso, na revisão C mesmo sem a adição de um novo canal para tráfego de dados, a taxa de pico atinge 451.2 kbps. Já na revisão D do 1xEV-DV, com adição de novos canais, é possível atingir a taxa de pico de 1845.6 kbps no enlace reverso [7].

A especificação do 1xEV-DV revisão C define quatro novos canais na camada física, sendo um canal de tráfego no enlace direto (F-PDCH), um canal de controle também no enlace direto (F-PDCCCH) e dois canais de controle no enlace reverso (R-CQICH e R-ACKCH).

Na revisão D, quatro novos canais são acrescentados ao enlace reverso, incluindo o canal de dados por pacote do enlace reverso (R-PDCH), e três novos canais ao enlace direto, dão suporte ao tráfego de dados do enlace reverso.

As principais técnicas implementadas no 1xEV-DV para aumentar a vazão de dados, incluem a modulação e codificação adaptativa (AMC), alocação e multiplexação adaptativa TDM/CDM, ARQ Híbrido, técnica de troca de setor e controle de pacotes de dados em espera [3], [4].

O 1xEV-DV introduz a multiplexação por divisão de tempo (TDM), que maximiza a utilização de recursos através da alocação de um mesmo recurso de um móvel a outro móvel que esteja trafegando dados, por um período relativamente curto de tempo.

Além disto, para melhorar a eficiência espectral, no 1xEV-DV os recursos podem ser agendados de forma inteligente, porque a informação de qualidade do canal do enlace direto está disponível para a estação base (através do novo canal R-CQICH introduzido no enlace reverso). Desta forma, para um móvel que esteja passando por fading, os recursos podem apenas ser alocados quando a qualidade do canal estiver melhor, evitando desperdício de recursos e servindo os móveis com taxas maiores.

O feedback da qualidade de canal também é utilizado para ajudar a determinar a taxa de dados ótima para o F-PDCH. Assim, a revisão C do CDMA2000 introduz a adaptação do enlace (ou taxa) através da técnica de Modulação e Codificação Adaptativa (AMC) que altera a modulação e o esquema de codificação de acordo com as variações das condições do enlace direto, ou seja, a modulação e a codificação do enlace direto variam em tempo real para se adaptar às condições de propagação.

A Tab. 2.1 mostra como são atingidas as diferentes taxas de dados nos sistemas 1xEV-DV no que se refere a tamanho de pacotes, quantidade de timeslots e modulação:

O canal de tráfego de dados F-PDCH permite tanto a multiplexação por divisão no tempo (TDM) entre diferentes estações móveis, como multiplexação por divisão em código (CDM) entre dois móveis simultaneamente.

A técnica TDM permite que uma mesma portadora atenda diferentes usuários, dedicando um instante de tempo ao atendimento de cada um. Já a técnica CDM permite que os dados de diferentes usuários sejam transmitidos em uma mesma portadora ao mesmo tempo, diferenciando os dados dos usuários através de um código associado a cada um.

A habilidade do 1xEV-DV de multiplexação TDM e CDM é particularmente interessante dado que diferentes aplicações de dados demandam diferentes tamanhos de pacotes, assim para a transferência de

pacotes grandes, como na transferência de arquivos, o TDM é a melhor opção, já no caso de várias estações móveis transferindo pequenos pacotes, o CDM torna-se mais eficiente.

Tabela 2.1 – Tipo de modulação por taxa de dados do 1xEV-DV.

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Tamanho do Pacote (bits)	Quantidade de Slots por subpacote	Modulação
81.6	408	4	16-QAM/QPSK
158.4	792	4	16-QAM/QPSK
163.2	408	2	16-QAM/QPSK
312	1560	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
316.8	792	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
326.4	408	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
465.6	2328	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
619.2	3096	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
624	1560	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
633.6	792	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
772.8	3864	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
931.2	2328	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1238.4	3096	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1248	1560	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
1545.6	3864	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1862.4	2328	1	16-QAM/8-PSK
2476.8	3096	1	16-QAM
3091.2	3864	1	16-QAM

Utilizando a multiplexação TDM/CDM, a estação base pode compartilhar o F-PDCH com até dois usuários por um ou mais timeslots, alocando diferentes códigos Walsh para cada um deles.

Como o canal de pacote de dados F-PDCH é compartilhado e dedicado por pequenos períodos de tempo (1.25, 2.5 ou 5ms), foi providenciado um canal de controle específico no enlace direto, o F-PDCCCH - canal de controle de pacote de dados do enlace direto. O 1xEV-DV suporta até dois canais F-PDCCCH no enlace direto (F-PDCCCH0 e F-PDCCCH1), que são sincronizados com o F-PDCH para que o móvel possa utilizar facilmente a informação do F-PDCCCH, decodificar e demodular corretamente os dados transmitidos no F-PDCH.

O F-PDCH foi projetado para que uma grande quantidade de códigos de comprimento 32 possa ser utilizada. O comprimento 32 para o espaço Walsh foi escolhido visando uma melhor relação custo-benefício entre a vazão e a complexidade do sistema [2]. Para taxa de espalhamento 32 nos códigos Walsh, em um sistema 1xEV-DV sem os serviços de voz e dados do CDMA2000-1X, 28 códigos Walsh estão disponíveis para o F-PDCH e os demais códigos disponíveis para os canais de controle. Quando o sistema suporta serviços de voz e dados do CDMA2000-1X, a quantidade de códigos disponíveis para o F-PDCH é reduzida, assim a taxa máxima de pico atingida também é reduzida.

O padrão IS-2000 revisão C e D, define as possíveis quantidades de códigos Walsh necessárias por taxa de transmissão de dados, como mostra a Tab. 2.2.

Tabela 2.2 – Quantidade de códigos Walsh por modulação por taxa de transmissão de dados.

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Quantidade de códigos Walsh		
	16-QAM	8 - PSK	QPSK
81.6	1	-	4/3/2
158.4	2	-	11/6/4/3
163.2	2	-	8/5/4/3
312	4/3	5	15/9/7/6
316.8	4/3	5	19/11/8/7/6
326.4	4/3	5	19/11/8/7/6
465.6	6/5/4	8/7	20/14/11/9
619.2	6/5/4	8/7	20/16/13/11
624	6/5/4	8/7	20/15/13/11
633.6	6/5/4	8/7	19/15/13/11
772.8	9/8/7	12/11	19/16/14
931.2	11/10/9/8	15/13	23/20/17
1238.4	15/12/11	21/19/17	25/22/13
1248	15/13/12/11	21/19/17	25/22
1545.6	19/17/15/14/13	25/23/21	27
1862.4	23/20/18/16	28/25	-
2476.8	26/23/21	-	-
3091.2	26	-	-

Neste artigo, foi considerado o sistema 1xEV-DV com transmissão de pacotes de dados atingindo altas taxas e sem os serviços de voz e dados do CDMA2000-1X.

### III. Modelo de Simulação

Neste estudo, o desempenho do canal de tráfego de dados F-PDCH do enlace direto do sistema 1xEV-DV é analisado através de simulações realizadas em Matlab.

A simulação considera um buffer, onde os pacotes que devem ser transmitidos chegam, são atendidos e enviados para a transmissão na interface aérea. Desta forma esta simulação representa a situação em que os pacotes que devem ser transmitidos a diferentes usuários chegam à estação rádio base, passam por um processamento de atendimento e então são enviados para a interface aérea para transmissão através do canal de tráfego de dados F-PDCH. Este estudo se limita a análise do processamento dos pacotes no enlace direto, ou seja, da estação rádio base para o terminal móvel, considerando diferentes níveis de carregamento no sistema.

O sistema 1xEV-DV permite multiplexação por divisão em código (CDM) entre dois móveis simultaneamente além da multiplexação por divisão no tempo (TDM) entre diferentes estações móveis.

Assim, foram realizadas simulações para o caso em que o sistema 1xEV-DV tenha esta opção implementada e também para o caso em que não haja a multiplexação por divisão de código para comparação.

O padrão 1xEV-DV define dezoito diferentes taxas de transmissão de dados (Tab. 2.1). Neste estudo foram consideradas nove taxas, selecionadas de forma a representar significativamente a variação entre as taxas.

A Tab. 3.1 mostra a distribuição de probabilidade adotada para as taxas de transmissão de dados consideradas neste estudo. Esta distribuição mostra a situação em que a maioria dos móveis se concentra nas taxas intermediárias. Nesta situação, considera-se que na borda da célula de cobertura há poucas estações móveis, e desta forma menos móveis com taxas baixas, e também menos estações móveis com taxas máximas, já que nestes casos a condição de propagação dos móveis tem que ser muito boa.

Tabela 3.1 – Distribuição de probabilidade por taxa de transmissão de dados.

Taxa de Dados (kbps)	Probabilidade
3091.2	4.0%
2476.8	10.0%
1862.4	15.0%
1238.4	17.0%
931.2	22.9%
624	18.0%
312	8.0%
158.4	3.0%
81.6	2.0%

Algumas simulações realizadas consideram também diferentes níveis de prioridade de usuários, a Tab. 3.2 mostra a distribuição da probabilidade considerada para estes diferentes níveis, sendo P1 o maior nível de prioridade, P2 prioridade intermediária e P3 o menor nível de prioridade.

Tabela 3.2 – Distribuição de probabilidade para diferentes níveis de prioridade de usuários.

Nível de Prioridade	Probabilidade
P1	15%
P2	35%
P3	50%

Para as simulações que consideraram a multiplexação por divisão em código (CDM), a quantidade de códigos Walsh necessária para cada taxa de transmissão de dados escolhida, foi sempre o melhor caso das opções definidas no padrão 1xEV-DV, ou seja, a menor quantidade de códigos Walsh necessária para cada taxa de transmissão de dados.

A Tab. 3.3 apresenta a modulação, a quantidades de timeslots e a quantidade de códigos Walsh para cada taxa de dados que foram consideradas neste estudo.

Nas simulações com CDM, foi assumida a disponibilidade de 28 códigos Walsh para o canal de tráfego de dados F-PDCH, ou seja, um sistema puramente de serviços de dados 1xEV-DV, sem os serviços CDMA2000-1X (FCH e SCH), e com alocação dinâmica dos recursos de códigos Walsh.

Nas simulações com prioridades, o estudo considera que o atendimento na estação rádio base é feito por um servidor baseado em prioridade e sem

preempção. Os pacotes de maior prioridade são atendidos primeiramente, e quando não há mais pacotes da prioridade mais alta, passa a atender a segunda prioridade e assim por diante. O buffer é considerado de tamanho infinito e os pacotes são armazenados por ordem de prioridade e dentro de cada prioridade, por ordem de chegada.

Tabela 3.3 – Quantidade de slots e códigos por taxa de dados.

