

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL - CPGEI**

LAURINEI FERGUTZ

**AVALIAÇÃO DO NETWORK CALCULUS E VCC NA
CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO MPEG PARA SISTEMAS MULTIMÍDIA**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2010

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

LAURINEI FERGUTZ

**AVALIAÇÃO DO NETWORK CALCULUS E VCC NA
CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO MPEG PARA SISTEMAS MULTIMÍDIA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, área de concentração Telemática, do departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

Orientador: Ricardo Lüders, Prof. Dr.

Co-orientadora: Keiko Verônica Ono Fonseca, Profa. Dra.

CURITIBA

JUNHO – 2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

- F352a Fergutz, Laurinei
Avaliação do network calculus e VCC na caracterização de vídeo MPEG para sistemas multimídia / Laurinei Fergutz. – 2010.
175 f. : il. ; 30 cm
- Orientador: Ricardo Lüders
Co-orientador: Keiko Verônica Ono Fonseca
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Área de concentração: Telemática, Curitiba, 2010.
Bibliografia: p. 164-75
1. Gravação em vídeo. 2. Sistemas multimídia – Codificação. 3. Vídeo digital. 4. Processamento de imagens – Técnicas digitais. 5. Engenharia elétrica – Dissertações. I. Lüders, Ricardo, orient. II. Fonseca, Keiko Verônica Ono, co-orient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. IV. Título.

CDD (22. ed.) 621.3

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial

Título da Dissertação Nº 531:

**“Avaliação do network calculus e VCC na
caracterização de vídeo MPEG para sistemas
multimídia”**

por

Laurinei Fergutz

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: Telemática, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Curitiba às 14h do dia 21 de junho de 2010. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores:



Prof^ª. Keiko Verônica Ono Fonseca, Dr.
(Presidente – UTFPR Campus Curitiba)



Prof. Rafael Santos Mendes, Dr.
(UNICAMP)



Prof. , Dr. Emílio Gomes Wille, Dr.
(UTFPR – Campus Curitiba)

Visto da coordenação:



Prof. Fábio Kurt Schneider, Dr.
(Coordenador do CPGEI)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, Ele é a razão do meu viver e minha força nos desafios, lutas e batalhas. Também agradeço em especial à minha amada esposa Priscilla pela sua compreensão, paciência, incentivo e companheirismo em todos os momentos. À minha família, colegas e amigos pelo grande apoio.

Aos meus orientadores, ao Prof. Dr. Ricardo Lüders, o meu muito obrigado pela sua dedicação, correções sempre pertinentes e por ajudar a buscar sempre a excelência. E à Profa. Dra. Keiko Verônica Ono Fonseca pela confiança, ajuda e por ter acreditado em mim ao longo destes anos que trabalhamos juntos.

À UTFPR e ao CPGEI meu agradecimento pela oportunidade de aumentar meus conhecimentos e direta e indiretamente somar para o Brasil ser um país melhor.

FERGUTZ, Laurinei, Avaliação do Network Calculus e VCC na caracterização de vídeo MPEG para sistemas multimídia. 2010. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

RESUMO

O padrão de codificação MPEG contém algoritmos que analisam a redundância temporal e espacial do vídeo. Devido a esta característica, grandes variações na taxa de dados são observadas numa sequência de vídeo. Deste modo, os sistemas multimídia apresentam dificuldades no planejamento, projeto e utilização dos recursos necessários para a reprodução adequada do vídeo. A proposta deste trabalho é avaliar o uso das abordagens "Network Calculus" (NC) e "Variability Characterization Curve" (VCC) na caracterização de vídeos MPEG, fornecendo informações úteis para a composição de sistemas multimídia. Usualmente, o NC é uma teoria utilizada para se obter limitantes de desempenho em redes de pacotes, enquanto o VCC apresenta técnicas para se obter limitantes inferior e superior de desempenho de um sistema computacional. Neste trabalho, porém, tanto o NC quanto o VCC são utilizados para definir limitantes de desempenho na forma de parâmetros a serem usados na caracterização de vídeo. Além disso, uma variação do VCC usando curvas aproximadas é utilizada neste trabalho para avaliação da economia de recursos. Adicionalmente aos métodos NC e VCC, é proposto um novo método para agregar informação ao conjunto de parâmetros utilizados na caracterização de vídeo. De forma a avaliar os métodos em diversas condições, são realizados testes com vídeos em diferentes configurações e conteúdos, usando os padrões MPEG-2, MPEG-4, H264/AVC. O resultado da aplicação destes métodos é um conjunto de parâmetros que podem ser utilizados para caracterizar os vídeos e indicar as particularidades e exigências que cada vídeo impõe aos sistemas multimídia. Além disso, uma ferramenta computacional para avaliação desta caracterização é proposta e implementada.

Palavras-chave: Caracterização de Vídeo, *Network Calculus*, *Variability Characterization Curve*, Codificação MPEG.

FERGUTZ, Laurinei, Network Calculus and VCC Evaluation for MPEG video characterization in Multimedia Systems. 2010. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ABSTRACT

The MPEG video coding standard has algorithms for analyzing temporal and spatial video's redundancies. Therefore, a great variation of data rate is observed in a video sequence. Consequently, planning, design and utilization of the necessary resources for playing video is not an easy task in multimedia systems. This work evaluates the application of Network Calculus (NC) and Variability Characterization Curve (VCC) approaches in MPEG video characterization by providing useful information to setup multimedia systems. Usually, NC theory is applied to obtain performance bounds for packet networks while VCC provides techniques to obtain lower and upper performance bounds for a computational system. However in this work, both NC and VCC are applied to define performance limits expressed as parameters to be used in video characterization. A VCC variant using approximate curves is also used in this work to evaluate resource savings. In addition, a new method is proposed by adding information to the set of parameters used for video characterization. For evaluating these methods in several conditions, a set of tests is accomplished in different configurations with videos MPEG-2, MPEG-4 and H264/AVC. The result is a set of parameters that can be used to characterize videos and point out particularities and requirements imposed by each video to multimedia systems. Finally, a computational tool for evaluating this characterization is also proposed and implemented.

Keywords: Video Characterization, Network Calculus, Variability Characterization Curve, MPEG Coding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de um quadro NTSC	20
Figura 2 - Estrutura de um quadro MPEG	21
Figura 3 - Macrobloco MPEG – subamostragem	22
Figura 4 - Vetor de deslocamento do bloco.....	23
Figura 5 - Quadros de um GoP G16-B3.....	23
Figura 6 - Codificador MPEG-2	25
Figura 7 - Decodificador MPEG-2	25
Figura 8 - Diagrama do decodificador H264.....	28
Figura 9 - Modelos de blocos	29
Figura 10 - Diferentes níveis de atividade em uma sequência MPEG	35
Figura 11 - Movimentação de cena em trechos de vídeo.....	36
Figura 12 - Histórico de modelagem e caracterização de tráfego	39
Figura 13 – Autocorrelação em quadros – GoP	41
Figura 14 - Largura de banda efetiva	43
Figura 15 - Caracterização pelo modelo D-BIND	44
Figura 16 - Modelo aproximado.....	45
Figura 17 - Envelope efetivo.....	46
Figura 18 - Modelo básico de um sistema NC.....	49
Figura 19 - Funções de entrada e saída de um sistema	49
Figura 20 - Funções cumulativas de entrada e saída $[R(t)$ e $R^*(t)]$	49
Figura 21 - Função cumulativa	50
Figura 22 - Funções cumulativas de entrada $R(t)$ (linha sólida) e saída $R^*(t)$ (linha pontilhada) – backlog $b_x(t)$ e atraso virtual $d(t)$	51
Figura 23 - Função cumulativa e curvas de chegada.....	52
Figura 24 - Sistema de vídeo – curvas de chegada e serviço	53
Figura 25 - Curva de serviço	53
Figura 26 - Backlog e atraso virtual – curvas de chegada e serviço	55
Figura 27 - NC estatístico – ganho na multiplexação	57
Figura 28 - Alocação de recursos – NC estatístico	58
Figura 29 – Curvas VCC – $V^l(k), V^u(k)$	60
Figura 30 – Curvas de chegada e serviço, backlog e atraso VCC	63
Figura 31 - Sequência de vídeo MPEG.....	64
Figura 32 - Histograma – número de ciclos por macrobloco	65
Figura 33 - Parâmetros de caracterização da curva de chegada do vídeo.	71
Figura 34 - Parâmetros m_1 e m_2 obtidos a partir da taxa média e da função cumulativa	71
Figura 35 – Composição da curva VCC	74
Figura 36 – Histograma - ε – VCC	75
Figura 37 – Função cumulativa e curva de chegada – Vídeos: (Sony e Terminator)	85
Figura 38 – Vídeos: MPEG-2@720p (Sony e Terminator) – curvas de chegada e serviço (1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps).....	85
Figura 39 – Função cumulativa e curva de chegada – Mars e Talkshow H264@1080i	87
Figura 40 – Curva de chegada (vídeos H264@1080i Mars e Talkshow) e curvas de serviço.....	88

Figura 41 – Função cumulativa e curva de chegada – qualidade baixa - QCIF	90
Figura 42 – Vídeos: MPEG-4@QCIF (<i>Silence</i>) – curvas de chegada nas qualidades baixa, média e alta e curvas de serviço (128kbps, 256kbps, 512kbps e 1Mbps).....	91
Figura 43 – Vídeos MPEG-4@CIF 30qps – 4 conteúdos x 4 formatos de GoP	94
Figura 44 – MPEG-4@30qps CIF – Comparativo parâmetros curva de chegada.....	95
Figura 45 – MPEG-4@CIF_30qps – <i>backlog</i> para 4 conteúdos x 4 formatos de GoP	97
Figura 46 – MPEG-4@CIF_30qps – atraso para 4 conteúdos x 4 formatos de GoP	98
Figura 47 – H264@30qps CIF – Comparativo Parâmetros Curva de Chegada.....	99
Figura 48 – H264@30qps CIF – Backlog e atraso – 4 conteúdos x 4 tipos de GoP	100
Figura 49 –Comparativo entre os parâmetros das curvas de chegada dos vídeos no formatos H264 e MPEG-4	102
Figura 50 – Curvas de chegada (VCC e ε -VCC) e curvas de serviço (1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps) – vídeos: <i>Terminator</i> e <i>Sony</i>	106
Figura 51 – Histogramas MPEG-2@720p – vídeos: <i>Terminator</i> e <i>Sony</i>	106
Figura 52 – Comparativo de <i>backlog</i> e atraso para os vídeos MPEG-2@720p aplicando os métodos VCC, ε -VCC e NC.....	109
Figura 53 – Função cumulativa, curvas de chegada (VCC e ε -VCC) e curvas de serviço (1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps) – vídeos: <i>Talkshow</i> e <i>Mars</i>	110
Figura 54 – Histogramas H264@1080i – vídeos: <i>Talkshow</i> e <i>Mars</i>	111
Figura 55 – <i>Backlog</i> e atraso - (NC, VCC e ε -VCC) – H264@1080i.....	113
Figura 56 – Função cumulativa, curvas de chegada (VCC e ε -VCC) e curvas de serviço (128kbps, 256kbps, 512kbps e 1Mbps) – vídeos <i>Silence</i> (alta, média, baixa)	115
Figura 57 – Histogramas MPEG-4 – vídeos <i>Silence</i> (alta, média, baixa).....	116
Figura 58 – <i>Backlog</i> e Atraso – MPEG-4 (alta, média, baixa) – VCC, ε -VCC e NC	118
Figura 59 – Reduções comparativas (VCC e ε -VCC) – taxas máximas da sequência MPEG-4 – GoPs (G16B1, G16B3, G16B7, G16B15).....	119
Figura 60 – <i>Backlog</i> (VCC e ε -VCC) – MPEG-4 - GoPs.....	120
Figura 61 – Atraso (VCC e ε -VCC) – MPEG-4 - GoPs	121
Figura 62 – Reduções comparativas (VCC e ε -VCC) - taxas máximas da sequência H264 – GoPs (G16B1, G16B3, G16B7, G16B15).....	122
Figura 63 – <i>Backlog</i> - (VCC e ε -VCC) – H264 - GoPs.....	123
Figura 64 – Atraso - (VCC e ε -VCC) – H264 - GoPs	124
Figura 65 – Curvas de Chegada e Serviço - ε -NC - Vídeos MPEG-2@720p	128
Figura 66 – <i>Backlog</i> e atraso – comparação NC e ε -NC - MPEG-2	129
Figura 67 – Curvas de Chegada (α_ε) e Serviço – H264@1080i.....	131
Figura 68 – <i>Backlog</i> e atraso – comparação NC e ε -NC - H264	132
Figura 69 – Curvas de Chegada (α_ε) e Serviço – MPEG-4 – taxas de compressão	133
Figura 70 – <i>Backlog</i> e atraso – comparação NC e ε -NC- MPEG-4 taxas de compressão.....	135
Figura 71 – Comparativo percentual – parâmetros de α_ε – vídeos MPEG-4 - ε -NC	137
Figura 72 – Percentual de redução - <i>backlog</i> e atraso – MPEG-4	138