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Tamanho do Pacote (bits)	Modulação	Quantidade de Slots por subpacote	Quantidade de Códigos Walsh
81.6	408	QPSK	4	2
158.4	792	QPSK	4	3
312	1560	QPSK	4	6
624	1560	8-PSK	2	9
931.2	2328	8-PSK	2	13
1238.4	3096	8-PSK	2	17
1862.4	2328	16-QAM	1	16
2476.8	3096	16-QAM	1	21
3091.2	3864	16-QAM	1	26

O programa de simulação em Matlab foi feito considerando que a chegada de pacotes segue uma distribuição exponencial negativa, e o  $\lambda$  (taxa de chegada dos pacotes) é calculado de forma a seguir as distribuições de probabilidade de cada taxa e de cada prioridade mostradas nas Tabs. 3.1 e 3.2. O tempo de atendimento ( $1/\mu$ ) por pacote é igual a duração da quantidade de timeslots necessários para a transmissão, por exemplo para taxa de 3091.2 kbps o tempo de atendimento é 1.25ms, enquanto que para 312 kbps é de 5ms.

O carregamento do sistema  $\rho$  é determinado através da relação entre a taxa de chegada e a taxa de atendimento dos pacotes, assim, para variar o carregamento de tráfego na estação rádio base, a taxa de chegada de pacotes  $\lambda$  foi calculada para cada caso, já que a taxa de atendimento  $\mu$  mantém-se fixa dependendo apenas da taxa de transmissão de dados.

Desta forma, variando o carregamento total do sistema 1xEV-DV  $\rho(\text{total})$ , as taxas de chegada dos pacotes  $\lambda(i,n)$  pode ser calculada levando-se em conta a distribuição das probabilidade de cada taxa de dados (Tab. 3.1) e nos casos de diferentes níveis de prioridade por usuário, as probabilidades da Tab. 3.2. Assim:

$$\rho(\text{total}) = \sum \rho(i,n) \quad (1)$$

$$\rho(i,n) = \lambda(i,n) / \mu(i,n) \quad (2)$$

$$Pb(i,n) = \lambda(i,n) / \sum \lambda(i,n) \quad (3)$$

Sendo:

$\lambda(i,n)$  = taxa de chegada dos pacotes para taxa de dados  $i$ , e nível de prioridade  $n$  (para diferentes prioridade por usuário).

$\mu(i,n)$  = taxa de atendimento dos pacotes para taxa de dados  $i$ , e nível de prioridade  $n$  (para diferentes prioridade por usuário).

$\rho(i,n)$  = carregamento de tráfego para taxa de dados  $i$  ( $\lambda(i,n)/\mu(i,n)$ ), e nível de prioridade  $n$  (para diferentes prioridade por usuário).

$Pb(i,n)$  = probabilidade para taxa de dados  $i$ , e nível de prioridade  $n$  (para diferentes prioridade por usuário).

Os parâmetros de análise de desempenho estudados são: o atraso médio dos pacotes, a vazão de saída e a utilização do enlace em função do carregamento do sistema.

Seguindo as distribuições de probabilidade de taxas da Tab. 3.1 e de prioridade de usuários da Tab. 3.2, foram considerados os seguintes casos de análise de tráfego de dados:

1. Nove taxas de transmissão de dados sem prioridade no esquema FIFO (first in first out).

2. Nove taxas de transmissão de dados com prioridade da taxa mais alta para a taxa mais baixa.

3. Nove taxas de transmissão de dados com maior prioridade (da taxa mais alta para a taxa mais baixa) e considerando a multiplexação por divisão em código (CDM).

4. Três níveis de prioridade de usuários, cada um com disponibilidade de nove taxas de transmissão de dados, sendo que dentro de cada nível de prioridade de usuário, há também maior prioridade da taxa mais alta para a taxa mais baixa.

5. Mesmo caso do item anterior (três níveis de prioridade com nove taxas) e com a multiplexação por divisão em código (CDM).

Em todos os casos, as simulações foram realizadas para carregamento do sistema 1xEV-DV de 10% a 90%.

#### IV. Análise dos Resultados

A simulação do sistema 1xEV-DV com nove taxas de dados e sem prioridade (caso 1) apresentou tempos médios de atraso dos pacotes de 0.1628ms a 13.1144ms dependendo do carregamento do sistema. Na média, o desvio padrão foi 1.5% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.17% do valor da média.

A simulação na mesma situação, com nove taxas de dados, considerando-se a prioridade da taxa mais alta para a taxa mais baixa (caso 2), apresentou resultados melhores comparando com a situação sem prioridade, no que diz respeito ao tempo médio de atraso dos pacotes. Isto mostra que para a mesma situação de carregamento de tráfego, é preferível que o sistema tenha um escalonamento que priorize as taxas mais elevadas em relação às taxas de dados mais baixas. Na média, o desvio padrão foi 1.6% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no

máximo 0.17% do valor da média, assim como no caso anterior.

Com a mesma distribuição de tráfego e 9 taxas de dados com prioridade das taxas mais altas para as mais baixas, considerando-se a multiplexação por divisão de código CDM (caso 3), os resultados mostraram-se bem mais favoráveis para a média de atraso dos pacotes. A diferença entre os atrasos médios dos pacotes torna-se mais evidente quanto maior for o carregamento do sistema. No caso 3, na média, o desvio padrão foi 0.6% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.08% do valor da média, assim como no caso anterior. A Fig. 4.1 mostra os resultados obtidos nas simulações para estes três casos. Os intervalos de confiança não são visualizados no gráfico porque seus valores são muito pequenos em relação aos valores dos tempos de atraso.

Desta forma, para sistemas com alto carregamento de tráfego de dados, a aplicação da técnica de multiplexação por divisão de código (CDM) traz bastante benefício. Para um carregamento de tráfego de 70%, os atrasos médios diminuem em média 43.5%. Já para sistemas 1xEV-DV com carregamento baixo, os ganhos devido à utilização do CDM são mais discretos, com 30% de carregamento, a diminuição do tempo médio de atraso chega a 11.7%.

Os valores médios da vazão em função do carregamento do sistema 1xEV-DV para os três casos acima são apresentados na Fig. 4.2.

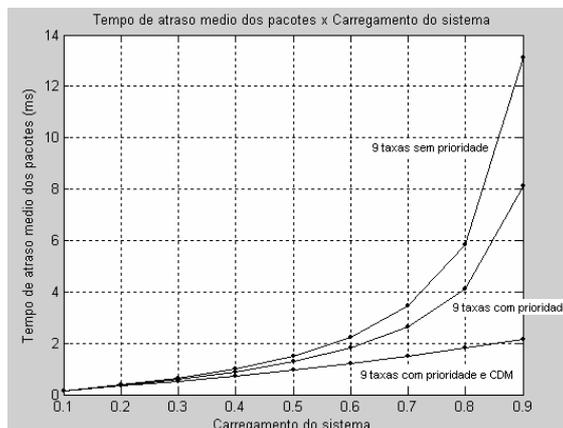


Fig. 4.1 – Tempo de atraso médio dos pacotes em função do carregamento de tráfego para os casos 1, 2 e 3.

Estes valores são muito próximos para os três casos quando analisados em função do carregamento do sistema como mostrado na Fig. 4.2. Isto ocorre porque a distribuição das probabilidades por taxa de dados é a mesma. Porém quando estes valores são analisados em função da utilização do enlace, pode-

se observar (veja Fig. 4.3) que para uma mesma utilização de enlace, a vazão é maior quando se utiliza a técnica CDM, sendo esta diferença mais acentuada quanto maior for o carregamento do sistema. O fator de utilização do enlace é o percentual de ocupação do enlace. Este percentual foi calculado com as medidas de tempo de ocupação do enlace e tempo total livre e ocupado.

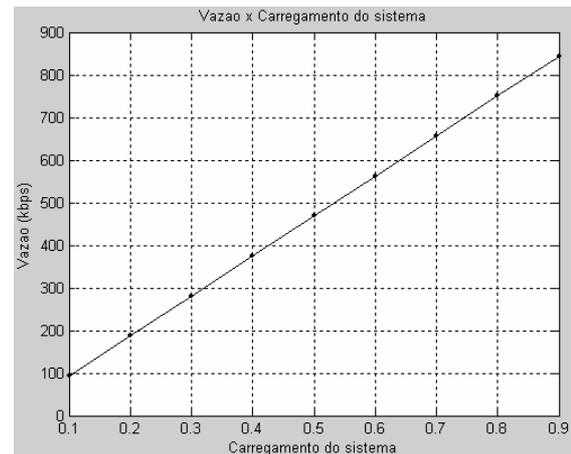


Fig. 4.2 – Vazão do sistema em função do carregamento.

Isto ocorre porque a utilização do enlace acompanha o carregamento do sistema nos casos sem CDM, porém com CDM, a utilização do enlace é menor para um mesmo carregamento do sistema. Por exemplo, para carregamento de sistema de 70%, no caso sem CDM, a utilização do enlace é 70%, porém no caso com CDM, a utilização do enlace é apenas 63.8%.

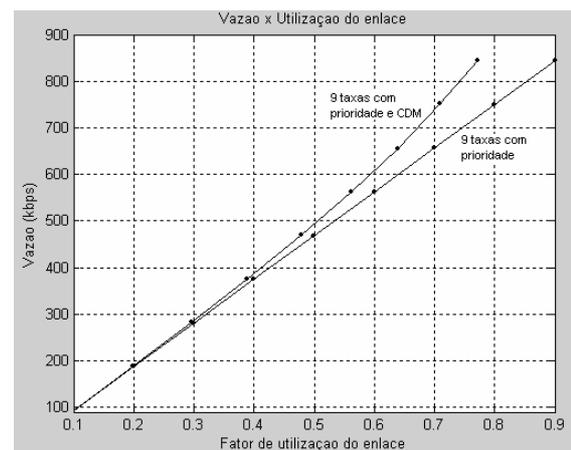


Fig. 4.3 – Vazão em função do fator de utilização para os casos 2 e 3.

A simulação do sistema com nove taxas de transmissão de dados, com prioridade da taxa mais

alta para a mais baixa, e com três diferentes prioridades de usuário (caso 4), mostrou em seus resultados que com a priorização de um tipo de usuário em relação a outro, os atrasos médios dos pacotes de usuários P1 (prioridade mais alta), são bem menores que os obtidos no caso 2, onde não havia divisão de tipos de usuários. Os atrasos médios dos usuários P2 também são menores que os atrasos de pacotes obtidos no caso 2, porém os usuários P3 (prioridade mais baixa) são bastante afetados, passando a ter atrasos médios dos pacotes bem maiores que no caso 2. No caso 4, em média, a simulação apresentou o desvio padrão foi 0.66% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.03% do valor da média.

A Fig. 4.4 mostra os resultados obtidos para o caso 4:

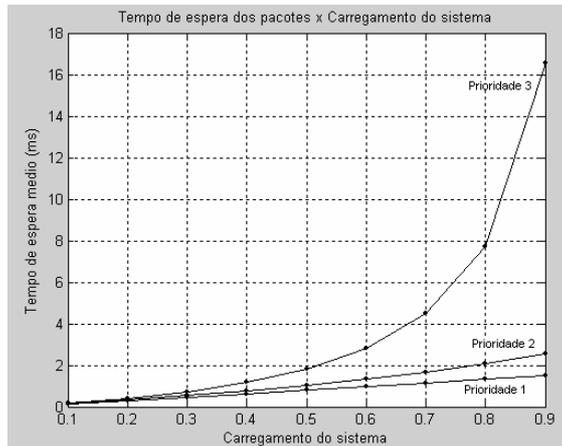


Fig. 4.4 – Tempo de atraso médio dos pacotes de acordo com o carregamento de tráfego do sistema para o caso 4.

No caso 5, temos a mesma situação anterior, porém com a utilização da multiplexação por divisão de código. Nesta simulação, em média, o desvio padrão foi 0.63% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.04% do valor da média. Neste caso, os atrasos médios de pacotes mostraram-se bem menores que no caso 4, apresentando os ganhos mais significativos para os usuários de prioridade P3 (menor prioridade). Para estes usuários, com um carregamento do sistema de 70%, a diminuição do tempo de atraso médio chega a 34.3%, enquanto que para os usuários P2, com mesmo carregamento, a diminuição é de 14.7% e para usuário P1, a diminuição é de apenas 8.2%.

A Fig. 4.5 mostra os resultados obtidos para o caso 5:

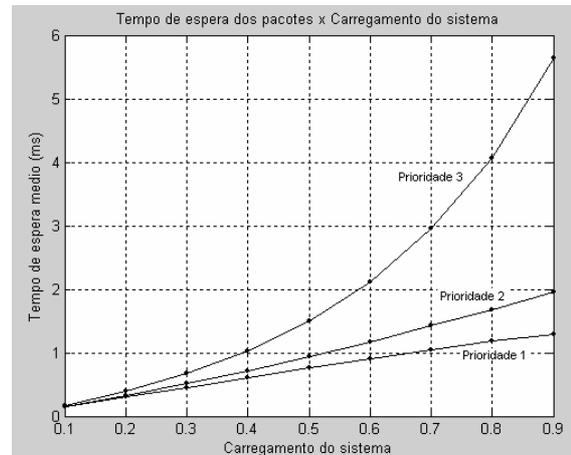


Fig. 4.5 – Tempo de atraso médio dos pacotes de acordo com o carregamento de tráfego do sistema para o caso 5.

Nos casos 4 e 5, assim como nos casos anteriores, os intervalos de confiança não são visualizados no gráfico porque seus valores são muito pequenos em relação aos valores dos tempos de atraso.

Os valores médios da vazão em função do carregamento do sistema 1xEV-DV para os casos 4 e 5 são os mesmos dos casos 1, 2 e 3 apresentados na Fig. 4.2, visto que a distribuição de probabilidade entre as taxas de dados é a mesma.

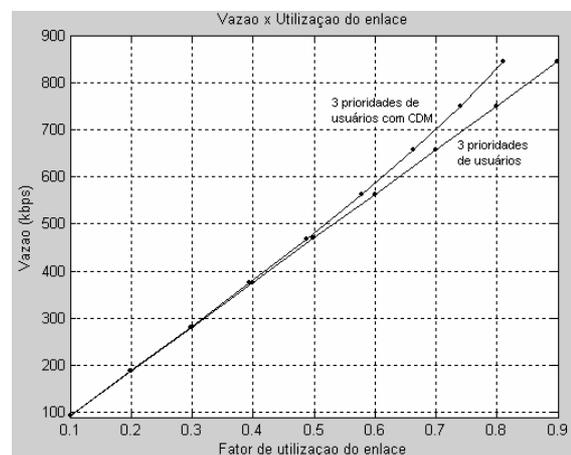


Fig. 4.6 – Vazão em função do fator de utilização do para os casos 4 e 5.

Assim como nos três primeiros casos, estes valores são muito próximos para os casos 4 e 5 quando analisados em função do carregamento do sistema, entretanto quando analisados em função da utilização do enlace, é possível notar que para uma mesma utilização de enlace, a vazão é maior quando utilizada a técnica de CDM, sendo esta diferença mais

acentuada para carregamentos maiores do sistema. Neste caso, para carregamento de sistema de 70%, no caso sem CDM, a utilização do enlace é 70%, porém no caso com CDM, a utilização do enlace é apenas 66.3%.

A Fig 4.6 mostra a vazão do sistema em função da utilização do enlace para os casos 4 e 5.

#### V. Conclusões

Neste estudo, o desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV foi analisado através de simulações, e os tempos médios de atraso dos pacotes e a vazão foram estudados em função ao carregamento de tráfego do sistema.

Através deste estudo, foi possível analisar o comportamento do canal de tráfego de dados do enlace direto do sistema 1xEV-DV em situações com priorização das taxas de dados, e também com a diferenciação de prioridades por usuários. Foi possível verificar a eficiência da utilização da multiplexação por divisão em código (CDM) além da multiplexação por divisão no tempo (TDM) no enlace direto. Com a utilização da técnica CDM, é possível minimizar bastante os tempos médios de atraso dos pacotes, e nas situações em que há diferenciação de prioridade entre usuários, a diminuição dos atrasos é mais perceptível para os usuários de prioridades menores. Além disto, quanto maior o carregamento de tráfego do sistema, maior será o ganho com a utilização da técnica CDM.

Também foi possível analisar o desempenho da vazão do sistema em função do fator de utilização do enlace, verificando que com a utilização da técnica de CDM, é possível obter uma vazão maior para uma mesma utilização do enlace.

#### REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP2 C.S0002-C, **Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release C**, version 1.0, May 2002.
- [2] Motorola Inc., **Technical Overview of 1xEV-DV**, version G1.4, 2002.
- [3] L.Hsu, M. W. Cheng, I. Niva, **Evolution Towards Simultaneous High-Speed Packet Data and Voice Services: An Overview of cdma2000 1xEV-DV**, IEEE 10th International Conference on Telecommunications (ICT 2003), pg. 1313-1317, vol. 2, 23 Feb.-1 March 2003.
- [4] A. Soong, S. Oh, A. Damnjanovic, Y. Yoon, **Forward High-Speed Wireless Packet Data Service in IS-2000 – 1xEV-DV**, IEEE Communications Magazine, vol. 41, issue 8, pg. 170-177, August 2003.
- [5] R. T. Derryberry, Lin Ma, Z. Rong, **Performance of the cdma2000 1xEV-DV System**, IEEE Vehicular Technology Conference, 2003 (VTC 2003-Spring), vol. 2, pg. 1163-1167, 22-25 April 2003.
- [6] S. Agrawal, I. Acharya, S. Goel, **Inside 3G Wireless Systems: The 1xEV-DV**
- [7] 3GPP2 C.S0002-D, **Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release D**, version 1.0, February 2004.
- [8] Z.Pi, R. T. Derryberry, **CDMA2000 1xEV-DV Reverse Link System Design**, IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC 2003), vol. 1, pg. 514-519, 16-20 March 2003.
- [9] Y Chung, C. Koo, B. Bae, H. Lee, D. Cho, **An Efficient Reverse Link Data Rate Control Scheme for 1xEV-DV**, IEEE Vehicular Technology Conference, 2001 (VCT 2001 - Fall), vol. 2, pg. 802-823, 7-11 October 2001.
- [10] 3GPP2 C.S0002-A, **Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release A**, version 6.0, Feb 2002.

## C. 2 Artigo Publicado no International Workshop on Telecommunications – IWT2004

# Forward Link Performance Study of the 1xEV-DV System

Tania Aida Garcia Bassi

Lucent Technologies  
P.O. Box 7030 – 13097-660  
Campinas - SP - Brazil  
tbassi@lucent.com

Shusaburo Motoyama

DT – FEEC - UNICAMP  
P.O. Box 6101 – 13083-970  
Campinas - SP - Brazil  
motoyama@dt.fee.unicamp.br

**Abstract** – The forward link performance study of the 1xEV-DV system is presented in this paper. The system is studied through simulation that allows the analyses of the average packet delay, the throughput of the system and link utilization in function of traffic load. The performance of forward link is studied by using packet schedulers without priority, with priority of higher bit rates to lower as well as user priority. The improvement due to the code division multiplexing (CDM) technique in 1xEV-DV is also studied. The simulation results showed that the 1xEV-DV system allows transmission of high bit rates. It is also shown that the system performance can be still enhanced by introducing a priority scheduler. The estimation of how much the packet delay can be minimized and the throughput can be improved, by using CDM technique, is also presented.

**Index Terms** – 1xEV-DV, forward link, performance, priority, packet delay.

### 1. INTRODUCTION

The first wireless communication system generation was based on the analog technology and had the objective to provide mobile voice communication. This was also the main objective of the second generation (2G) system based on digital technology.

The second generation system was designed to support voice and low data rate services [6]. The 2.5G system was developed to increase the 2G system traffic capacity, improving the quality of the

services and providing higher transmission data rates by using packet switching.

The main purpose of the third generation system is provide, besides the voice services, high-speed data services. This system is also based in digital technology supporting voice, data and multimedia traffic.

The IS-95A standard that defines the CDMA (Code Division Multiple Access) technology was commercially introduced in 1995 [6], supporting voice by circuit switching and data rates up to 14.4 kbps. In the next step, the IS-95B had the capability to provide transmission data rates up to 64 kbps.

The CDMA2000, defined by the IS-2000 standard in releases 0, A and B, was designed to provide data traffic through packet switching, achieving data rates up to 153.6 kbps (release 0 and A) and 307.2 kbps (release B), with backward compatibility with IS-95 systems [10].

In the IS-2000 evolution path, the 1xEV-DV, defined in IS-2000 releases C and D, is the CDMA third generation technology capable to provide packet data transmission rates up to 3.0912 Mbps in the forward link [1], and up to 1.8456 Mbps in the reverse link (release D) [7]. The 1xEV-DV standard is backward compatible with CDMA2000 and IS-95 standards.

Most of the available references describe the 1xEV-DV system standard [2], [3], [4] and [6]. Other

references provide the reverse link detailed analysis relative to the aerial interface design problems [8] or relative to the data rate control scheme to optimize the link utilization [9]. In [5] it is presented a 1xEV-DV system performance study of the forward link when data and voice traffic coexist in the same carrier.

The forward link performance study of the 1xEV-DV system considering only data traffic is presented in this paper. The system is studied through simulation that allows the analyses of the average packet delay, the system throughput and the link utilization in function of traffic load. The performance of the forward link is studied by using packet schedulers without priority, with priority of higher bit rates to lower as well as user priority. Some simulation results are compared to analytical results. The simulation is performed in Matlab software tool.

The description of the 1xEV-DV system is presented in section 2. The simulation model is described in the section 3 and the simulation results are presented and analyzed in section 4. Finally, the main conclusions are presented in section 5.

## 2. 1xEV-DV

1xEV-DV is a third generation wireless communication system based on CDMA and developed to achieve high transmission data rates. It allows the utilization of many different data applications, including real time applications. 1xEV-DV is the CDMA2000 1X evolution defined in the IS-2000 standard releases C and D.

The IS-2000 release C concentrates most of the modifications and improvements in the forward link (from the base station to the mobile station), allowing the peak data rate up to 3.0912 Mbps in this link [1].