Figura 73 – Comparativo percentual – parâmetros de α_ε – vídeos MPEG-4 - ε – NC	139
Figura 74 – Curvas de Chegada (α_ε) – percentual de redução – H264.....	140
Figura 75 – Percentual de redução – atraso e <i>backlog</i> – H264 - ε – NC	141
Figura 76 – Módulos da ferramenta MCC	149
Figura 77 – Ferramenta MCC de captura de dados do vídeo	150
Figura 78 – Ferramenta de avaliação <i>Video Analyser</i>	151
Figura 79 – Ferramenta de avaliação <i>Video Analyser</i> - Gráficos	152
Figura 80 – Módulos da ferramenta <i>Video Analyser</i> - VA	152
Figura 81 – Captura de Informações do Vídeo MPEG-2.....	153
Figura 82 – Curvas de Chegada - Vídeo MPEG-2	154
Figura 83 – Curvas de Chegada e Serviço - Vídeo MPEG-2	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões de áudio e vídeo MPEG	31
Tabela 2. Resoluções de vídeos MPEG.....	31
Tabela 3. Grupo de parâmetros propostos para caracterização de vídeo MPEG	69
Tabela 4. Grupo de parâmetros propostos para caracterização de vídeo MPEG, métodos utilizados e aplicação em sistemas multimídia	78
Tabela 5. Conjunto de informações dos vídeos utilizados	81
Tabela 6. Objetivo da avaliação dos vídeos utilizados	82
Tabela 7. Taxa média e rajada – vídeos MPEG-2@720p	84
Tabela 8. Backlog e atraso virtual – MPEG-2@720p.....	86
Tabela 9. Parâmetros das curva de chegada – Vídeos H264@1080i_30qps	87
Tabela 10. Backlog e atraso virtual – H264@1080i – 30qps.....	88
Tabela 11. Taxa média e rajada – vídeos MPEG-4@QCIF	89
Tabela 12. Backlog e atraso virtual – MPEG-4@QCIF – qualidade alta, média, baixa	91
Tabela 13. Taxa média e rajada – vídeos MPEG-4 com diferentes GoPs e conteúdos	93
Tabela 14. VCC e ε -VCC MPEG-2@720p – Período inicial da curva de chegada	107
Tabela 15. Backlog (Mbits) VCC e ε -VCC – MPEG-2@720p	108
Tabela 16. Atraso (s) VCC e ε -VCC – MPEG-2@720p	109
Tabela 17. Período inicial da curva de chegada – H264@1080i (VCC e ε -VCC)..	111
Tabela 18. Backlog (Mbits) VCC e ε -VCC – H264@1080i	112
Tabela 19. Atraso (s) VCC e ε -VCC – H264@1080i.....	113
Tabela 20. Curva de chegada (VCC e ε -VCC) - MPEG-4 (alta, média, baixa)	117
Tabela 21. Backlog (Mbits) VCC e ε -VCC – MPEG-4 (alta, média, baixa)	117
Tabela 22. Atraso (s) VCC e ε -VCC – MPEG-4 (alta, média, baixa)	118
Tabela 23. ε -NC - Taxa média e rajada – Vídeos MPEG-2@720p.....	127
Tabela 24. Backlog e atraso virtual - ε -NC - MPEG-2@720p.....	129
Tabela 25. Parâmetros – Curva de Chegada – Vídeos H264@1080i - ε -NC	130
Tabela 26. Backlog e atraso - Vídeos H264@1080i - ε -NC	131
Tabela 27. Taxa média e rajada – Vídeos MPEG-4 - ε -NC	133
Tabela 28. Backlog e atraso virtual – MPEG-4 – taxas de compressão - ε -NC ...	134
Tabela 29. Taxa média e rajada e reduções do NC em relação ao ε -NC	135
Tabela 30. Quadro Resumo da Caracterização de Vídeo com NC e ε -NC	143
Tabela 31. Comparativo NC e ε -NC (Relação, Redução, aumento).....	144
Tabela 32. Parâmetros – Curva de Chegada – Vídeo MPEG-2 - ε -NC	154
Tabela 33. Backlog e atraso – Vídeo MPEG-2 - ε -NC	155

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
3GPP2	<i>3rd Generation Partnership Project 2</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
ADSL2+	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line 2+ (rate 24Mbps)</i>
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committee</i>
AVC	<i>Advanced Video Coding</i>
BD-ROM	<i>Blu-ray Disc Rom</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CIF	<i>Common Intermediate Format</i>
CoV	<i>Coefficient of Variation</i>
DCT	<i>Discrete Cosine Transform</i>
D-BIND	<i>Deterministic Bounding Interval Dependent</i>
DMB	<i>Digital Multimedia Broadcasting</i>
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i>
DVD	<i>Digital Video Disc</i>
GoP	<i>Group of Pictures</i>
HD	<i>High Definition</i>
HDTV	<i>High Definition TV</i>
HD-DVD	<i>High Density Digital Versatile Disc</i>
IntServ	<i>Integrated Services</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LRD	<i>Long Range Dependency</i>
MediaFLO	<i>Media – Forward Link Only</i>
MPEG	<i>Motion Picture Experts Group</i>
NC	<i>Network Calculus</i>
NTSC	<i>National Television System Committee</i>
Q	<i>Quantization</i>
QCIF	<i>Quarter CIF</i>
RTC	<i>Real Time Calculus</i>
SNR	<i>Signal to Noise ratio</i>
SRD	<i>Short Range Dependency</i>
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
VCC	<i>Variability Characterization Curve</i>
VDSL2	<i>Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line 2</i>
VLC	<i>Variable Length Coding</i>
VoD	<i>Video of Demand</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Curva de chegada NC
β	Curva de serviço
R	Função cumulativa de entrada
R^*	Função cumulativa de saída
ε	Perda admitida no sistema
V	Curvas VCC
γ	Curva de Carga de Trabalho
V	Função de serviço VCC
$\beta(\Delta)$	Curva de Serviço VCC
$\alpha(\Delta)$	Curva de Chegada VCC
α_ε	Curva de Chegada NC aproximado
b_x	<i>Backlog</i> – Tamanho de fila
d	Atraso
b_ε	<i>Backlog</i> aproximado – Tamanho de fila
d_ε	Atraso aproximado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	SISTEMA DE VÍDEO DIGITAL	18
2.1	VÍDEO DIGITAL MPEG	19
2.1.1	Características gerais dos padrões MPEG	19
2.1.1.1	Propriedades dos quadros	19
2.1.1.2	Compressão do vídeo	21
2.1.1.3	Grupo de imagens (GoP)	23
2.1.1.4	Codificação de vídeo com taxa de <i>bit</i> variável (VBR)	24
2.1.2	MPEG-2	24
2.1.3	MPEG-4	26
2.1.4	H264/AVC	27
2.2	COMPARAÇÃO DOS PADRÕES DE VÍDEO MPEG	30
2.3	CONCLUSÃO	32
3	ABORDAGENS PARA CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO DIGITAL	33
3.1	FINALIDADE DA CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO MPEG	33
3.2	CARACTERIZAÇÃO POR SEMÂNTICA E DETECÇÃO DE ARTEFATOS	34
3.3	CARACTERIZAÇÃO PELO TRÁFEGO DE VÍDEO	38
3.3.1	Caracterização por análise estatística	39
3.3.2	Largura de banda efetiva	42
3.3.3	Envelope empírico	43
3.3.4	Envelope efetivo	45
3.4	CONCLUSÃO	46
4	AS ABORDAGENS NC E VCC	48
4.1	NETWORK CALCULUS	48
4.1.1	Modelo para fluxos de dados	48
4.1.1.1	Funções de entrada e saída	48
4.1.1.2	Funções cumulativas	49
4.1.2	Tamanho da fila (<i>backlog</i>) e atraso virtual	50
4.1.3	Curvas de chegada	51
4.1.4	Curvas de serviço	52
4.1.5	Tamanho da fila (<i>backlog</i>) e atraso virtual com curvas de chegada e serviço	53
4.1.6	Network Calculus estatístico, estocástico ou probabilístico	56
4.2	VARIABILITY CHARACTERIZATION CURVE (VCC)	58
4.2.1	Curva de chegada VCC	60
4.2.2	Curva de serviço VCC	61
4.2.3	Atraso máximo VCC	62
4.2.4	Tamanho de fila (<i>backlog</i>) máximo VCC	62
4.3	VCC APROXIMADA ($\varepsilon - VCC$)	63
4.4	CONCLUSÃO	67
5	APLICAÇÃO DO NC E VCC PARA CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO MPEG69	
5.1	OBTENÇÃO DE PARÂMETROS ATRAVÉS DO NC	70
5.2	OBTENÇÃO DE PARÂMETROS ATRAVÉS DO VCC E E-VCC	73

5.3	PROPOSTA DE OBTENÇÃO DE PARÂMETROS ATRAVÉS DO NC APROXIMADO ($\varepsilon - NC$)	76
5.4	CONCLUSÃO	78
6	RESULTADOS	80
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	80
6.2	CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO APLICANDO <i>NETWORK CALCULUS</i>	84
6.2.1	Vídeos com diferentes conteúdos	84
6.2.1.1	Vídeos MPEG-2@720p de conteúdos diferentes.....	84
6.2.1.2	Vídeos H264/1080i de conteúdos diferentes.....	86
6.2.2	Vídeos com diferentes taxas de compressão	89
6.2.3	Vídeos com diferentes GoP e conteúdo	92
6.2.3.1	Vídeos MPEG-4 com diferentes GoP e conteúdo	92
6.2.3.2	Vídeos H264 com diferentes GoP e conteúdo	98
6.2.3.3	Comparativo dos parâmetros das curvas de chegada dos vídeos MPEG-4 e H264	101
6.2.4	Conclusão sobre o uso do NC.....	102
6.3	CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO APLICANDO VCC E ε -VCC	105
6.3.1	Vídeo com conteúdos diferentes	106
6.3.1.1	Vídeos MPEG-2/720p com conteúdos diferentes	106
6.3.1.2	Vídeos H264/1080i com conteúdos diferentes.....	110
6.3.2	Vídeos com diferentes taxas de compressão	114
6.3.3	Vídeos com diferentes GoP e conteúdo	119
6.3.3.1	Vídeos MPEG-4 com diferentes GoP e conteúdo	119
6.3.3.2	Vídeos H264 com diferentes GoP e conteúdo	122
6.3.4	Conclusão sobre o uso do VCC e ε -VCC	124
6.4	CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO APLICANDO NC APROXIMADO	127
6.4.1	Vídeos com conteúdos diferentes	127
6.4.1.1	Vídeos com conteúdos diferentes - MPEG-2@720p.....	127
6.4.1.2	Vídeos com conteúdos diferentes – H264@1080i	130
6.4.2	Vídeos com diferentes taxas de compressão	132
6.4.3	Vídeos com diferentes GoP e conteúdo	135
6.4.3.1	Vídeos com diferentes GoP e conteúdo – MPEG-4	135
6.4.3.2	Vídeos com diferentes GoP e conteúdo – H264	138
6.4.4	Conclusão sobre o uso do $\varepsilon - NC$	141
6.5	CONCLUSÃO.....	143
7	FERRAMENTA DE CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VÍDEO DIGITAL	147
7.1	FERRAMENTA - <i>MPLAYER CURVES CAPTURING</i> - MCC	148
7.2	FERRAMENTA - <i>VIDEO ANALYSER</i> - VA	150
7.3	FERRAMENTA – TESTES DE CAPTURA E PROPOSTA DE CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO MPEG	153
7.4	CONCLUSÃO.....	155
8	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	157
	REFERÊNCIAS.....	164

1 INTRODUÇÃO

Nos meios de comunicação como *Internet*, TV e celulares, o vídeo digital tem tido um crescimento expressivo. Ele tem sido usado para diversas finalidades, destacando-se o entretenimento, a publicidade e o uso pessoal através de redes sociais. O aumento da popularidade impulsiona a evolução dos aplicativos exigindo melhora na qualidade dos vídeos, além de estimular o aumento na disponibilidade de conteúdo. Esses fatores demandam sistemas com soluções multimídia robustas e confiáveis. O aumento da utilização de vídeos gera a necessidade da ampliação dos sistemas. Para que haja um correto dimensionamento da solução é preciso ter o conhecimento do sistema multimídia e principalmente das características do vídeo digital.