On the other hand, the release D of IS-2000 standard concentrates the improvements in the reverse link (from the mobile station to the base station), in order to increase the data transmission capability of this link [7].

As in CDMA2000 1X the voice traffic in 1xEV-DV is supported by code division (CDM) dedicated channels and carried by the fundamental channel (FCH) in variable rates up to 14.4 kbps.

In CDMA2000 1X, the packet data traffic is carried by the supplemental channel (SCH) in data rates up to 307.2 kbps in forward and reverse links [10].

For the packet data traffic, the 1xEV-DV introduces the F-PDCH (forward packet data channel). The introduction of this new shared channel allows 1xEV-DV to support the data services in a flexible mode, through dedicated channels (SCH),

through shared channels (F-PDCH), or in a combination of dedicated and shared channels.

Since F-PDCH is a shared channel, it cannot perform the soft-handoff, it requires forward and reverse link channels to support it, and it has short timeslot duration up to 5 ms to allow the fast link adaptation [2]. However, it is due to the F-PDCH that 1xEV-DV achieves high transmission data rates, up to 3.0912 Mbps. In the reverse link, the transmission rate specified in release C is up to 451.2 kbps. In release D the addition of new channels allowed the system to achieve 1.8456 Mbps in the reverse link [7].

In release C specification, it is defined four new channels in the physical layer: one traffic channel in the forward link (F-PDCH), one control channel in the forward link (F-PDCCCH), and two control channels in the reverse link (R-CQICH and R-ACKCH).

In release D, four new channels are implemented in the reverse link, including the reverse link packet data channel (R-PDCH), and three new channels in the forward link to support the reverse link data traffic.

The main techniques implemented in 1xEV-DV to increase the data throughput include the adaptive modulation and codification (ACM), the adaptive allocation and multiplexing TDM/CDM, Hybrid ARQ, sector switch technique, and packet data control hold operation [3], [4].

In 1xEV-DV, it is introduced besides CDM the time division multiplexing (TDM) that maximizes the resource utilization, allocating the same resource to more than one mobile station for a short period of time.

The new channel R-CQICH introduced in the reverse link permits the gathering of information about the forward link channel quality. For instance, a mobile station that is experiencing fading can have the resources allocated only when the channel quality is better, avoiding the waste of resources and serving the mobile stations with higher data rates.

The channel quality information is also used in the definition of the F-PDCH optimum data rate by using the adaptive modulation and codification (AMC) techniques that change the modulation and the codification schemes according to the forward link conditions, i.e., the forward link modulation and codification vary in real time adapting themselves to the propagation conditions.

Tab. 2.1 shows the packet sizes, number of timeslots and modulation to achieve the data rates in 1xEV-DV.

The F-PDCH data traffic channel allows both time division multiplexing (TDM) among different mobile stations and code division multiplexing (CDM)

between two mobile stations simultaneously. This feature is very important since different applications require different packet sizes, thus for large packet transfers such as file transfers TDM is the best choice, however, for small packet sizes CDM is more efficient.

TABLE 2.1

1xEV-DV MODULATION PER DATA RATE.

Subpacket data rate (kbps)	Packet size (bits)	Number of slots per subpacket	Modulation
81.6	408	4	16-QAM/QPSK
158.4	792	4	16-QAM/QPSK
163.2	408	2	16-QAM/QPSK
312	1560	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
316.8	792	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
326.4	408	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
465.6	2328	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
619.2	3096	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
624	1560	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
633.6	792	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
772.8	3864	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
931.2	2328	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1238.4	3096	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1248	1560	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
1545.6	3864	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1862.4	2328	1	16-QAM/8-PSK
2476.8	3096	1	16-QAM
3091.2	3864	1	16-QAM

Using the TDM/CDM multiplexing, the radio base station can share the F-PDCH up to two users for one or more timeslots, allocating different Walsh codes for them.

Since the F-PDCH data traffic channel is a shared and dedicated for short periods of time (1.25, 2.5 or 5 ms), a specific control channel in the forward link is designed, the F-PDCCH – forward packet data control channel. The 1xEV-DV supports up to two F-PDCCH in the forward link (F-PDCCH0 and F-PDCCH1), that are synchronized with F-PDCH to allow the mobile to use the control information easily and correctly decode and demodulate the carried data in the F-PDCH.

The F-PDCH is designed to use a large number of Walsh codes at a spreading factor 32. The Walsh space spreading factor 32 was chosen aiming the best relationship between throughput and system complexity [2]. For a spreading factor 32, the 1xEV-DV system, without CDMA2000 1X voice and data services, has 28 available Walsh codes for the F-PDCH and the remaining available Walsh codes for the control channels. When the system supports CDMA2000 1X voice and data services, the available Walsh codes for the F-PDCH is reduced, so the maximum data transmission rate is also reduced.

Tab. 2.2 shows the number of Walsh codes required per data transmission rate defined in the releases C and D of the IS-2000 standard.

In this paper, the transmission of data packets achieving high data rates in a 1xEV-DV system,

without the CDMA2000 1X voice and data services, is considered.

TABLE 2.2

NUMBER OF WALSH CODES PER MODULATION, PER DATA RATE.

Subpacket data rate (kbps)	Number of Walsh codes		
	16-QAM	8-PSK	QPSK
81.6	1	-	4/3/2
158.4	2	-	11/6/4/3
163.2	2	-	8/5/4/3
312	4/3	5	15/9/7/6
316.8	4/3	5	19/11/8/7/6
326.4	4/3	5	19/11/8/7/6
465.6	6/5/4	8/7	20/14/11/9
619.2	6/5/4	8/7	20/16/13/11
624	6/5/4	8/7	20/15/13/11
633.6	6/5/4	8/7	19/15/13/11
772.8	9/8/7	12/11	19/16/14
931.2	11/10/9/8	15/13	23/20/17
1238.4	15/12/11	21/19/17	25/22/13
1248	15/13/12/11	21/19/17	25/22
1545.6	19/17/15/14/13	25/23/21	27
1862.4	23/20/18/16	28/25	-
2476.8	26/23/21	-	-
3091.2	26	-	-

### 3. SIMULATION MODEL

In this paper the 1xEV-DV F-PDCH data traffic channel performance is analyzed by simulation using Matlab tool.

The forward link model for simulation is one buffer that represents the buffer where the data packets, that are arriving to the radio base station from core network, are stored before the transmission in the aerial interface, through the data traffic channel F-PDCH. This study is limited to the analysis of the forward link packet transmission, i.e., the situation in which the base station transmits the packets to the mobiles, considering different levels of system load.

Considering that the 1xEV-DV system allows the code division multiplexing (CDM) between two mobiles besides the time division multiplexing (TDM) among different mobile stations, the simulations are done for the case where both techniques are implemented and cases where only the time division multiplexing is available.

The 1xEV-DV standard defines eighteen different data rates (Tab. 2.1). This study considers only nine most representatives data rates. Tab. 3.1 shows the selected nine data rates and adopted probability distribution.

Some simulations are performed considering different priority levels among users. Tab. 3.2 shows the probability distribution considered, where P1 is the highest priority level, P2 the intermediate priority level and P3 the lowest priority level.

For the simulation considering both CDM/TDM techniques, the selected number of required Walsh codes for each data rate is the best case among the options defined in the 1xEV-DV standard, i.e., the

smaller number of required Walsh codes for each data rate.

TABLE 3.1

PROBABILITY DISTRIBUTION PER DATA RATE.

Data rate (kbps)	Probability
3091.2	4.0%
2476.8	10.0%
1862.4	15.0%
1238.4	17.0%
931.2	22.9%
624	18.0%
312	8.0%
158.4	3.0%
81.6	2.0%

TABLE 3.2

PROBABILITY DISTRIBUTION FOR DIFFERENT USER PRIORITY LEVELS.

Priority level	Probability
P1	15%
P2	35%
P3	50%

Tab. 3.3 shows the modulation, the number of timeslots and the number of Walsh codes for each data rate considered in this study.

TABLE 3.3

NUMBER OF SLOTS AND WALSH CODES PER DATA RATE.

Subpacket data rate (kbps)	Packet size (bits)	Modulation	Number of slots per subpacket	Number of Walsh codes
81.6	408	QPSK	4	2
158.4	792	QPSK	4	3
312	1560	QPSK	4	6
624	1560	8-PSK	2	9
931.2	2328	8-PSK	2	13
1238.4	3096	8-PSK	2	17
1862.4	2328	16-QAM	1	16
2476.8	3096	16-QAM	1	21
3091.2	3864	16-QAM	1	26

For the simulation considering both techniques, it is assumed the availability of 28 Walsh codes for the data traffic channel F-PDCH, which means a 1xEV-DV data-only system without CDMA2000 1X (FCH and SCH) and with dynamic allocation.

For simulation with priority, it is considered that the radio base station transmits the data packets through a server based on priority without preemption. The highest priority packets are transmitted first and when there are no more packets of the highest priority, the packets of second priority start to be transmitted and so on. The buffer size is considered to be infinite and the packets are stored in the buffer first by priority and then by arrive sequence.

It is assumed that the packets arrive according to negative exponential distribution and  $\lambda$  (packet arrival rate) is calculated following the probability

distributions showed in Tabs. 3.1 and 3.2. The serving time per packet ( $1/\mu$ ) is equivalent to the number of timeslots needed for transmission. Each timeslot has 1.25 ms length.

The system load  $\rho$  is defined through the relationship between the arrival rate and the packet serving time, thus, to vary the traffic load at the base station the arrival rate  $\lambda$  is calculated for each case, since the serving time  $1/\mu$  is constant, depending on the transmission data rate only.

So, varying the 1xEV-DV system total traffic load  $\rho_{total}$ , the packet arrival rates  $\lambda(i,n)$  can be calculated considering the probability distribution of each data rate (Tab. 3.1), and the probabilities of Tab. 3.2, in the cases with user priority. Thus:

$$\rho_{total} = \sum \rho(i,n) \quad (3.1)$$

$$\rho(i,n) = \frac{\lambda(i,n)}{\mu(i,n)} \quad (3.2)$$

$$Pb(i,n) = \frac{\lambda(i,n)}{\sum \lambda(i,n)} \quad (3.3)$$

Where:

$\lambda(i,n)$  = packet arrival rate for data rate  $i$ , and priority level  $n$  (for user priority cases);

$\mu(i,n)$  = packet serving rate for data rate  $i$ , and priority level  $n$  (for user priority cases);

$\rho(i,n)$  = traffic load for data rate  $i$  ( $\lambda(i,n)/\mu(i,n)$ ), and priority level  $n$  (for user priority cases), and

$Pb(i,n)$  = probability for data rate  $i$ , and priority level  $n$  (for user priority cases).

The performance analysis parameters studied are: average packet delay, data throughput and link utilization in function of the traffic load.

Considering the data rate probability distribution in Tab. 3.1 and the user priority distribution in Tab. 3.2, the following data traffic analysis cases are considered:

1. Nine transmission data rates without priority in FIFO (first in first out) scheme.
2. Nine transmission data rates with priority from the highest data rate to the lowest data rate.
3. Case 2 considering code division multiplexing.
4. Three priority user levels, each one with nine transmission data rates available, and priority from the highest data rate to the lowest data rate in each priority user level.
5. Case 4 considering code division multiplexing.

All cases considered traffic load from 10% to 90%.

Analytical models based on queuing theory are used to compare the results for cases 1, 2 and 4. In the case 1 the queuing model without priority is considered and for the cases 2 and 4 the non-preemptive priority queuing model is used.

Let be:

$E\{T_0\}$  the average time to complete the current packet transmission when a packet arrives and

$E\{W\}$  the average packet delay in the queue. For Case 1, the analytical model is given by:

$$E\{W\} = \frac{E\{T_0\}}{(1 - \rho_{total})} \quad (3.4)$$

Where:

$$E\{T_0\} = \frac{1}{2} \frac{\sum \lambda(i)}{\sum \mu^2(i)}$$

The analytical model for Cases 2 and 4 is given by:

$$E\{W_1\} = \frac{E\{T_0\}}{(1 - \rho_1)} \quad (\text{First priority})$$

$$E\{W_k\} = \frac{E\{T_0\}}{(1 - \sigma_{k-1})(1 - \sigma_k)} \quad (3.5)$$

$$E\{W_r\} = \frac{E\{T_0\}}{(1 - \sigma_{r-1})(1 - \rho_{total})} \quad (\text{Last priority})$$

Where:

$$\sigma_k = \sum_{j=1}^{j=k} \rho_j$$

In this case,  $E\{W_n\}$  is calculated for each priority level and the average  $E\{W_{nT}\}$  is:

$$E\{W_{nT}\} = \sum P_b(n) E\{W_n\} \quad (3.6)$$

The average throughput in both cases is calculated considering the traffic load ( $\rho$ ) and the packet data rates ( $i$ ):

$$\text{Throughput} = \sum i \rho(i, n) \quad (3.7)$$

#### 4. RESULTS ANALYSIS

The 1xEV-DV forward link simulation with nine data rates and without priority (case 1) presents average packet delay of 0.1628 ms to 13.1144 ms depending on the traffic load. The average standard deviation is 1.5%, and the 95% confidence interval is 0.17% of the average value.

The simulation of nine data rates considering priority from the highest to the lowest data rate (case 2) presents better average packet delay results, comparing to the previous simulation. This result shows that for the same traffic load, the packet delay performance is enhanced with a scheduling scheme that prioritizes the higher data rates. The average standard deviation is 1.6%, and the 95% confidence interval is 0.17% of the average value, as in the case 1.

To validate these simulations the results are compared to the analytical models using Eqs. 3.4 and 3.5. The comparison presented very close results in both cases. In case 1 the average standard deviation is 0.69% for the packet delay and 0.13% for the data throughput. In case 2 the average standard deviation

is 0.54% for the packet delay and 0.12% for the data throughput.

With the same traffic distribution, nine data rates with priority for higher data rates and code division multiplexing (case 3), the packet data delay results are improved. The difference among the packet data delays becomes more evident for higher traffic load. In case 3 the average standard deviation is 0.6% and the 95% confidence interval is 0.08% of the average value. Fig. 4.1 shows the simulation results for these three cases.

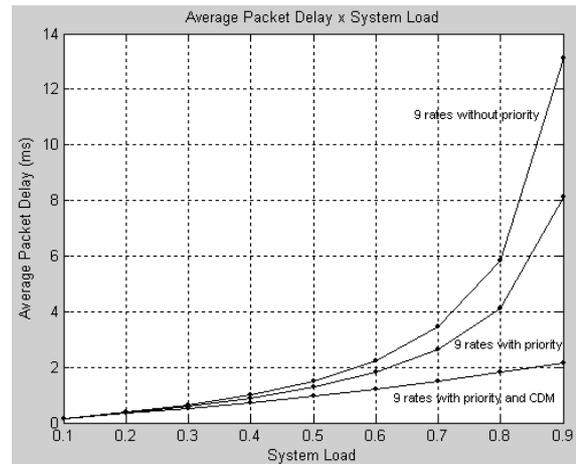


Figure 4.1 – Average packet delay in function of traffic load for cases 1, 2 and 3.

As it is shown in Fig. 4.1, for high data traffic load the code division multiplexing (CDM) implementation besides the TDM is very desirable. For a traffic load of 70%, the average delay for CDM is reduced in 43.5% compared to the case 1.

The average throughputs in function of the traffic load for the above three cases are presented in Fig. 4.2.

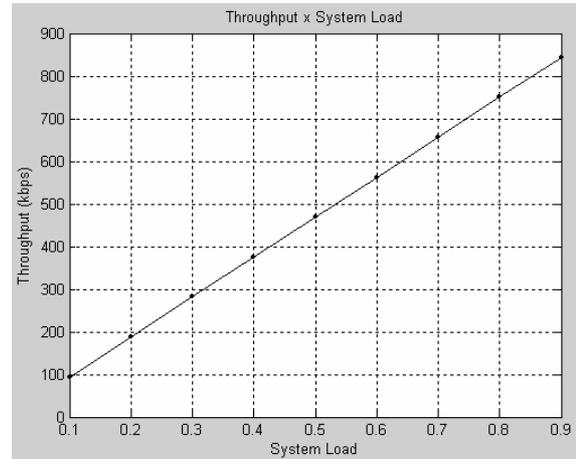


Figure 4.2 – Average throughput in function of traffic load.

When analyzed in function of the traffic load, these values are very close for the three cases as showed in Fig. 4.2, however when analyzed in function of the link utilization, it is possible to notice (Fig. 4.3) that for the same link utilization, the throughput is increased with the CDM technique, and this difference is greater as the traffic load increases.

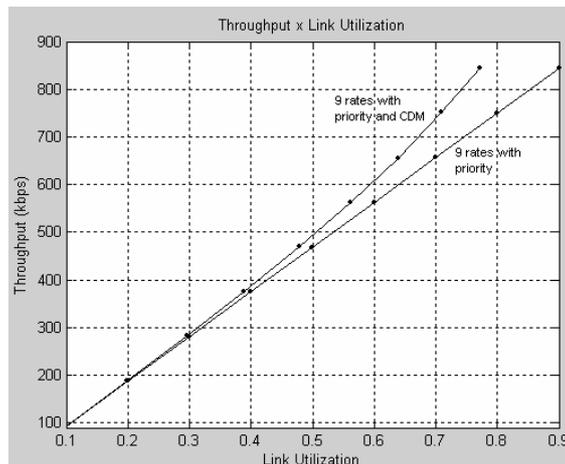


Figure 4.3 – Data throughput in function of link utilization for cases 2 and 3.

The relationship between the link utilization and traffic load is linear when CDM is not applied, however, with CDM the link utilization is lower for the same traffic load. For example, for the traffic load of 70%, without CDM the link utilization is 70%, but with CDM the link utilization is 63%.

For the simulation with nine data transmission rates, priority for higher data rates, and three different user priorities (case 4) the results presented the average packet delay for users P1 (highest priority) lower than the obtained in case 2. The average delay for users P2 is also lower than the delay obtained in case 2, however the users P3 (lowest priority) present average packet delay much higher than case 2. In case 4, in average, the simulation presents 0.66% standard deviation and the 95% confidence interval is 0.03% of the average value.

The result comparison of the simulation and the analytical model using Eq. 3.5 for this case is very close presenting the average standard deviation of only 0.04% for P1 users, 0.04% for P2 users, 0.35% for P3 users and 0.05% for the throughput.

The Fig. 4.4 shows the results obtained in case 4.

The case 5 represents the same situation of case 4 adding the code division multiplexing technique. In this case the results obtained by simulation have the average standard deviation of 0.63% and the 95% confidence interval of 0.04% of the average value. The average packet delay is much lower than case 4, presenting more significant gain for P3 users (lowest

priority). For these users, with 70% of traffic load, the reduction of average packet delay is 34.3%. For the same traffic load, P2 users have a reduction of 14.7%, and P1 users have a reduction of 8.2%.

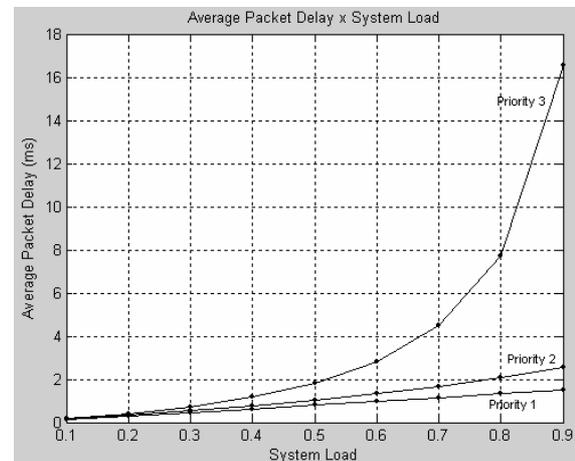


Figure 4.4 – Average packet delay in function of traffic load for case 4.

Fig. 4.5 presents the results obtained in case 5.

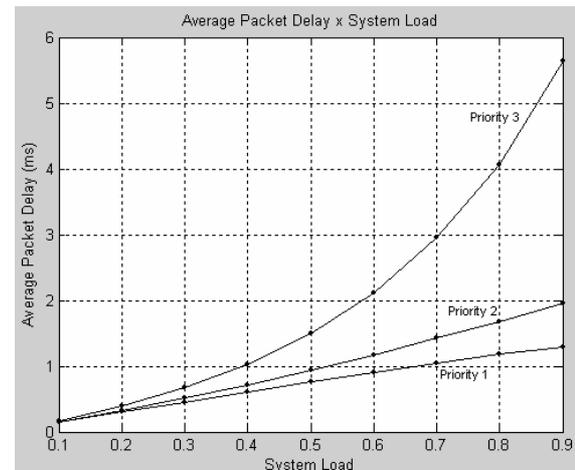


Figure 4.5 – Average packet delay in function of traffic load for case 5.

The average throughputs in function of the traffic load of 1xEV-DV system for cases 4 and 5 are the same of cases 1, 2 and 3 presented in Fig. 4.2, since the probability distribution among data rates is the same.

Therefore, as in the first three cases, these values are very close for cases 4 and 5 when analyzed in function of the traffic load, however when analyzed in function of the link utilization, it can be noticed that for the same link utilization, the throughput is higher for the system with CDM, and the difference is greater as traffic load increases. For instance, for

70% of traffic load without CDM, the link utilization is 70%, but with CDM, the link utilization is 66.3%.

In Fig 4.6 the system throughput in function of the link utilization for cases 4 and 5 is shown.