Um sistema multimídia pode ser representado por uma arquitetura cliente-servidor. De forma simplificada, o servidor-codificador de vídeo é composto pela seção de armazenamento, codificador e modo de transmissão. O cliente-decodificador tem o receptor, decodificador e ambiente de reprodução do vídeo. Para dimensionamento e especificação dos componentes de um sistema de vídeo digital são necessárias algumas informações. O tamanho do vídeo a ser reproduzido, parâmetros de codificação, condição de transmissão dos dados (largura de banda, atraso do meio) são subsídios importantes para o projeto do servidor-codificador. No cliente-decodificador os dados de grande utilidade são: percentual de perda de dados, atraso e tamanho do *buffer* para reprodução do vídeo sem interrupções. Ainda que todos estes componentes tenham sua representatividade na solução, um elemento que influencia e impacta todo o sistema é o padrão de vídeo adotado. O padrão de vídeo digital mais difundido e de grande popularidade em sistemas de transmissão de vídeo em tempo real ou vídeo sob demanda é o MPEG (BORTOLETO,2005).

No vídeo digital, fatores como a resolução, a codificação e até mesmo o conteúdo do vídeo podem influenciar nas exigências necessárias para sua reprodução. Uma particularidade do vídeo MPEG está na forma de codificação e compressão dos quadros que constituem o vídeo, os quais apresentam tamanho, função e importância diferenciados. O resultado é um vídeo codificado com taxa de *bit* variável (VBR), o que implica por um lado em economia de recursos em função

de compressão com perdas, mas por outro lado gera alta variabilidade em vídeos MPEG. A variabilidade dificulta significativamente o processo de levantamento dos recursos, limitantes e a caracterização do vídeo.

A caracterização de vídeo tem sido tema de vários estudos. Algumas técnicas utilizam dados da distribuição estatística dos quadros do vídeo para caracterização, modelagem de tráfego e estimativa de utilização de largura de banda. Outros métodos têm o objetivo de caracterizar e classificar os vídeos por tipo de conteúdo e aplicam metodologias embasadas na identificação de objetos em imagens e semântica. No campo da modelagem de tráfego e determinação de recursos de um sistema duas técnicas em particular são usadas como base nesta dissertação para caracterização de fluxos de dados. A primeira, *Network Calculus* (NC), é uma teoria originalmente aplicada em redes de computadores que fornece informações das condições do cenário de pior caso, ou seja, de maior exigência de recursos do sistema por parte do vídeo. A segunda, *Variability Characterization Curves* (VCC), aplicada na área de desempenho de sistemas computacionais, tem propriedades semelhantes à primeira e adicionalmente fornece a caracterização do vídeo e análise dos cenários extremos: máximo consumo de recursos para reprodução do vídeo e de mínima atividade do sistema. O método VCC, ainda provê um processo de análise aproximada. Esta variação visa levantar o comportamento do sistema em situações de exigência máxima do sistema, cenário de pior caso, e qual a frequência deste ponto de máxima requisição. Identificando a informação do número de ocorrências dos cenários extremos, é possível estimar qual a tolerância e impacto no sistema quando são admitidas pequenas degradações. Caso seja permitida uma pequena degradação mantendo um nível de qualidade aceitável o método pode ser aplicado para economizar recursos consideráveis no sistema.

Conforme mencionado, o MPEG apresenta características peculiares que necessitam ser conhecidas para que possam ser determinadas as exigências e imposições do vídeo para projeto e operação adequados do sistema multimídia. Assim, o objetivo desta dissertação é avaliar as abordagens NC e VCC para caracterização de vídeo digital MPEG obtendo um conjunto de informações que possam ser usadas para dimensionar sistemas de vídeo, maximizar a utilização dos recursos e ainda fornecer o potencial de redução de recursos quando são admitidas perdas, porém, mantendo a qualidade de vídeo aceitável com a mínima percepção de degradação. O resultado final é um conjunto de parâmetros que podem servir de

base para construção de sistemas multimídia ou obtenção de informações sobre o comportamento do vídeo em determinado sistema ou meio de comunicação. As propriedades de vários tipos de vídeo e formatos serão utilizados. Com isso se deseja identificar as particularidades dos vídeos nos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264 e em diversas resoluções.

Parte dos resultados deste trabalho foram publicados no 27º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores – SBRC2009 (FERGUTZ,2009a) e no Workshop de Tempo Real – WTR2009 (FERGUTZ,2009b). Além do artigo já submetido no XVIII Congresso Brasileiro de Automática - CBA2010 (FERGUTZ,2010).

Quanto à organização, esta dissertação está dividida em capítulos da seguinte forma. No capítulo 2 é apresentada uma revisão sobre sistemas de vídeo digital e os padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264. No capítulo 3 são apresentados algumas técnicas e métodos de caracterização de vídeo digital. As abordagens NC e VCC são ilustradas no capítulo 4. A partir dos conceitos de curva de chegada e serviço tanto do NC quanto do VCC, no capítulo 5 é apresentada uma proposta de caracterização de vídeo digital baseada nos métodos elucidados. No capítulo 6, a proposta é aplicada em vários tipos de vídeos e formatos objetivando a identificação das características dos vídeos MPEG em diversas condições. O capítulo 7 trata de uma ferramenta de avaliação e aplicação da proposta de caracterização de vídeos MPEG. Para finalizar, o capítulo 8 traz as conclusões e trabalhos futuros.

2 SISTEMA DE VÍDEO DIGITAL

Para concepção de um sistema de vídeo digital é necessária a obtenção de informações sobre os principais elementos que o compõe. Deste modo, neste capítulo serão apresentados detalhes sobre o padrão de vídeo MPEG e particularidades das famílias MPEG-2, MPEG-4 e H264/AVC. O objetivo é adquirir conhecimentos peculiares sobre quais elementos do padrão de vídeo podem influenciar fortemente na característica do vídeo codificado.

Com a chegada dos sistemas de vídeo digital, três tecnologias passaram a dominar os aplicativos multimídia: Vídeo DVD, TV digital e trechos de vídeo na *Internet*. De acordo com estudos recentes, aproximadamente 60 milhões de pessoas por mês utilizam a *Internet* para ouvir ou assistir conteúdo de mídia. Nos EUA, cerca de 60 estações de TV fazem transmissão ao vivo pela *Internet* e mais de 30 fornecem vídeo sob demanda. Outro dado interessante é sobre a criação de novos conteúdos que chegam em 6000 horas por semana nestes canais (MERWE,2002).

O vídeo digital surgiu há mais de uma década, com grande parte dos produtos baseada no padrão de vídeo MPEG-2 (IBRAHIM,1998a). Em seguida, buscando maior eficiência e melhor compressão, o padrão MPEG-4 ganhou espaço sendo adotado em sistemas de TV digital (CHANGGUI,1998). Em pesquisas e implementações recentes aparece um novo padrão da família MPEG, o H264/AVC (ITU-T,2005).

A evolução dos sistemas de vídeo digital e o crescimento da utilização de aplicativos multimídia exigem pesquisas, investimentos e ampliações na estrutura de suporte à solução. Visando aperfeiçoamento, qualidade e eficiência, é de extrema importância conhecer profundamente o sistema de vídeo digital e as características dos dados que estão sendo processados. Este capítulo apresenta as propriedades, métodos de compressão e características dos vídeos MPEG-2, MPEG-4 e H264 além de um comparativo entre os padrões de vídeo. A próxima seção mostra o padrão de vídeo digital MPEG.

2.1 Vídeo digital MPEG

O MPEG (*Motion Picture Experts Group*) é um padrão de grupo que foi estabelecido em 1988 pela ITU (*International Telecommunication Union*). Os padrões MPEG têm as vantagens de compatibilidade universal, grandes taxas de compressão e perda aceitável mantendo qualidade na imagem final (BORTOLETO,2005).

2.1.1 Características gerais dos padrões MPEG

Para reprodução de um conteúdo multimídia em um sistema digital é necessário que ele seja codificado. Existem diferentes esquemas de codificação para áudio e vídeo, com características de desempenho, complexidade e tempo de processamento diferenciados. Devido ao grande volume de dados, a compressão de dados (especialmente de áudio e vídeo) é essencial para aumentar a eficiência da utilização da largura de banda em uma rede, aprimorar a transmissão em diversos dispositivos, além de melhorar o uso dos servidores de armazenamento (BORTOLETO,2005).

O tratamento de áudio e vídeo é executado separadamente no padrão MPEG, o qual possui três níveis: a camada de vídeo, a camada de áudio e a camada de sistema que contém as informações sobre sincronização, acesso aleatório, administração de *buffers* e marcação de tempo para cada quadro do vídeo MPEG.

2.1.1.1 Propriedades dos quadros

A divisão do vídeo MPEG é feita em grupo de imagens (GoP) ou quadros (imagem). Uma imagem na terminologia MPEG é a unidade básica de visualização e corresponde à apresentação de um único quadro na sequência de vídeo. As dimensões espaciais de um quadro são variáveis e determinadas pelos requisitos da aplicação. Por exemplo, no padrão NTSC o tamanho do quadro correspondente é de 512 x 480 *pixels* (Figura 1).

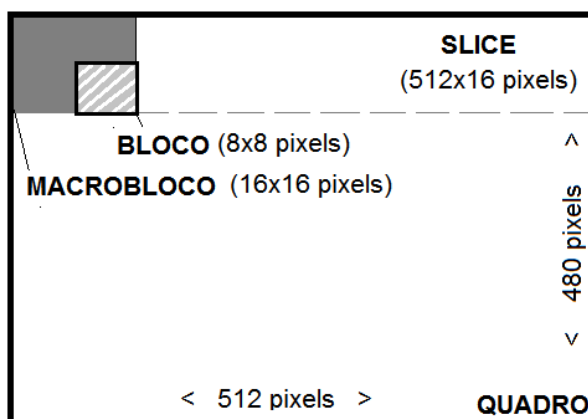


Figura 1 - Componentes de um quadro NTSC

Fonte: (PANCHÁ,1994)

De maneira geral, num vídeo MPEG cada quadro recebe um número de sequência que determina o momento de reprodução e são classificados em três tipos (KAWASHIMA,1993):

- Quadros I (*Intracoded*) – são imagens completas, codificadas individualmente, não dependentes de outros quadros para serem decodificadas;
- Quadros P (*Predictive*) – quadros codificados com predição relativa ao último quadro;
- Quadros B (*Bidirectional*) – quadros que carregam as diferenças entre o último quadro codificado e o próximo quadro da sequência de vídeo.

O quadro ou imagem é dividido em: fatias (*slices*), macroblocos (unidades de 16 x 16 *pixels*), blocos de 8x8 *pixels* (elementos de luminância e crominância), conforme a Figura 2. A fatia horizontal – *slice* – é unidade básica de processamento num esquema de codificação MPEG. Operações de codificação nos blocos e macroblocos podem ser desempenhadas somente quando todos os *pixels* de uma *slice* estão disponíveis (DE LA CRUZ, 1997). No caso do NTSC, cada quadro contém 30 *slices* de tamanho 512x16 *pixels* (Figura 1) (PANCHÁ,1994)(KAWASHIMA,1993).