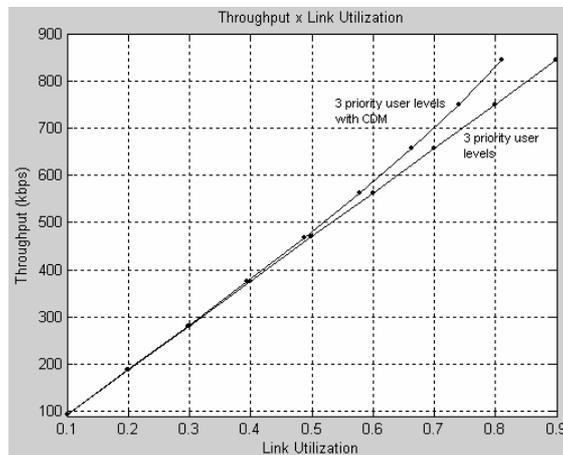


Figure 4.6 – Throughput in function of link utilization for cases 4 and 5.

## 5. CONCLUSIONS

The 1xEV-DV system forward link performance was analyzed through simulation in this paper. The system performance related to average packet delay and throughput were studied in function of the system traffic load.

It was possible to analyze the 1xEV-DV forward link data traffic channel behavior in situations with data rate priority, and also user priority. It was possible to verify the efficiency of the code division multiplexing (CDM) implementation, beside the time division multiplexing (TDM) in the forward link. With the CDM technique utilization, it is possible to minimize the average packet delay and in situations with user priority, the delay reduction is more expressive for users with low priorities. Furthermore, as higher is the traffic load, higher will be the gain with the CDM implementation.

It was also possible to analyze the throughput performance in function of the link utilization, verifying that CDM implementation allows higher data throughput.

## 6. REFERENCES

- [1] 3GPP2 C.S0002-C, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release C, version 1.0, May 2002.
- [2] Motorola Inc., Technical Overview of 1xEV-DV, version G1.4, 2002.
- [3] L.Hsu, M. W. Cheng, I. Niva, Evolution Towards Simultaneous High-Speed Packet Data and Voice Services: An Overview of cdma2000 1xEV-DV, IEEE 10th International Conference on Telecommunications (ICT 2003), pg. 1313-1317, vol. 2, 23 Feb.-1 March 2003.
- [4] A. Soong, S. Oh, A. Damnjanovic, Y. Yoon, Forward High-Speed Wireless Packet Data Service in IS-2000 – 1xEV-DV,

IEEE Communications Magazine, vol. 41, issue 8, pg. 170–177, August 2003.

- [5] R. T. Derryberry, Lin Ma, Z. Rong, Performance of the cdma2000 1xEV-DV System, IEEE Vehicular Technology Conference, 2003 (VTC 2003-Spring), vol. 2, pg. 1163-1167, 22-25 April 2003.
- [6] S. Agrawal, I. Acharya, S. Goel, Inside 3G Wireless Systems: The 1xEV-DV
- [7] 3GPP2 C.S0002-D, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release D, version 1.0, February 2004.
- [8] Z.Pi, R. T. Derryberry, CDMA2000 1xEV-DV Reverse Link System Design, IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC 2003), vol. 1, pg. 514-519, 16-20 March 2003.
- [9] Y Chung, C. Koo, B. Bae, H. Lee, D. Cho, An Efficient Reverse Link Data Rate Control Scheme for 1xEV-DV, IEEE Vehicular Technology Conference, 2001 (VCT 2001 - Fall), vol. 2, pg. 802-823, 7-11 October 2001.
- [10] 3GPP2 C.S0002-A, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release A, version 6.0, Feb 2002.

### C. 3 Artigo Aceito para Publicação no Advanced Industrial Conference on Telecommunications – A-ICT2005

## Forward Link Performance Study of the 1xEV-DV System under HTTP Traffic

Tania Aida Garcia Bassi<sup>1</sup> and Shusaburo Motoyama<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lucent Technologies, P.O. Box 7030 – 13097-660 Campinas, SP, Brazil  
[tbassi@lucent.com](mailto:tbassi@lucent.com)

<sup>2</sup>DT – FEEC – UNICAMP, P.O. Box 6101 – 13083-970, Campinas, SP, Brazil  
[motoyama@dt.fee.unicamp.br](mailto:motoyama@dt.fee.unicamp.br)

**Abstract.** The forward link performance study of the 1xEV-DV system considering HTTP traffic sources is presented in this paper. The system is studied through simulation that allows the analyses of the average packet delay, the throughput of the system and link utilization in function of traffic load. The performance is studied by using packet schedulers without priority and with data rate priority, and is compared under HTTP and Poisson traffics. The improvement due to the code division multiplexing (CDM) implementation in 1xEV-DV forward link, besides the time division multiplexing (TDM), is studied and evaluated in this paper. The simulation results with HTTP traffic showed that the 1xEV-DV system allows the transmission of high bit rates. It is also shown that the system performance can be still enhanced by introducing a priority scheduler. The estimation of the packet delay minimization and the improvement in the link utilization, by using CDM technique, is presented.

### 1. Introduction

The first wireless communication system generation was based on the analog technology and had the objective to provide mobile voice communication. This was also the main objective of the second-generation (2G) system based on digital technology.

The second-generation system was designed to support voice and low data rate services [6]. The 2.5G system was developed to increase the 2G system traffic capacity, improving the quality of the services and providing higher transmission data rates by using packet switching.

The main purpose of the third generation system is providing, besides the voice services, high-speed data services. This system is also based in digital technology supporting voice, data and multimedia traffic.

The IS-95A standard that defines the CDMA (Code Division Multiple Access) technology was commercially introduced in 1995 [6], supporting voice by circuit switching and data rates up to 14.4 kbps. In the next step, the IS-95B had the capability to provide transmission data rates up to 64 kbps.

The CDMA2000, defined by the IS-2000 standard in releases 0, A and B, was designed to provide data traffic through packet switching, achieving data rates up to 153.6 kbps (release 0 and A) and 307.2 kbps (release B), with backward compatibility with IS-95 systems [10].

In the IS-2000 evolution path, the 1xEV-DV, defined in IS-2000 releases C and D, is the CDMA third generation technology capable to provide packet data transmission rates up to 3.0912 Mbps in the forward link [1], and up to 1.8456 Mbps in the reverse link (release D) [7]. The 1xEV-DV standard is backward compatible with CDMA2000 and IS-95 standards.

Most of the available references describe the 1xEV-DV system standard [2], [3], [4] and [6]. Other references provide the reverse link detailed analysis relative to the aerial interface design problems [8] or relative to the data rate control scheme to optimize the link utilization [9]. In [5] it is presented a 1xEV-DV system performance study of the forward link when data and voice traffic coexist in the same carrier, however it does not evaluate the improvement of the CDM technique in the link utilization.

The forward link performance of the 1xEV-DV system considering HTTP and Poisson traffic models is presented in this paper. The system is studied through simulation that allows the analyses of the average packet delay, the system throughput and the link utilization in function of traffic load for both data traffic models. The major contribution of this study is the evaluation of the performance improvement when applying CDM technique. The performance of the forward link is studied by using packet schedulers without priority and with data rate priority. The simulations are performed in Matlab software tool.

The description of the 1xEV-DV system is presented in section 2. HTTP traffic model is described in section 3. The simulation model is described in the section 4 and the simulation results are presented and analyzed in section 5. Finally, the main conclusions are presented in section 6.

## 2. 1xEV-DV

1xEV-DV is a third generation wireless communication system based on CDMA and developed to achieve high transmission data rates. It allows the utilization of many different data applications, including real time applications. 1xEV-DV is the CDMA2000 1X evolution defined in the IS-2000 standard releases C and D.

The IS-2000 release C concentrates most of the modifications and improvements in the forward link (from the base station to the mobile station), allowing the peak data rate up to 3.0912 Mbps in this link [1].

On the other hand, the release D of IS-2000 standard concentrates the improvements in the reverse link (from the mobile station to the base station), in order to increase the data transmission capability of this link [7].

As in CDMA2000 1X the voice traffic in 1xEV-DV is supported by code division (CDM) dedicated channels and carried by the fundamental channel (FCH) in variable rates up to 14.4 kbps.

In CDMA2000 1X, the packet data traffic is carried by the supplemental channel (SCH) in data rates up to 307.2 kbps in forward and reverse links [10].

For the packet data traffic, the 1xEV-DV introduces the F-PDCH (forward packet data channel). The introduction of this new shared channel allows 1xEV-DV to support the data services in a flexible mode, through dedicated channels (SCH), through shared channels (F-PDCH), or in a combination of dedicated and shared channels.

Since F-PDCH is a shared channel, it cannot perform the soft-handoff, it requires forward and reverse link channels to support it, and it has short timeslot duration up to 5 ms to allow the fast link adaptation [2]. However, it is due to the F-PDCH that 1xEV-DV achieves high transmission data rates, up to 3.0912 Mbps. In the reverse link, the transmission rate specified in release C is up to 451.2 kbps. In release D the addition of new channels allowed the system to achieve 1.8456 Mbps in the reverse link [7].

In release C specification, it is defined four new channels in the physical layer: one traffic channel in the forward link (F-PDCH), one control channel in the forward link (F-PDCCH), and two control channels in the reverse link (R-CQICH and R-ACKCH).

In release D, four new channels are implemented in the reverse link, including the reverse link packet data channel (R-PDCH), and three new channels in the forward link to support the reverse link data traffic.

The main techniques implemented in 1xEV-DV to increase the data throughput include the adaptive modulation and codification (ACM), the adaptive allocation and multiplexing TDM/CDM, Hybrid ARQ, sector switch technique, and packet data control hold operation [3], [4].

In 1xEV-DV, it is introduced besides CDM the time division multiplexing (TDM) that maximizes the resource utilization, allocating the same resource to more than one mobile station for a short period of time.

The new channel R-CQICH introduced in the reverse link permits the gathering of information about the forward link channel quality. For instance, a mobile station that is experiencing fading can have the resources allocated only when the channel quality is better, avoiding the waste of resources and serving the mobile stations with higher data rates.

The channel quality information is also used in the definition of the F-PDCH optimum data rate by using the adaptive modulation and codification (AMC) techniques that change the modulation and the codification schemes according to the forward link conditions, i.e., the forward link modulation and codification vary in real time adapting themselves to the propagation conditions.

Tab.1 shows the packet sizes, number of timeslots and modulation to achieve the data rates in 1xEV-DV.

The F-PDCH data traffic channel allows both time division multiplexing (TDM) among different mobile stations and code division multiplexing (CDM) between two mobile stations simultaneously. This feature is very important since different applications require different packet sizes, thus for large packet transfers such as file transfers TDM is the best choice, however, for small packet sizes CDM is more efficient.

Using the TDM/CDM multiplexing, the radio base station can share the F-PDCH up to two users for one or more timeslots, allocating different Walsh codes for them.

Since the F-PDCH data traffic channel is a shared and dedicated for short periods of time (1.25, 2.5 or 5 ms), a specific control channel in the forward link is designed, the F-PDCCH – forward packet data control channel. The 1xEV-DV supports up to two F-PDCCH in the forward link (F-PDCCH0 and F-PDCCH1), that are synchronized with F-PDCH to allow the mobile to use the control information easily and correctly decode and demodulate the carried data in the F-PDCH.

Table 1. 1xEV-DV modulation per data rate

Subpacket data rate (kbps)	Packet size (bits)	Number of slots per subpacket	Modulation
81.6	408	4	16-QAM/QPSK
158.4	792	4	16-QAM/QPSK
163.2	408	2	16-QAM/QPSK
312	1560	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
316.8	792	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
326.4	408	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
465.6	2328	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
619.2	3096	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
624	1560	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
633.6	792	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
772.8	3864	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
931.2	2328	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1238.4	3096	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1248	1560	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
1545.6	3864	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1862.4	2328	1	16-QAM/8-PSK
2476.8	3096	1	16-QAM
3091.2	3864	1	16-QAM

The F-PDCH is designed to use a large number of Walsh codes at a spreading factor 32. The Walsh space spreading factor 32 was chosen aiming the best relationship between throughput and system complexity [2]. For a spreading factor 32, the 1xEV-DV system, without CDMA2000 1X voice and data services, has 28 available Walsh codes for the F-PDCH and the remaining available Walsh codes for the control channels. When the system supports CDMA2000 1X voice and data services, the available Walsh codes for the F-PDCH is reduced, so the maximum data transmission rate is also reduced.

Tab. 2 shows the number of Walsh codes required per data transmission rate defined in the releases C and D of the IS-2000 standard.

Table 2. Number of Walsh codes per modulation, per data rate

Subpacket data rate (kbps)	Number of Walsh codes		
	16-QAM	8 - PSK	QPSK
81.6	1	-	4/3/2
158.4	2	-	11/6/4/3
163.2	2	-	8/5/4/3
312	4/3	5	15/9/7/6
316.8	4/3	5	19/11/8/7/6
326.4	4/3	5	19/11/8/7/6
465.6	6/5/4	8/7	20/14/11/9
619.2	6/5/4	8/7	20/16/13/11
624	6/5/4	8/7	20/15/13/11
633.6	6/5/4	8/7	19/15/13/11
772.8	9/8/7	12/11	19/16/14
931.2	11/10/9/8	15/13	23/20/17
1238.4	15/12/11	21/19/17	25/22/13
1248	15/13/12/11	21/19/17	25/22
1545.6	19/17/15/14/13	25/23/21	27
1862.4	23/20/18/16	28/25	-
2476.8	26/23/21	-	-
3091.2	26	-	-

In this paper, the transmission of data packets achieving high data rates in a 1xEV-DV system, without the CDMA2000 1X voice and data services, is considered.

### 3. HTTP Traffic Model

The HTTP traffic model applied in this 1xEV-DV performance study represents typical web browsing sessions. A session (Fig. 1) is composed by packet calls (that represents the web-pages downloads) and reading times, i.e. by ON/OFF periods.

Since the web browsing traffic is self-similar, a packet call is also divided in ON/OFF periods. Each packet call in a session includes the main object of the webpage, the embedded objects, and the parsing time. The main object is the initial HTML page, the embedded objects are the constituent objects from the main object and the parsing time is the time needed by web-browser to parse the HTML page for embedded objects.

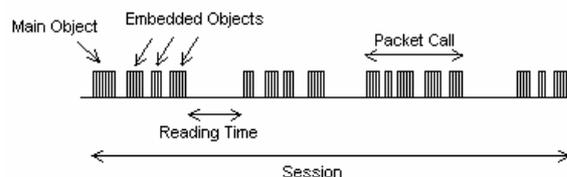


Fig. 1. Typical web browsing session

The parameters used to represent the HTTP traffic include the size of the main object in a webpage, the number and the size of embedded objects, parsing time for the main page and reading time. All these parameters are described by statistical distributions defined in [11].

TCP is the transport protocol for HTTP and it uses the handshake mechanism, so for each TCP packet, the transmitter waits for the acknowledgment message from the receiver to transmit more packets.

The HTTP traffic depends on the HTTP protocol version in the web servers and browsers. According to [11], there is a 50%-50% distribution of web pages between HTTP 1.0 burst mode and HTTP 1.1 persistent mode. The main difference between these protocols is that in HTTP 1.0 burst mode a distinct TCP connection is used for the main object and for each embedded object. It is possible to use simultaneous TCP connections, and the maximum number of these connections is 4 for most of browsers. In the HTTP 1.1 persistent mode, there is a single TCP connection and the objects are downloaded serially.

In this work the two modes are implemented and used in a 50%-50% proportion.

#### 4. Simulation Model

In this paper the 1xEV-DV forward link performance with HTTP traffic model is analyzed by simulation using Matlab tool.

The forward link model for simulation is one buffer that represents the buffer where the data packets, that are arriving to the radio base station from core network, are stored before the transmission in the aerial interface, through the data traffic channel F-PDCH. This study considers the analysis of the forward link, i.e., when the packets are transmitted from the base station to the mobiles, considering different levels of system load.

Considering that the 1xEV-DV system allows the code division multiplexing (CDM) between two mobiles besides the time division multiplexing (TDM) among different mobile stations, the simulations are done for the case where both techniques are implemented and the case where only the time division multiplexing is available. This comparison allows the evaluation of the improvement due to the CDM technique implementation in the forward link.

For the simulation considering both CDM/TDM techniques, the selected number of required Walsh codes for each data rate is the best case among the options defined in the 1xEV-DV standard, i.e., the smaller number of required Walsh codes for each data rate.

The 1xEV-DV standard defines eighteen different data rates (Tab. 2.1) for the F-PDCH transmission. This study considers the nine most representative data rates. Tab. 3 shows the 1xEV-DV system specifications considered in the simulations: the selected nine data rates, the modulation, the number of timeslots and the number of Walsh codes for each data rate.

Table 3. Number of slots and Walsh codes per data rate

Subpacket data rate (kbps)	Packet size (bits)	Modulation	Number of slots per subpacket	Number of Walsh codes
81.6	408	QPSK	4	2
158.4	792	QPSK	4	3
312	1560	QPSK	4	6
624	1560	8-PSK	2	9
931.2	2328	8-PSK	2	13
1238.4	3096	8-PSK	2	17
1862.4	2328	16-QAM	1	16
2476.8	3096	16-QAM	1	21
3091.2	3864	16-QAM	1	26

For the simulation considering CDM, it is assumed the availability of 28 Walsh codes for the data traffic channel F-PDCH, which means a 1xEV-DV data-only system without CDMA2000 1X (FCH and SCH) and with dynamic allocation.

For simulation with priority, it is considered that the radio base station transmits the data packets through a server based on priority without preemption. The highest priority packets are transmitted first, and the buffer size is considered to be infinite.

The HTTP data traffic model considered in this study is implemented with the parameters described in Tab. 4.

Table 4. HTTP traffic model

	Distribution	Mean	Minimum	Maximum
Main object size	Truncated Lognormal	10.71 kbytes	100 bytes	2 Mbytes
Parsing time	Exponential	0.13 sec	-	-
Embedded object size	Truncated Lognormal	7.758 kbytes	50 bytes	2 Mbytes
Number of embedded objects	Truncated Pareto	5.64	-	53
Reading time	Exponential	30 sec	-	-

The HTTP traffic model is implemented in Matlab tool, and each source represents one HTTP data user. So the traffic load is defined based on the number of data users. The number of data users and its distribution among the nine data rates considered in this study is presented in Tab. 5.

The Poisson traffic model is also used and the system performance is compared under both traffics. For Poisson traffic, it is assumed that the packets arrive according to negative exponential distribution and  $\lambda$  (packet arrival rate) is calculated following the data rate distributions based on Tab. 5. The serving time per packet ( $1/\mu$ ) is equivalent to the number of timeslots needed for transmission. Each timeslot has 1.25 ms length.

Table 5. Number of users per data rate

Data rate (kbps)	Number of users per data rate							
	28 users	24 users	20 users	16 users	14 users	12 users	8 users	6 users
3091.2	1	1	1	1	1	1	0	0
2476.8	3	2	2	1	1	1	1	0
1862.4	3	3	2	2	1	1	1	1
1238.4	4	3	3	2	2	2	1	1
931.2	6	6	4	4	4	2	2	2
624	4	3	3	2	2	2	1	1
312	3	3	2	2	1	1	1	1
158.4	3	2	2	1	1	1	1	0
81.6	1	1	1	1	1	1	0	0

The system load  $\rho$  is defined through the relationship between the arrival rate and the packet serving time, thus, to vary the traffic load at the base station the arrival rate  $\lambda$  is calculated for each case, since the serving time  $1/\mu$  is constant, depending on the transmission data rate only.

Hence, varying the 1xEV-DV system total traffic load  $\rho_{total}$ , the packet arrival rates  $\lambda(i)$  can be calculated considering the probability distribution of each data rate (Tab. 5). Thus:

$$\rho_{total} = \sum \rho(i) \quad (4)$$

$$\rho(i) = \frac{\lambda(i)}{\mu(i)} \quad (5)$$

$$Pb(i, n) = \frac{\lambda(i)}{\sum \lambda(i)} \quad (6)$$

Where:  $\lambda(i)$  = packet arrival rate for data rate  $i$ ;

$\mu(i)$  = packet serving rate for data rate  $i$ ;

$\rho(i)$  = traffic load for data rate  $i$ , and

$Pb(i)$  = probability for data rate  $i$ .

The performance analysis parameters studied are: average packet delay, data throughput and link utilization in function of the traffic load. Varying the traffic load according to Tab. 5, the following data traffic analysis cases are considered:

1. Nine transmission data rates without priority in FIFO (first in first out) scheme.
2. Nine transmission data rates with priority from the highest data rate to the lowest data rate.
3. Case 2 considering code division multiplexing (CDM).

#### 5. Results Analysis

The simulation study of 1xEV-DV forward link under HTTP and Poisson traffic models presented the following results:

Case 1: Considering nine data rates, HTTP traffic model, without priority, the average packet delay presents values from 1.506 ms to 134.339 ms depending on the traffic load. The average standard deviation is 1.72%, and the 95% confidence interval is 0.048% of the average value.

Case 1 under Poisson traffic, shows average packet delay from 0.3482 ms to 15.79 ms depending on the traffic load. The average standard deviation is 2.15%, and the 95% confidence interval is 0.088% of the average value.

Under HTTP traffic the system presents higher average packet delay, since in HTTP model the packets are correlated, and due to the TCP protocol, it depends on the ACK message from the receiver to transmit more packets. In Poisson model the packets are independent from each other, so that the scheduler does not need to wait for an ACK message to send more packets.

Case 2: Considering nine data rates, HTTP traffic and priority from the highest to the lowest data rate, the simulation presented better average packet delay results, comparing to case 1. This result shows that for the same traffic load, the packet delay performance is enhanced with a scheduling scheme that prioritizes the higher data rates. The average standard deviation is 1.74%, and the 95% confidence interval is 0.048% of the average value, as in case 1.

For Poisson traffic, case 2 presents also better results than case 1. The average standard deviation is 2.17%, and the 95% confidence interval is 0.091% of the average value, as in case 1.

Case 3: Considering the same traffic distribution, nine data rates with data rate priority and code division multiplexing, for both HTTP and Poisson traffics, the packet data delay results are improved. In both traffic models, the difference among the packet data delays becomes more evident for higher traffic load.