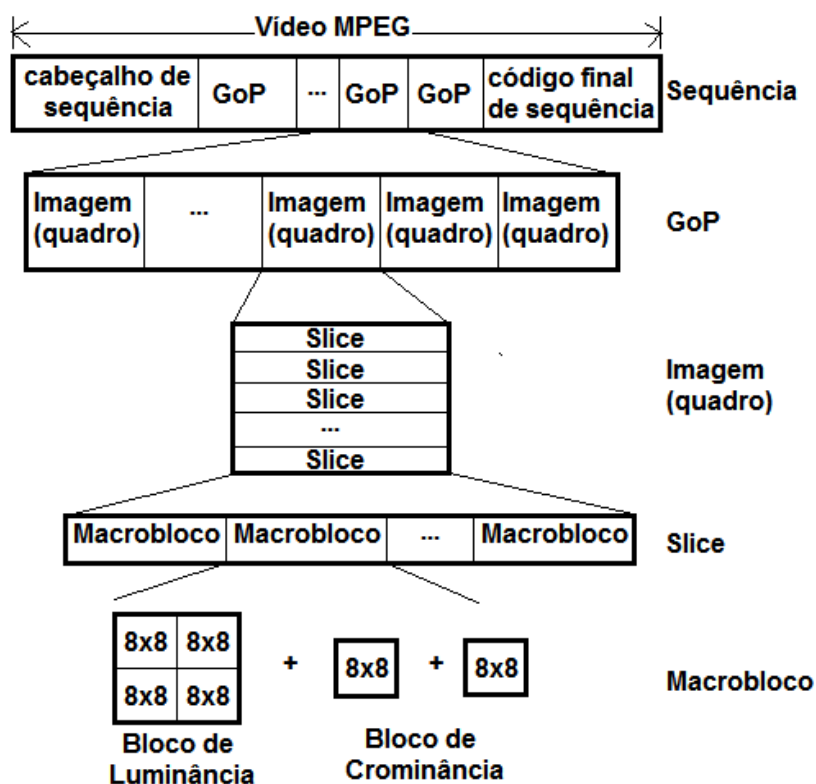


Figura 2 - Estrutura de um quadro MPEG

Fonte: (LI,1999)

O macrobloco é a unidade básica de codificação no algoritmo MPEG. Um macrobloco é um segmento do quadro de 16 x 16 *pixels* (Figura 1) (DE LA CRUZ, 1997). O bloco é a menor unidade de codificação num algoritmo MPEG (DE LA CRUZ, 1997). Ele é composto de 8x8 *pixels* (Figura 1) e classificado em três tipos: luminância (Y), crominância vermelha (Cr), e crominância azul (Cb). O bloco é a unidade básica para tratamento da DCT (*Discrete Cosine Transform*) (PANCHA,1994).

2.1.1.2 Compressão do vídeo

A compressão de vídeo tem por objetivo a redução da taxa de transmissão, removendo informações redundantes ou de menor importância. O codificador do transmissor de vídeo digital é responsável pelo processo de compressão. Após a fase de transmissão, um receptor de sinal com um decodificador reconstrói o quadro. Num sinal de vídeo existem dois tipos de tratamento de redundância de informação: espacial e temporal. A primeira são as informações redundantes na imagem estática. A segunda é a diferença entre quadros sucessivos. Os processos de compressão efetuados em um sistema MPEG são os seguintes:

- Subamostragem de cor – devido às características do sistema visual humano, a sensibilidade e importância da luminância é maior que da crominância. A Figura 3 mostra algumas representações de macrobloco depois de usadas diferentes taxas de subamostragem. Num esquema 4:2:0 (YUV ou YCrCb), cada componente de crominância (Cr,Cb) tem a metade da resolução vertical e horizontal se comparado ao componente de luminância (Y). Esse macrobloco consiste em 4 blocos Y e 2 blocos de crominância (Cr e Cb) (PANCHHA,1994).
- A transformada discreta de cosseno (DCT) é aplicada para eliminar a redundância espacial. É executado o mapeamento entre a representação de uma imagem bidimensional e a sua representação no domínio da frequência em cada um dos blocos de 8X8 *pixels*, obtendo os coeficientes de DCT. Inicialmente não há redução do número de *bits* com a transformada, mas como existe concentração de energia nos coeficientes de baixa frequência, os demais coeficientes que possuem valor próximo a zero podem ser descartados.

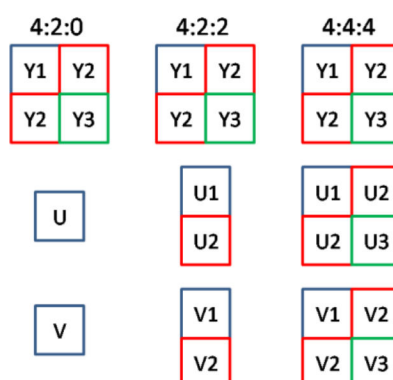


Figura 3 - Macrobloco MPEG – subamostragem

Fonte: (BORTOLETO,2005)

Conforme a Figura 4, a eliminação da redundância temporal é feita com a predição por compensação de movimento dos blocos entre quadros consecutivos.

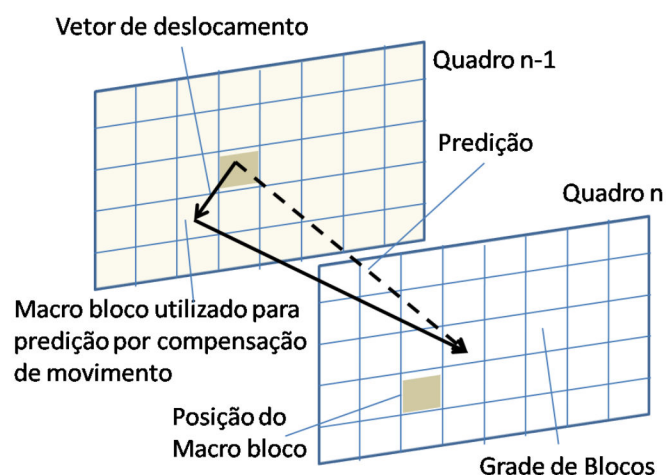


Figura 4 - Vetor de deslocamento do bloco

Fonte: (BORTOLETO,2005)

É verificada a correlação entre os *pixels* dos quadros e em seguida um vetor de movimento é estimado, codificado e transmitido para cada um destes blocos.

2.1.1.3 Grupo de imagens (GoP)

Após a fase de compressão, para construção de um vídeo, é necessário que haja um processo de estruturação da sequência de quadros. A organização é efetuada através de um dos principais componentes da sequência de vídeo MPEG, o grupo de imagens ou GoP (*Group of Pictures*). Ele é definido como uma série de N quadros sendo a menor unidade do MPEG que ainda é passível de decodificação.

Os quadros do tipo I servem de referência e marcam o início de um GoP, têm mais importância que os demais quadros, pois caso ocorra a perda de um pacote deste quadro na transmissão ou no processamento, não é possível mais decodificar nenhum quadro do respectivo grupo de imagens. Na Figura 5 é apresentada a relação de dependência entre os quadros num GoP (o sentido das setas significa a indicação do quadro de referência). Neste caso, a estrutura apresenta G16-B3, ou seja, um GoP com 16 quadros, e com 3 quadros B consecutivos.

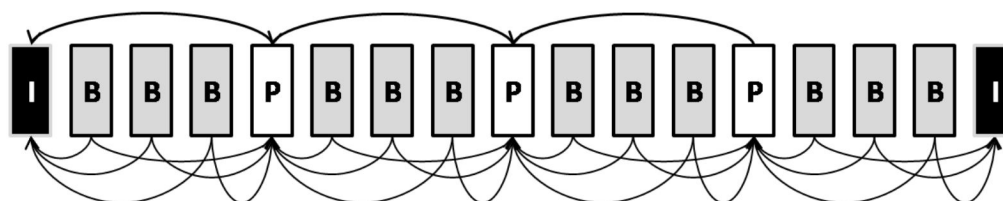


Figura 5 - Quadros de um GoP G16-B3

2.1.1.4 Codificação de vídeo com taxa de *bit* variável (VBR)

Os padrões MPEG utilizam uma taxa de *bit* variável para codificação do vídeo. A codificação VBR (*Variable Bit Rate*) é frequentemente preferida sobre codificação com taxa de *bit* constante (CBR – *Constant Bit Rate*) devido à eficiente utilização de redundância entre quadros consecutivos. Esta redundância temporal é explorada usando quadros do tipo P, os quais contêm principalmente a informação de movimentação e compensação por predição de erro entre o quadro de vídeo atual e o referenciado. Deste modo, o uso de quadros P resulta em significativo ganho na compressão.

Em geral, os quadros do tipo I têm efeitos desfavoráveis no desempenho das redes. O motivo é que eles usualmente requerem maiores taxas de *bit* que os outros quadros do tipo P ou B, resultando numa sequência de vídeo com mais rajadas. Este fato dificulta a multiplexação, traz sobrecarga de *buffer*, além de gerar grandes atrasos na rede (FIDLER,2007). O quadro do tipo B tem a maior variabilidade entre os tipos de quadros. Em sua composição, ele representa as diferenças entre dois quadros, caso as diferenças sejam poucas o tamanho do quadro tende a ser pequeno, caso contrário pode aumentar significativamente.

Além da influência natural do tamanho dos quadros, a formação do GoP também afeta a variabilidade da sequência de vídeo. Para codificadores que utilizam maiores sequências de quadros B consecutivos - H264/AVC – a variabilidade da sequência tende a ser maior, acentuando ainda mais a característica taxa de *bit* variável. Na codificação VBR uma variedade de parâmetros é extraída para identificar a sequência de vídeo, citando, a taxa média e de pico (rajadas), desvio padrão e modelos estatísticos. Diferentemente do CBR que necessita simplesmente da informação da taxa de *bit* constante (CBR).

2.1.2 MPEG-2

O MPEG-2 é muito popular em aplicativos de DVD e na primeira geração de TV digital de alta definição (HDTV). O padrão incorpora três técnicas de compressão: codificação preditiva, codificação baseada em transformada e codificação de entropia. Os módulos de construção do codificador MPEG-2 consistem em: estimação de movimento, transformada discreta de cosseno (DCT), quantização (Q), e codificação de comprimento variável (VLC), conforme apresentado na Figura 6.

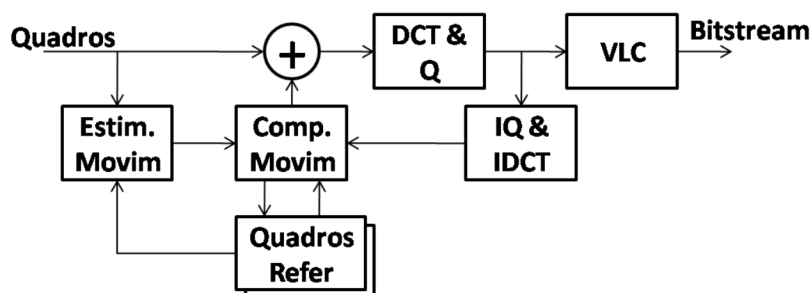


Figura 6 - Codificador MPEG-2

A Figura 7 apresenta o decodificador. Em relação ao codificador ele apresenta algumas operações inversas ou reversas. A sequência de dados é recebida, então são aplicados os módulos VLD e IQ, em seguida o IDCT e por fim a compensação de movimento juntamente com a avaliação dos quadros de referência permite que o quadro seja reconstituído.

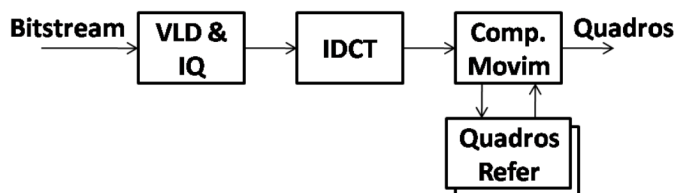


Figura 7 - Decodificador MPEG-2

Devido à correlação temporal entre *pixels* da sequência de vídeo, o MPEG-2 usa predição por compensação de movimento, onde somente as diferenças entre a imagem original e a de predição são codificadas, conforme já apresentado na Figura 4. Como todos os elementos numa cena de vídeo são espacialmente deslocados numa forma aproximada, o movimento entre os quadros pode ser descrito por um número de parâmetros de movimentação. O vetor de movimento representa a direção e o movimento ocorrido em um bloco. Em geral, um ou dois vetores de movimento são estimados, codificados e transmitidos para cada macrobloco (16x16 *pixels*). As operações básicas de compensação de movimento são carregadas, adicionadas e armazenadas. Em seguida são estimadas as diferenças e as informações pertinentes dos blocos são armazenadas no quadro que é inserido no *buffer* do decodificador. No módulo de compensação de movimento as operações têm menor complexidade de tratamento. Para o processo de interpolação a média é requerida.