Case 3 presents the average standard deviation of 0.63% for HTTP traffic and 1.2% for Poisson traffic. The 95% confidence interval is 0.017% of the average value for HTTP traffic and 0.092% of the average value for Poisson traffic.

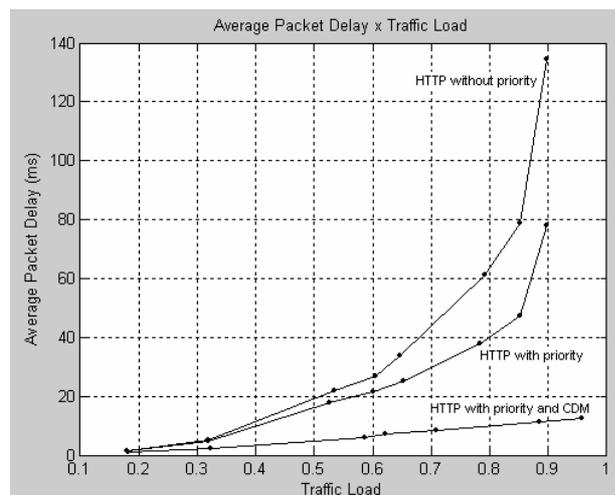


Fig. 2. Average packet delay in function of traffic load for HTTP traffic

Fig. 2 shows the average packet delay results for three cases considering HTTP traffic, and Fig. 3 presents the results considering Poisson traffic.

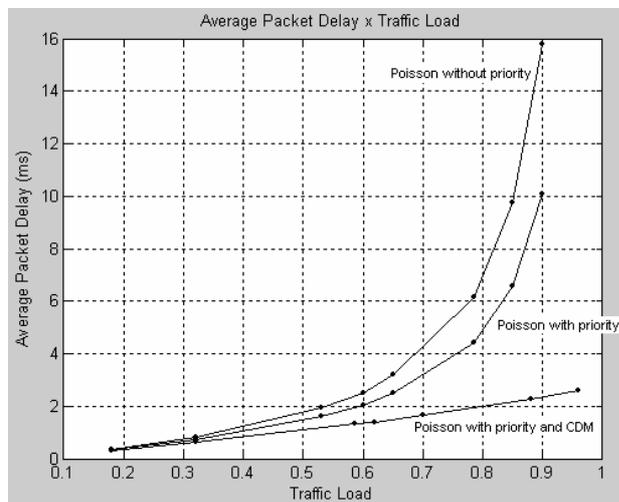


Fig. 3. Average packet delay in function of traffic load for Poisson traffic

For both traffic models, the average packet delay reduction due to the CDM implementation is evaluated in Figs. 2 and 3. As it is shown in Fig. 2, for high data traffic load the code division multiplexing (CDM) implementation besides the TDM is very desirable. For a traffic load of 70%, and HTTP traffic, the average delay for CDM is reduced in 72% compared to case 2.

The average throughputs in function of the traffic load for the above three cases are presented in Fig. 4.

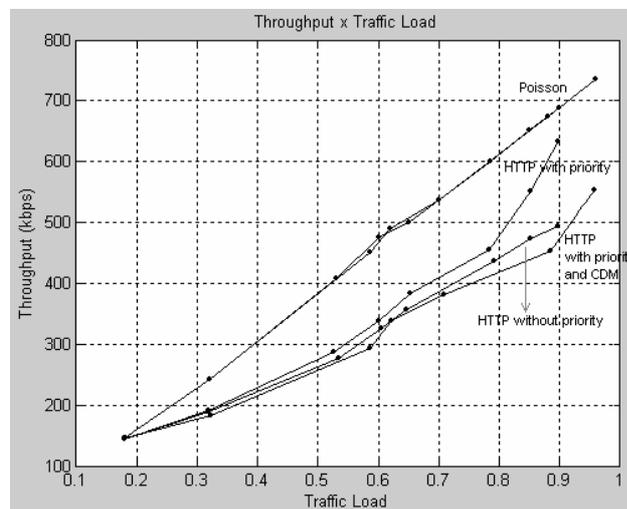


Fig. 4. Average data throughput in function of traffic load

Due to the correlation among the packets in HTTP traffic model, the throughput is lower than Poisson traffic as showed in Fig. 4. Also due to this correlation, the throughput for case 2 (with data rate priority) is higher than case 1 (no priority) for HTTP sources, since higher data rates are prioritized.

For Poisson traffic, when analyzed in function of the traffic load, the throughputs are very close for the three cases as presented in Fig. 4. However when analyzed in function of the link utilization,

it is possible to notice that for the same link utilization, the throughput is increased with the CDM technique, and this difference is greater as the traffic load increases. Although, for the HTTP traffic, the throughput in function of traffic load varies for each case studied, the similar behavior is observed for HTTP traffic when analyzed in function of link utilization.

The throughputs in function of link utilization are presented in Fig. 5 for HTTP traffic, and in Fig. 6 for Poisson traffic. The improvement in the system performance due to the CDM implementation can be evaluated in these graphs. With lower link utilization for the same data throughput, the system performance is improved allowing a faster packet data transmission that reflects in higher throughputs.

For Poisson traffic, the relationship between the link utilization and traffic load is linear when CDM is not applied, however, with CDM the link utilization is lower for the same traffic load. For example, for traffic load of 70%, without CDM the link utilization is 70%, but with CDM the link utilization is 63%.

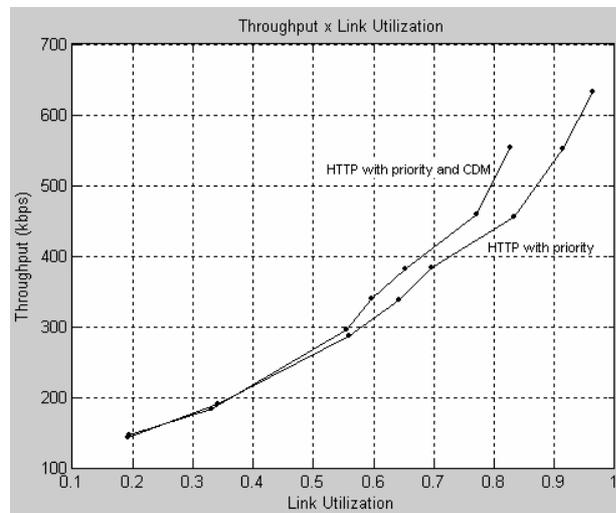


Fig. 5. Average data throughput in function of link utilization for HTTP traffic

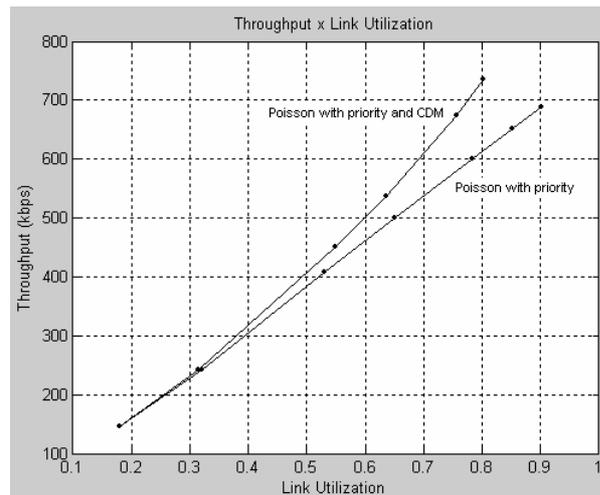


Fig. 6. Average data throughput in function of link utilization for Poisson traffic

Considering HTTP traffic, without CDM, the link utilization is higher than the traffic load due to the TCP and 1xEV-DV packet sizes. Since the main object and the embedded objects sizes can

vary, and then the packets need to be divided in TCP and 1xEV-DV packet sizes, in most cases this division will not be exact and there will be packets filled with no data.

So, for example, in the case with HTTP traffic and without priority, for traffic load of 65%, the link utilization is 69%. For the case 3, it is expected that CDM will lower the link utilization. This is observed for example for traffic load of 70% in which the link utilization is 65%. This difference is higher as the traffic load increases.

## 6. Conclusions

The 1xEV-DV system forward link performance under HTTP traffic in different cases was analyzed through simulation in this paper. The system performance related to average packet delay and throughput were studied in function of the system traffic load.

Considering HTTP traffic, that is a realistic data traffic model, it was possible to analyze the 1xEV-DV forward link data traffic channel (F-PDCH) behavior in cases with data rate priority. The efficiency of the code division multiplexing (CDM) implementation, besides the time division multiplexing (TDM) in the forward link, was verified and evaluated through simulations. With the CDM technique utilization, it is possible to minimize the average packet delay and, as higher is the traffic load, higher will be the improvement due to the CDM implementation.

The throughput performance in function of the link utilization was analyzed, and the simulations allow the evaluation on how much the data throughput can be increased, and the packet delay minimized, through the CDM implementation.

It was also possible to compare a realistic data traffic model, which considers TCP protocol, with the Poisson traffic and study the differences when applied to 1xEV-DV systems.

## References

1. 3GPP2 C.S0002-C, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release C, version 1.0, May 2002.
2. Motorola Inc., Technical Overview of 1xEV-DV, version G1.4, 2002.
3. L.Hsu, M. W. Cheng, I. Niva, Evolution Towards Simultaneous High-Speed Packet Data and Voice Services: An Overview of cdma2000 1xEV-DV, IEEE 10th International Conference on Telecommunications (ICT 2003), pg. 1313-1317, vol. 2, 23 Feb.-1 March 2003.
4. A. Soong, S. Oh, A. Damnjanovic, Y. Yoon, Forward High-Speed Wireless Packet Data Service in IS-2000 – 1xEV-DV, IEEE Communications Magazine, vol. 41, issue 8, pg. 170–177, August 2003.
5. R. T. Derryberry, Lin Ma, Z. Rong, Performance of the cdma2000 1xEV-DV System, IEEE Vehicular Technology Conference, 2003 (VTC 2003-Spring), vol. 2, pg. 1163-1167, 22-25 April 2003.
6. S. Agrawal, I. Acharya, S. Goel, Inside 3G Wireless Systems: The 1xEV-DV
7. GPP2 C.S0002-D, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release D, version 1.0, February 2004.
8. Z.Pi, R. T. Derryberry, CDMA2000 1xEV-DV Reverse Link System Design, IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC 2003), vol. 1, pg. 514-519, 16-20 March 2003.
9. Y Chung, C. Koo, B. Bae, H. Lee, D. Cho, An Efficient Reverse Link Data Rate Control Scheme for 1xEV-DV, IEEE Vehicular Technology Conference, 2001 (VCT 2001 - Fall), vol. 2, pg. 802-823, 7-11 October 2001.
10. 3GPP2 C.S0002-A, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release A, version 6.0, Feb 2002.
11. 3GPP2 WG5 Evaluation AHG, 1xEV-DV Evaluation Methodology – Addendum (V6), July 25, 2001.