Na codificação baseada em transformada, a imagem é transformada em uma representação mais compacta (transformada discreta do cosseno (DCT)). Como existe redundância espacial entre *pixels* adjacentes, as parcelas de energia

dos sinais são compactadas em pequenos coeficientes após a transformação da DCT. Na codificação de entropia, os coeficientes diferentes de zero são codificados usando um código de comprimento variável (VLC). Normalmente é feita uma varredura em busca de coeficientes diferentes de zero para analisar sua ocorrência estatística. Dada a probabilidade de ocorrência, o VLC normalmente reduz o número de *bits* necessários para codificar uma sequência de símbolos. A Figura 6 e a Figura 7 representam os módulos do codificador e decodificador detalhados nesta seção (HOLLIMAN,2003).

2.1.3 MPEG-4

O padrão MPEG-4 apresenta complexidade computacional relativamente baixa se comparado à dificuldade na construção de sistemas com H.264/AVC. A maioria dos sistemas quando está sendo projetado necessita de um conjunto de especificações. Em geral, este conjunto é definido de acordo com a complexidade dos receptores. Por exemplo, dispositivos sem fio, devido à mobilidade e preço, exigem baixa complexidade para o funcionamento, recomendando assim, o MPEG-4 (CERNUTO,2002). Este padrão é indicado para projetos que exigem multimídia interativa, especialmente vídeo conferência, distribuição sobre *Internet* e aplicações similares utilizando pequena largura de banda, com no máximo 4 Mbps (CHODOREK,2002).

A codificação do vídeo MPEG-4 diferentemente do MPEG-2 é baseada no tratamento de objetos. Deste modo, uma das vantagens do formato é que ele multiplexa áudio e vídeo e os trata como objetos que podem ser facilmente manipulados. O algoritmo de compressão, assim como em outros padrões da família MPEG e a redução dos dados do vídeo é realizada em função da redundância espacial e temporal. A redundância espacial aplica transformadas (DCT) e entropia enquanto a temporal reduz por predição (CHODOREK,2002).

No MPEG-4, assim como no MPEG-2, uma sequência de vídeo é dividida em grupo de imagens (GoP), quadros (uma imagem), macrobloco e bloco. O blocos no MPEG-4 podem ter formas diferentes da quadrada utilizada no MPEG-2. Conforme já citado, o grupo de imagens (GoP) é composto de todos os quadros presentes entre dois respectivos quadros tipo I, onde o primeiro quadro é o de referência. Conforme apresentado anteriormente, o GoP do vídeo MPEG-4 é formado de três tipos de quadros (LOMBARDO,1998):

- Quadro I (*Intracoded frames*): referência para as outras imagens. Podem ser decodificados sem precisar de nenhum outro quadro. A taxa de compressão é de uma imagem JPEG, a menor de todos os tipos de quadros. O tamanho de um quadro tipo I fica em torno de 1kB.
- Quadro P (*Predictively coded frames*): requer informação do quadro I e/ou quadro P para codificar e decodificar. Por redundância temporal, os arquivos dos quadros P têm taxas mais altas de compressão que o quadro I. Tamanho aproximado de 300B.
- Quadros B (*Bidirectionally predictively coded frames*): requer informação do quadro anterior e posterior seja ele do tipo I ou P para ser codificado e decodificado, tem a mais alta taxa de compressão. Tamanho 150B.

O tamanho do GoP é ajustado para cada aplicação, valores típicos para períodos intra GoP são de 12 a 24 quadros. O tamanho do GoP determina a taxa de compressão final de uma seqüência de vídeo e o impacto na reconstrução dos quadros. Um GoP de comprimento longo apresenta menos quadros codificados do tipo I que B e P, assim resulta numa menor taxa de *bit* se comparado a um vídeo com um menor tamanho de GoP. Por outro lado, como os quadros I são independentemente codificados, a decodificação de um quadro I permite a restauração do vídeo mais facilmente em caso de falha. Outros fatores que influenciam a taxa de compressão são a redundância espacial e temporal (vídeos com grande parte das imagens estáticas (telejornal por exemplo) têm muitos macroblocos e blocos com composição similar, o que resulta numa taxa de *bit* mais baixa que filmes de ação que normalmente tem alta variabilidade). Sendo assim, não somente a resolução e o tempo total do vídeo influenciam na alocação de recursos necessários para transmissão e reprodução do vídeo com qualidade aceitável, mas também seu conteúdo, codificação, construção e composição.

2.1.4 H264/AVC

Vários órgãos de padronização e indústria têm adotado o H264/AVC, tais como *DVB*, *ATSC*, *3GPP*, *3GPP2*, *MediaFLO*, *DMB*, *DVD Forum (HD-DVD)*, e *Blu-Ray Disc Association (BD-ROM)*. Em paralelo, a introdução de IPTV sobre redes de alta velocidade (ótica, ADSL2+/VDSL2) e tecnologias móveis tem ganhado espaço. Atualmente, IPTV, TV em dispositivos móveis e TV via satélite são consideradas

aplicações-chave, fazendo com que o codificador de vídeo H264/AVC seja dominante nas áreas de difusão e mercado de consumo (VAN DER AUWERA,2008).

O padrão H.264 é conhecido também como MPEG-4 parte 10 (AVC – *Advanced Video Coding*). Ele é o mais recente padrão de codificação de vídeo e potencialmente tem baixa taxa de *bit*. Utilizados em aplicações em tempo real têm grandes avanços na eficiência de codificação e baixo atraso fim-a-fim. A Figura 8 apresenta o diagrama do decodificador do padrão.

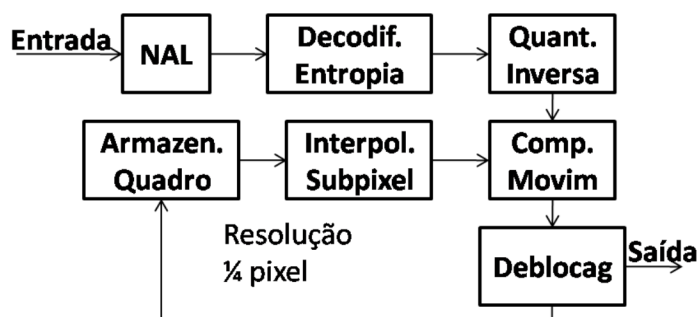


Figura 8 - Diagrama do decodificador H264

Fonte: (HOLLIMAN,2003)

O esquema de codificação definido no H.264 é similar aos empregados na codificação dos vídeos dos outros padrões MPEG. Em sua composição, ele inclui o uso de translação de bloco (baseada em compensação de movimento), DCT, quantização escalar, varredura e codificação de entropia VLC (HOLLIMAN,2003). Novos conceitos e algumas funcionalidades adicionais diferenciam o H264 dos predecessores. Primeiro, o modelo de compensação de movimento é mais flexível e eficiente que os anteriores. Por exemplo, múltiplos quadros de referência podem ser usados para predição, permitindo predição de movimentação compensada proveniente do quadro mais recentemente codificado. Diferentes tipos de tamanho de blocos de compensação de movimento podem ser usados para compensação nos macroblocos (16x16, 16x8, 8x16, 8x8, 8x4, 4x8, 4x4, conforme ilustrado na Figura 9) (VAN DER AUWERA,2008) (ITU-T,2005) (ALVAREZ,2005).

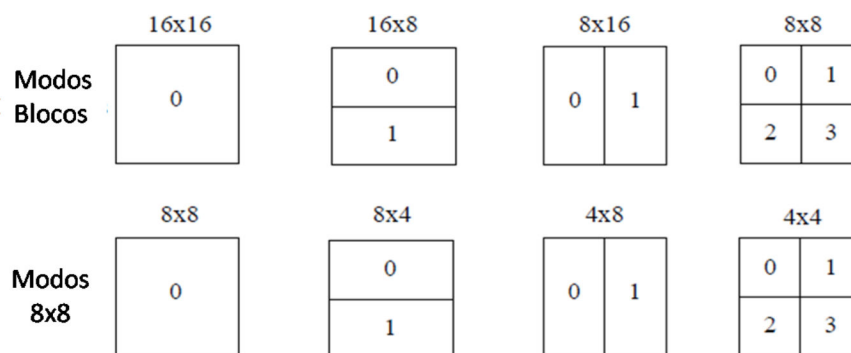


Figura 9 - Modelos de blocos

Fonte: (HOLLIMAN,2003)

Para estimação de movimento podem ser usados vetores individuais de movimentação (4×4 pixels) aumentando a precisão em áreas de grande detalhamento de informações. A resolução mais alta do vetor de movimento é também especificada no modelo de predição de movimento. A interpolação no nível de *subpixel* é utilizada para fornecer dados espaciais mais precisos (HOLLIMAN,2003).

O aumento na complexidade do algoritmo de decodificação traz uma exigência maior da capacidade de processamento. Por exemplo, um conteúdo de vídeo na resolução 720×480 e taxa de compressão equivalente é codificado nos padrões H264 e MPEG-2. Os vídeos nos dois padrões são processados num computador com processador *Pentium 4* (3,06GHz). Na avaliação do vídeo H264, a banda consumida é de 1,5Mbps e são processados 40 quadros por segundo. Já utilizando o MPEG-2 a banda consumida é de 3 Mbps, mas o computador consegue processar 315 quadros por segundo. A conclusão é que o algoritmo H264 tem eficiência na redução da utilização de banda, mas seu processamento utiliza um montante de recursos bem superior quando comparado ao MPEG-2 (HOLLIMAN,2003). Em linhas gerais, a tecnologia de compressão de vídeo H264/AVC traz complexidade, mas representa uma redução de até 50% na taxa média de *bit* se comparada ao MPEG-2 e de 30% comparando com o MPEG-4 com a mesma qualidade de vídeo e parâmetros de codificação (ITU-T,2005). Deve-se observar que para efetiva comparação, as condições dos codificadores, resolução, quantização e outros parâmetros devem ser equivalentes, caso contrário a comparação não é eficaz. Caso um vídeo H264 seja codificado para obter uma taxa de compressão menor que aquela usada para o vídeo MPEG-4, mesmo que seja usada a mesma fonte de vídeo, o resultado pode apresentar o MPEG-4 com taxa

média menor. Logo, para obter uma comparação eficiente entre padrões de vídeo é necessário aplicar as mesmas condições e configurações nos codificadores.

Conforme informado nas seções anteriores (Figura 5), nos padrões MPEG-2 e 4 é permitido a utilização de um quadro de referência (I ou P) prévio para predição de blocos do quadro P atual e um quadro de referência (I ou P) prévio para o quadro de referência (I ou P) posterior e assim obter a predição de blocos do quadro B. Deste modo, o peso para predição do quadro B é igualmente dividido entre os quadros de referência. De forma similar, para predição do quadro B, dois quadros são selecionados como referência, mas há duas listas que podem conter múltiplos quadros de referência. Um bloco é selecionado do quadro em cada uma das duas listas de referência que podem ter pesos diferenciados.

A característica de referência múltipla é de extrema importância na formação da estrutura do grupo de imagens (GoP). Uma estrutura básica pode ser denotada por G16-B1 (IBPBPBPBPBPBPBPB), a qual tem 16 quadros, com 1 quadro tipo B entre quadros do tipo I ou P. Já a estrutura G16-B3 tem 16 quadros, com 3 quadros B entre quadros do tipo I ou P (IBBBPBBBPBBBPBBB), do mesmo modo G16-B7 tem a sequência IBBBBBBBPBBBBBBB (16 quadros, com 7 quadros B entre quadros do tipo I ou P) e num último extremo, a estrutura G16-B15 tem um quadro do tipo I, referência do GoP, e 15 quadros B sucessivos (IBBBBBBBBBBBBBBBB). Por ser uma característica nativa do H264, essa forma de montagem do GoP permite que ele trate melhor maiores sequências de quadros B do que no MPEG-4. Porém, quadros B apresentam maior variabilidade – o coeficiente de variação (desvio padrão normalizado pela média) do tamanho de quadros atinge níveis próximos a 2,4 para o H264/AVC enquanto não excede 1,5 com o MPEG-4. Para avaliar o impacto do formato de GoP, é realizada a variação para vídeos de mesmo conteúdo. Caso necessário, uma solução para diminuir a variabilidade seria a aplicação de suavizadores, mas com o ônus de inserir atraso ao sistema (VAN DER AUWERA,2008).

2.2 Comparação dos padrões de vídeo MPEG

O grupo MPEG tem definido padrões de áudio e vídeo, incluindo o MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 e H.264/AVC. A Tabela 1 mostra o resumo das informações já apresentadas nas seções anteriores. Os detalhes adicionais podem ser encontrados

nos trabalhos de Bortoleto (2005), Alvarez (2005), Holliman (2003), Changgui (1998) e Xuyong (2000).

Tabela 1. Padrões de áudio e vídeo MPEG

Padrão	Informações
MPEG-1	<ul style="list-style-type: none"> • Criado em 1991 para codificar vídeos inteiros. • O MP3 é a camada 3 de áudio do MPEG-1. • Taxas de bits de 1,5 Mbps • Resolução de 352x240 pixels • 2 horas de gravação gera 1 GB de dados
MPEG-2	<ul style="list-style-type: none"> • Padrão utilizado em aparelhos de DVD. • Taxa de bits variando entre 3Mbps a 100 Mbps. • Resolução de até 1920x1024 pixels.
MPEG-3	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecido para ser utilizado na televisão de alta definição (HDTV). • Por atender as necessidades o MPEG-2 acabou sendo adotado.
MPEG-4	<ul style="list-style-type: none"> • Surgiu para ajustar-se melhor à <i>Internet</i>. • Qualidade superior com uma taxa de <i>bits</i> muito menor. • Elementos transmitidos separadamente e combinados para formar o quadro do vídeo.
MPEG-7	<ul style="list-style-type: none"> • Padrão para descrição de objetos multimídia. • Não é um formato de codificação de vídeo.
MPEG-4	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecido como H264/AVC
Parte 10	<ul style="list-style-type: none"> • Alta variabilidade • 50 kbps a 20 Mbps

Para cada aplicação de vídeo é definido uma resolução que de uma forma imediata e de alto nível classifica os vídeos. A Tabela 2 mostra as resoluções utilizadas em vídeos MPEG (FENIMORE,2004) (ALVAREZ,2005).

Tabela 2. Resoluções de vídeos MPEG

Formato	Resolução (pixels/quadro)	Padrão MPEG	Taxa de compressão de bit	Aplicação
QCIF (<i>Quarter</i> CIF)	176x144	MPEG-2/4 H264/AVC	50-1000 kbps	Vídeo para disp. Móvel
CIF (<i>Common Intermediate Format</i>)	352x288	MPEG-2/4 H264/AVC	128-1000 kbps	Vídeo conferência
SD (Padrão)	720x486 720x586	MPEG-2/4 H264/AVC	1-2 Mbps	DVD
HD	1920x1024	MPEG-2		HDTV

Formato	Resolução (pixels/quadro)	Padrão MPEG	Taxa de compressão de bit	Aplicação
(Alta definição)	1080x720			
HD	1280x720	MPEG-		HDTV
(Alta definição)	1920x1080i	4/H264/AVC	2-8 Mbps	HD-DVD
	1920x1080p	Entrelaçado	8-20 Mbps	Blu-Ray
		Progressivo		

2.3 Conclusão

Em linhas gerais, o MPEG é o padrão de vídeo de maior popularidade em sistemas multimídia. Uma de suas principais características é a composição do trecho de vídeo por diferentes tipos de quadros. O método de codificação e compressão apresentam ganhos significativos devido às propriedades de redundância espacial e temporal. O vídeo digital MPEG é codificado aplicando as propriedades de redundância espacial e temporal em três tipos diferentes de quadros (tipo I, P e B). O resultado do processo é a codificação VBR, a qual oferece economia de recursos por um lado, mas em contrapartida impõe alta variabilidade no tamanho dos quadros do vídeo resultante da codificação. A codificação VBR apresenta grande variabilidade, essa característica implica dificuldade na obtenção dos recursos necessários para reprodução dos vídeos MPEG-2, MPEG-4 e H264. Esta propriedade impõe que sistemas disponibilizem um montante expressivo de recursos que ficarão subutilizados na maior parte do tempo. Para obter um melhor detalhamento do comportamento do vídeo, é necessário obter um conjunto de informações que determinem as exigências e os limitantes do vídeo com o objetivo de conseguir a caracterização do vídeo digital MPEG e utilizar esses dados para levantamento de recursos, dimensionamento e comportamento de um sistema de vídeo digital. No capítulo 3 serão apresentados os métodos caracterização de vídeos MPEG e os parâmetros resultantes.

3 ABORDAGENS PARA CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO DIGITAL

O vídeo digital tem uma série de particularidades, em especial o MPEG, que devido ao método de codificação empregado, apresenta alta variabilidade no tamanho dos quadros. Esta propriedade aumenta a dificuldade do processo de levantamento de recursos necessários para reprodução do vídeo. Outra necessidade comumente encontrada em vídeos é um método que proporcione a classificação do vídeo. Para auxiliar nestas tarefas, uma das técnicas que pode ser utilizada é a caracterização de vídeos. Este capítulo destina-se à apresentação das diversas técnicas de caracterização de vídeo, seus atributos, limitações e aplicações. Na primeira seção são explanados os detalhes sobre as necessidades da caracterização. Em seguida, os diversos tipos de caracterização e aplicação são apresentados.

3.1 Finalidade da caracterização de vídeo MPEG

Para construção de um sistema de vídeo digital são necessários conhecimentos sobre as propriedades dos dados que estão sendo processados. Em geral, as análises não avaliam as características particulares do vídeo para estimativa e reserva de recursos. A principal razão é que o vídeo precisaria ser individualmente caracterizado, o qual claramente reduz escalabilidade dependendo do número de vídeos. Conseqüentemente, a maioria dos projetos de sistema de vídeo tem embasamento somente no limitado conhecimento sobre dados de entrada do vídeo (resolução, tamanho, codificador). Analisando um trecho de vídeo digital é possível observar que as características do vídeo codificado são influenciadas fortemente pelas propriedades: resolução, movimentação e tipo de conteúdo, qualidade e técnica de codificação. Esses fatores influenciam diretamente atributos como taxa média de *bits*, taxa de pico, rajada, duração de taxa de pico e por consequência as exigências desses fatores sobre o sistema de reprodução do vídeo (NAYAK,1996).

Conforme citado no capítulo 2, o vídeo MPEG é codificado com taxa de *bit* variável (VBR), esta propriedade faz com que o tamanho dos quadros tenha alta variabilidade. Alguns trabalhos buscam caracterizar o impacto das rajadas de um

tráfego VBR em vídeos sob demanda e transmissão ao vivo (MERWE,2002). Os resultados mostram que o valor de taxa de pico foi aproximadamente 30 vezes maior que a taxa média. A obtenção desta característica é muito importante, pois impacta significativamente o processo de alocação de recursos, visto que a maioria das alocações é realizada pelo cenário de pior caso.

Em vídeos H264/AVC a variabilidade tende a ser maior. Devido à eficiência do padrão em trabalhar com grandes sequências de quadros consecutivos do tipo B (quadros com maior variabilidade). O resultado da grande variação no tamanho de quadros é um alto desvio padrão do trecho de vídeo (tendendo a 3). Neste caso, se a alocação de recursos for baseada no cenário de pior caso, o processo não se mostra eficiente. Deste modo, é pertinente encontrar uma técnica que caracterize e possibilite a redução dos recursos exigidos mantendo a qualidade do vídeo. Nesta linha, o estudo de Gringeri (1998) mostra que alguns processos de caracterização podem ser realizados antes da codificação para aperfeiçoar a utilização de recursos. Na análise é determinada a frequência de mudança de cenas e o grau de movimentação dos objetos da imagem (grandes influenciadores na codificação). O conjunto de dados é usado para caracterizar o vídeo e tomar medidas que aperfeiçoem o processo de codificação. No trabalho de Kimura (1999) é realizada a avaliação da perda de quadros e o impacto na degradação da qualidade de vídeo. A técnica usada permite dividir o vídeo em camadas e priorizar o quadro com base na relação sinal ruído (SNR) realizando o descarte dos quadros menos importantes para o trecho de vídeo, o objetivo é reduzir a utilização de recursos. Conforme demonstrado, a propriedade de alta variabilidade do vídeo MPEG dá condições de reduzir significativamente a alocação de recursos, isto é, tamanho de filas, largura de banda, processamento. Para isso, é necessário que seja feita uma análise e caracterização do vídeo e da economia de recursos quando se admitem pequenas perdas de quadros do trecho de vídeo. Nas próximas seções serão apresentados métodos e técnicas utilizados na caracterização de vídeos MPEG.

3.2 Caracterização por semântica e detecção de artefatos

A classificação de vídeos de acordo com o conteúdo é uma das aplicações da caracterização de vídeos. Isto é, encontrar conexões entre as características que indique o gênero do vídeo apresentado. Alguns estudos apresentam métodos de

caracterização de conteúdo ao estabelecer dependência com atividades de movimentação ou na detecção de artefatos que possam identificar o tipo de vídeo. Nesta seção serão apresentados métodos utilizados para classificação de vídeos através de conteúdo.

O resultado das técnicas de caracterização de vídeo pode ser usado em sistemas em tempo real para análise e gerenciamento de conteúdo de vídeo. A detecção de cortes de vídeo e a transição são aplicadas em métodos de identificação de conteúdo de vídeo. No trabalho de Undheim (2007) é apresentada uma técnica que analisa os *slices* da sequência de vídeo. Assim é possível identificar mudanças de cena através da verificação dos tamanhos dos quadros/GoP comparando com seus adjacentes (quadros-chave). Para extração dos cortes, o vídeo é segmentado, os quadros-chave são extraídos pela composição de coeficientes DCT, os blocos DCT são detectados, em seguida eles são classificados e as regiões mais representativas são utilizadas para identificação – baseado no tamanho do objeto mais significativo. Para caracterização de conteúdo é admissível analisar a variação de taxa de corte ou a constatação de corte brusco ou gradual (HAORAN,2003). A detecção de mudança abrupta é uma das estratégias para realizar a segmentação de trechos de vídeos, conforme apresentado na Figura 10 (EWERTH,2004) (DE LA CRUZ,1999).

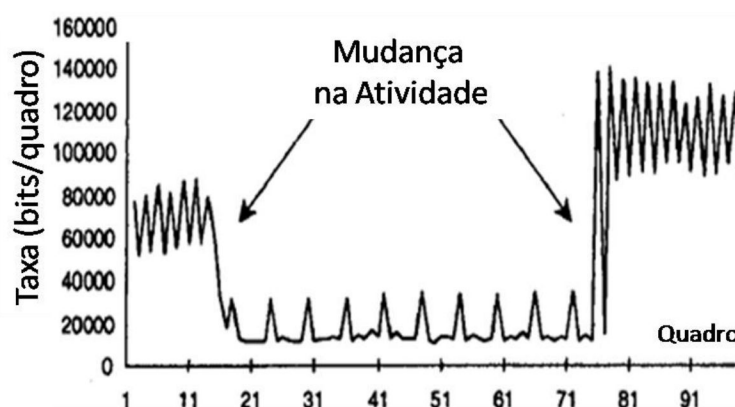


Figura 10 - Diferentes níveis de atividade em uma sequência MPEG

Caso haja uma baixa taxa de corte ou mudança de atividade, normalmente a programação tem pouca mudança na cena – programa de entrevistas, telejornais. Em contrapartida, altas e frequentes taxas de cortes representam sequências de grande movimentação – filmes de ação, esportes ou comerciais. Os comerciais são detectados em segmentos com taxa de corte de 10 a 80 quadros. Outra característica relacionada a comerciais refere-se à identificação de quadros

monocromáticos (uniformes em cor e intensidade) ou pretos. A detecção do quadro monocromático é realizada testando as regiões do quadro e verificando a uniformidade e em seguida as próximas regiões são testadas até que se confirme a detecção do quadro (DIMITROVA,2000).

O MPEG-7 tem a particularidade de trabalhar com descritores, alguns deles permitem a identificação de *close-ups* (PEKER,2000). A detecção de descritores de movimentação resulta na percepção de dois tipos de atividade nas cenas: atividade monótona e não-monótona, esta análise é realizada através do vetor de movimento. Com o método a sequência de vídeo pode ser dividida em trechos (âncora, história, seção de esportes) (PEKER,2000). A Figura 11 apresenta a indicação de diferentes trechos e a atividade de movimentação das cenas. Os impulsos no nível de movimentação são obtidos através de descritores de atividade e movimentação e podem representar que houve *zoom* ou *close-up* na cena.

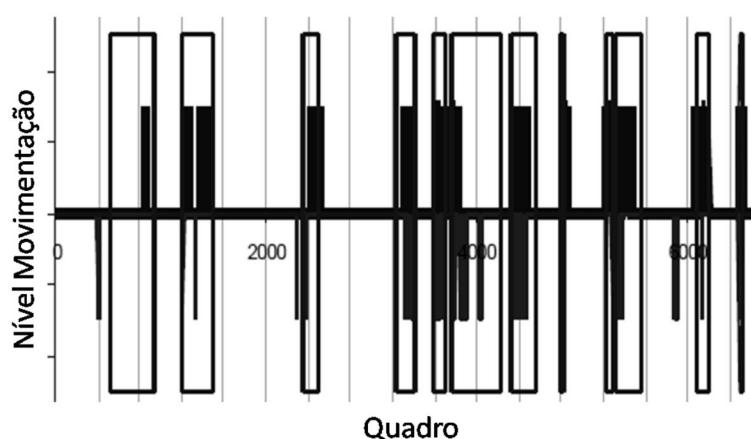


Figura 11 - Movimentação de cena em trechos de vídeo

Para facilitar a descrição do conteúdo de cena, algumas técnicas indicam que sessões longas de vídeos não-homogêneos podem ser decompostas em pequenos trechos de vídeos homogêneos. Por exemplo, no trabalho de Onsi (2008), é sugerido um período de sessão de dez segundos. Uma das formas usada para decomposição dos trechos é através da aplicação de diferentes classes de textura e movimentação da imagem (ADAMI,2003) (IYENGAR,1996). Os níveis de textura e movimentação podem ser: baixo (L), médio (M) e alto (H). A mudança na textura indica mudança de cena (DAWOOD,1999).

A extração de informações de áudio e vídeo pode ser usada para criar uma marca e fazer um breve resumo do conteúdo. Em Yan (2006) é feito o relacionamento entre o conteúdo de vídeo, a representação de modelos gráficos e a

semântica. Vários trabalhos exploram a detecção de objetos, estruturas relevantes e palavra-chaves no áudio para classificação de vídeos. O procedimento utilizado caracteriza a linguagem (identificação de palavra-chaves), segmenta a cena (através da detecção de mudança de cena), analisa a movimentação de câmera (distinção de vetores de movimentos de objetos), e por fim executa a detecção de faces e textos. Algumas ferramentas, como alguns *plugins* para o *VirtualDub* podem fornecer categorização de imagens detectando: quadro chave, caracterização de movimento, detecção, reconhecimento, caracterização de face e ainda a extração de texto (GAGNON,2006). O resultado da aplicação dos métodos é a identificação de cenas de introdução (cena com artefato determinante), cenas similares (através de histograma obtém-se similaridade da cena), sequências curtas, movimentos de objetos, movimento limitado de câmera, captura de faces humanas, áudio significativo, vídeo em escala de cinzas. De modo geral, vários artefatos podem ser extraídos de uma sequência de vídeo e auxiliar na identificação de conteúdo: movimentação de câmera, reconhecimento de cortes, *zoom*, movimentação de objetos, estimação de movimento, particionamento de vídeo (BOUTHEMY,1996) (KIM,2000). Kim (2004) apresenta que a detecção de *zoom*, rotação, ângulo, movimento do objeto e movimento estático podem ser feitas com análises dos quadros e segmentos do vídeo.

Normalmente, os algoritmos de caracterização apresentam diferentes níveis de dificuldade e necessidades de informação. Alguns algoritmos de comparação entre quadros I precisam de oito parâmetros. No caso de detecção de mudança gradual de cena são necessários sete parâmetros. Para detectar cortes através de quadros do tipo B, dois parâmetros são suficientes (ONSI,2008). Para utilizar *chi* quadrado na detecção de corte e transição gradual, quatro parâmetros são suficientes (GARGI,1998) (GARGI,2000). Além disso, modelos empíricos podem auxiliar na classificação de tipos de cena. Em Harit (2007) é aplicado o processo de separação do vídeo em trechos, extração de primitivas visuais, obtenção do período de tempo em que há espaço de imagem homogêneo, algoritmo de percepção de tipo de grupo e categorização da cena em grupos. Baseado num padrão de detecção é possível identificar movimentos de objetos ou a identificação de um jogador numa partida de futebol ou ténis.

A detecção de textos em vídeos MPEG é uma ferramenta de auxílio para identificação de conteúdo. A forma de extração pode ser de dois modos: texto em

cena ou texto artificial. Para texto em cena, aplicam-se técnicas de detecção de bordas de blocos e possíveis mudanças de regiões – textos podem ser identificados pela aplicação de uma máscara 3x3 com detecção de borda (DIMITROVA,2000). O modo de textos artificiais (inseridos na edição) tem maior importância no campo da detecção de artefatos de texto. A extração dos textos é importante na obtenção de informações que ajudam na caracterização do conteúdo de vídeo (GU,2001). Um exemplo de aplicação direta é na identificação de artefatos e painéis de placar de uma partida de futebol (WENLONG LI,2006).

A caracterização de vídeos através de semântica, detecção de artefatos ou mudança de cena são métodos que parecem fornecer uma grande possibilidade de aplicação na classificação de vídeos relacionando gênero e variabilidade. Deste modo, a detecção de artefatos viabiliza identificar o gênero ou conteúdo do vídeo.

3.3 Caracterização pelo tráfego de vídeo

Nas últimas décadas, muitas das iniciativas relacionadas à caracterização de vídeos aplicavam técnicas de modelagem e caracterização de tráfego. Um dos objetivos dos métodos é prover qualidade de serviço em vídeos VBR. Para isto, são necessários mecanismos como reserva de recurso para alocação de largura de banda, definição de espaço em *buffer*. As iniciativas de caracterização e modelagem de tráfego podem ser divididas em dois grupos principais – determinístico e probabilístico. Usualmente os métodos de reserva de recursos em redes oferecem limites determinísticos, baseados nas situações de pior caso, os quais não se mostram os mais eficazes (LIEBEHERR,1996). Neste método a reserva de recurso é baseada na taxa de pico da fonte (rajada) o que resulta na subutilização da rede na maior parte do tempo. Por outro lado, caso os recursos sejam reservados pela taxa média da fonte de vídeo VBR, atrasos inaceitáveis ou perda de pacotes poderão ocorrer nos instantes de maior exigência (WREGGE,1996a). O ponto chave para se ter eficiência na reserva de recursos está na caracterização do tráfego de vídeo. Um serviço determinístico requer uma caracterização de tráfego determinística que provém os limitantes máximos no tráfego de chegada. Caso a caracterização de tráfego seja pessimista em descrever o tráfego, os recursos requeridos de conexão serão superestimados, resultando numa baixa utilização da rede ou do processador (LIEBEHERR,1996).

Na década de 70 foram apresentados os primeiros métodos para modelagem de filas e tráfego em redes de computadores. No final dos anos 80 surge o modelo de largura de banda efetiva, em seguida o *Network Calculus* determinístico e o respectivo probabilístico, no decorrer aparecem algumas evoluções dos métodos conforme o diagrama apresentado na Figura 12 (GULYÁS,2006) (LIEBEHERR,2006).

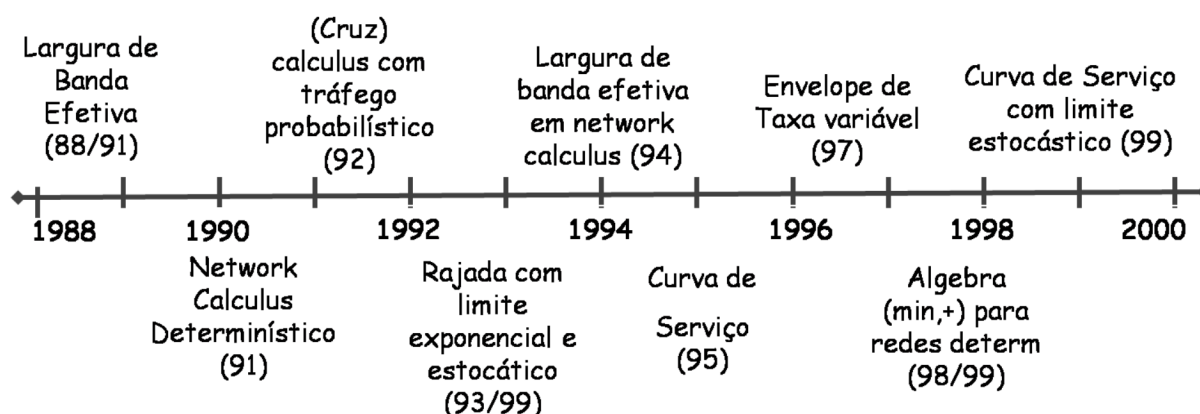


Figura 12 - Histórico de modelagem e caracterização de tráfego

Vários trabalhos foram feitos sobre modelagem e caracterização de vídeo utilizando sequências de vídeo. Em Lombardo (1998) é apresentada a análise de modelagem de grupo de imagens (GoP). O trabalho de Doulamis (1997) trata da análise de multiplexação para fontes de vídeo MPEG. A garantia de banda para vídeos é apresentada por Towela (2001). Já Alvarez (2005) mostra a caracterização e identificação de gargalos em vídeos H264/AVC e a variação do tamanho de bloco devido à compensação de movimento. O estudo de Manzoni (1999) busca cenas de referência para caracterização. E as técnicas *fuzzy* e redes neurais são usadas na modelagem e classificação de vídeos MPEG (trabalhos de Liang (2001) e Ahmed (2004) respectivamente).

3.3.1 Caracterização por análise estatística

A caracterização de vídeo baseado em análises estatísticas pode ser aplicada como modelo de tráfego *online*. As aplicações podem ser em algoritmos de gerenciamento de redes, controle de congestionamento com sistemas de alocação dinâmica, na adaptação da rede às condições correntes e no controle de admissão de conexão para novos vídeos. A operação eficiente no sistema de vídeo através de informações estatísticas do tráfego capturado é demonstrada em Doulamis (2003). Neste trabalho, a predição de dados obteve forte correlação em comparação com

dados da sequência de vídeo analisada. Outro resultado apresentado é relativo à aquisição da probabilidade de perda de quadros em uma transmissão. No caso de modelagem *offline* são aplicados modelos estatísticos para auxiliar na seleção de parâmetros apropriados durante a fase do projeto de sistemas de vídeo digital ou de redes (MARKOV,2002) (DOULAMIS,2003) (DE RANGO,2005). Os modelos estatísticos têm se mostrado úteis e amplamente aplicados em redes de comunicação. Comumente as técnicas são empregadas em modelagem e suavização de tráfego, controle de admissão em redes e ainda na representação do tráfego gerado por uma sequência de vídeo.

Conforme mencionado nas seções anteriores, caso a alocação seja realizada pela taxa de pico da fonte de vídeo VBR, o sistema fica subutilizado na maior parte do tempo (IBRAHIM,1998b). Por outro lado, se a alocação for feita pela taxa média da fonte, os vídeos podem sofrer perda de quadros e atrasos inaceitáveis (especialmente para aplicações em tempo real). Justamente, a análise estatística busca trazer métodos que maximizem a utilização dos recursos caracterizando os dados que estão entre a taxa média e a taxa de pico.

Vários trabalhos têm reportado o impacto das características da sequência de vídeo codificado na tarefa de transporte da rede (MERWE,2002). O vídeo codificado VBR usualmente é caracterizado pelo coeficiente de variação (CoV). Matematicamente o CoV é o desvio padrão normalizado pela média – uma das aplicações é no controle de admissão da rede. Neste sentido, em Van Der Auwera (2008) são apresentados dados comparativos entre padrões de vídeo. Os resultados deste trabalho mostram que o desvio padrão esteve próximo a 2,4 na codificação H264/AVC contra 1,5 do MPEG-4 (parte 2). Comprovando a maior variabilidade da codificação H264/AVC. O estudo conclui que o H264/AVC teve uma perda maior de quadros em comparação ao MPEG-4 quando há pouca disponibilidade de recursos. No processo de caracterização de vídeos proposto neste trabalho, o coeficiente de variação (CoV) apresenta propriedades interessantes para obtenção de dados para composição dos parâmetros – economia de recursos e classificação de vídeos. O CoV pode ser usado para indicar quais vídeos tem maior grau de variabilidade e assim elegê-lo como candidato a admitir pequenas perdas e por consequência economizar recursos do sistema.

Outro método utilizado para modelagem de tráfego VBR é a autocorrelação (SEMRET,1995) (SHAHBAZIAN,2003) (GRUNENFELDER,1991) (MARKOV,2001).

Alguns estudos mostram que existe uma forte autocorrelação entre quadros do tipo I principalmente em pequenos períodos ($t < 125$). Na Figura 13 é apresentada a função de autocorrelação numa série de tempo, os picos da figura representam a autocorrelação entre quadros do tipo I, um pouco abaixo dos picos estão as autocorrelações entre os quadros I e P, o ponto mais baixo mostra a autocorrelação mais fraca – quadros I e B. A análise de longos períodos (tendendo a infinito) é conhecida como LRD (*long range dependency*) e nos pequenos períodos (tendendo a zero) é chamado de SRD (*short range dependency*). Alguns estudos de Yang (2005), Casilari (1998), Kraimeche (1997) e Cackov (2005) fornecem resultados sobre as análises e caracterização utilizando LRD e SRD. É possível verificar que com o aumento do período de amostragem a autocorrelação tende a ficar mais fraca, mostrando não ser um modelo eficiente para grandes períodos - LRD (YANG,2005) (MARKOV,2001). Em vídeos H264/AVC a aplicação da autocorrelação é recomendada somente em pequenos períodos – SRD.

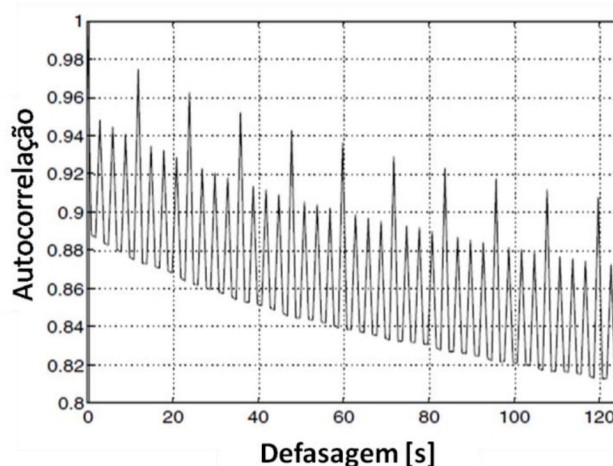


Figura 13 – Autocorrelação em quadros – GoP

Numa outra linha, o artigo proposto por Kweon (1999) recomenda a utilização de um modelo estatístico baseado no histograma da frequência do tamanho de quadros MPEG e a modelagem de filas do sistema (*buffers*) e o processo de chegada de dados modelado em cada *link* por *Poisson*. De modo geral, a distribuição de *Poisson* expressa a probabilidade de que um número de eventos ocorra em determinado período de tempo. Embora alguns parâmetros da característica de vídeo possam ser enriquecidos por *Poisson* ou pelo sistema de filas citado, o ganho principal da aplicação destes métodos está na multiplexação de vários vídeos – o qual não é um dos propósitos diretos deste trabalho.

Outros trabalhos abordam as distribuições estatísticas na caracterização de vídeos MPEG. Jabbari (1993) apresenta um método que avalia o número total de *bits* em cada bloco de um quadro. O resultado do estudo revela que a distribuição normal é a que melhor representa os dados do bloco. De modo semelhante, a distribuição Gaussiana é usada no levantamento de informações sobre o tamanho individual dos quadros I, P e B dentro de um GoP – (AGRAWAL,1997) (IBRAHIM,1998a) (UNDHEIM,2007) (LOU,1997) (MATA,1996). O artigo de Pancha (1992) aponta que os modos de codificação de quadros inter-quadro (compensação de movimento), intra-quadro (DCT), preditivo, interpolativo, determinam o tipo de distribuição que representa o quadro. Os estudos realizados por Chodorek (2000) e Iraqi (1999) mostram que a distribuição Gama é indicada para tráfegos agregados, embora não seja eficiente para todos os tipos de vídeo. Em contrapartida, a distribuição Log-normal é um bom modelo para os subconjuntos dos tipos de quadro I, P e B de um trecho de vídeo MPEG. Em outros estudos é apontado que os quadros do tipo I podem ser modelados pela distribuição Normal, enquanto os quadros P e B pelas distribuições Gama ou Log-normal. As distribuições estatísticas também são utilizadas para obtenção dos modelos que relacionem características do grupo de imagens (GoP). Os trabalhos realizados por Bashforth (1998) e Iraqi (1999) usam análises estatísticas de alguns GoPs para tomar decisões sobre o restante do vídeo. Os resultados de Lombardo (1998) e Cernuto (2002) demonstram que a função de autocorrelação do processo dos quadros I caracteriza também o inter-GoP (modelo que representa os GoPs da sequência de vídeo), de um modo geral representado pela distribuição Gama. Além dos casos citados, a distribuição Gama representa o comprimento das rajadas e vídeos sendo transportados em sistemas sem fio (WANG,2008).

3.3.2 Largura de banda efetiva

A largura de banda efetiva (α) de uma fonte (e) com processo de chegada $A(t)$ é definida conforme a equação (3.1) (GULYÁS,2006):

$$\alpha_e(s, \tau) = \sup_{t \geq 0} \frac{1}{st} \log E[e^{s(A(t+\tau) - A(t))}] \quad \text{for } s < s, \tau < \infty \quad (3.1)$$

O parâmetro τ é conhecido como tempo e indica o comprimento de um intervalo de tempo. O parâmetro s é chamado de espaço e contém informações sobre a distribuição do tráfego de chegada. Geralmente, a largura de banda efetiva

de um fluxo varia entre a taxa média e a taxa de pico do tráfego. Caso os valores de s sejam próximos a zero na equação (3.1), a largura de banda efetiva é dominada pela taxa média do tráfego. Se s tende a infinito, ele é influenciado fortemente pela taxa de pico do tráfego (GULYÁS,2006) (LIEBEHERR,2006).

A largura de banda efetiva de uma fonte de tráfego depende sobretudo de dois parâmetros, espaço e tempo (GULYÁS,2006). O emprego do método pode ser no fornecimento da garantia de serviço e multiplexação estatística (LIEBEHERR,2006). Ele fornece uma medida associada com uma fonte tal que um recurso possa ser entregue com garantia de desempenho expresso em termos de limites de perda ou atraso (GULYÁS,2006).

Conforme apresentado, o método de caracterização de tráfego pela largura de banda efetiva determina um valor que fica entre a taxa média e a taxa de pico de um fluxo conforme representado na Figura 14 (CHENGZHI,2007).

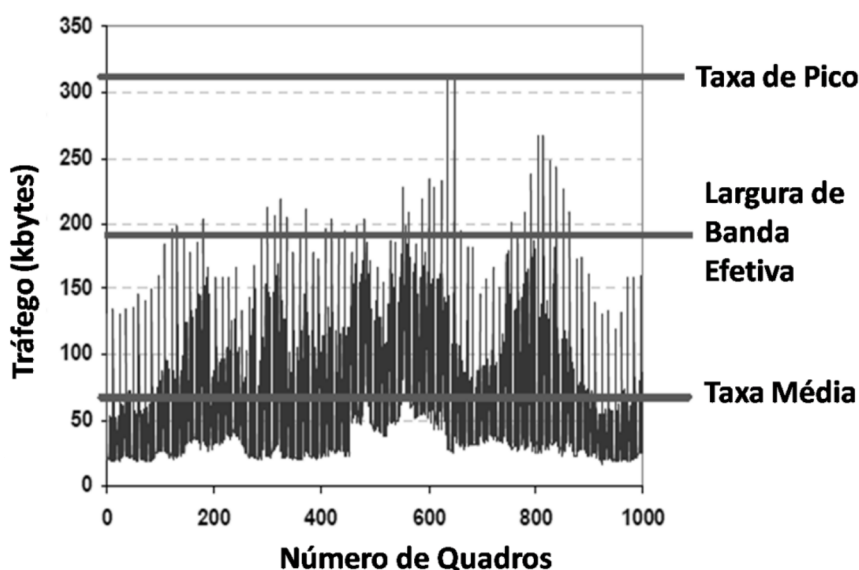


Figura 14 - Largura de banda efetiva

O método traz como resultado a alocação eficiente de recursos, diferentemente do caso determinístico cujos recursos são alocados pelo cenário de pior caso. Porém, um dos pré-requisitos da técnica é a necessidade do conhecimento da distribuição do tráfego de chegada.

3.3.3 Envelope empírico

O envelope empírico E permite a avaliação da máxima utilização para serviços determinísticos do vídeo VBR – que garantam qualidade de serviço. Ele pode ser determinado pela função de tráfego baseado no processo de chegada $A(t)$

num intervalo de tempo t , conforme a equação (3.2) (KNIGHTLY,1995) (WREGE,1996b) (WREGE,1996a).

$$E(t) = \max_{\tau > 0} A[\tau, \tau + t] \quad \forall t > 0 \quad (3.2)$$

Com base no envelope empírico, Zhang (1995), apresenta um método de modelagem de tráfego, conhecido como *D-BIND* (*deterministic bounding interval dependent*). Ele consiste de pares de informação composto pela rajada (σ) e a taxa média de dados (ρ), que servem como limitantes naquele intervalo de tempo. Assim, a taxa pode ser delimitada por um valor menor que a taxa de pico (ZHANG,1995). O D-BIND tem inúmeras aplicações, no trabalho de Henriksson (2007) o modelo é aplicado para análise de desempenho de acesso à memória. Na Figura 15 são apresentadas modelos de curvas D-BIND para três trechos de uma transmissão de vídeo. Conforme é mostrado na figura, no método D-BIND são enviados pares de informação (σ, ρ) com os dados de rajada (σ) e taxa média (ρ) da curva que limita o fluxo de dados para aquele intervalo de tempo (ZHANG,1995) (KNIGHTLY,1994).

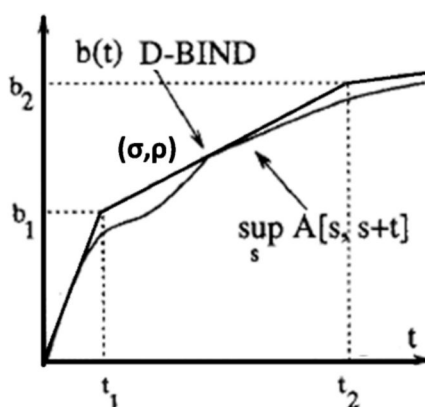


Figura 15 - Caracterização pelo modelo D-BIND

Para escolha de um método de caracterização, três fatores devem ser levados em conta para determinar a eficiência: a precisão que ele proporciona, a simplicidade de sua aplicação e implementação e a velocidade em obter os resultados (LIEBEHERR,1998). Para obtenção do envelope empírico é necessário uma considerável exigência computacional, cerca de 6 horas de análise para um vídeo de 2 horas (TRYFONAS,2004). Deste modo, algumas variações da proposta apresentam um subconjunto que formam um envelope empírico aproximado que pode ser computado rapidamente, reduzindo o tempo para alguns segundos (LIEBEHERR,1996). Tryfonas (2003) apresenta um algoritmo eficiente para levantar

a curva de perda, ou seja, os períodos em que há perdas. Na Figura 16, para análise são coletados apenas alguns pontos, deste modo, diminuindo a complexidade do algoritmo de avaliação. Quando os períodos amostrados ultrapassam a linha pontilhada (ρ), há um período de ocupação.

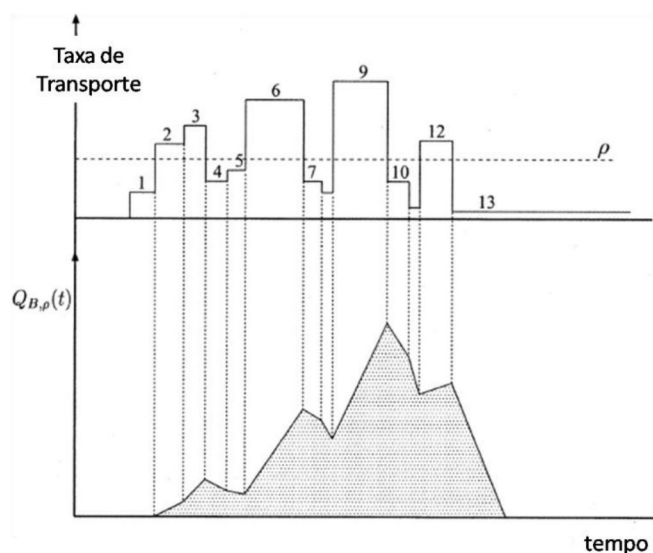


Figura 16 - Modelo aproximado

Fonte: (TRYFONAS,2003)

3.3.4 Envelope efetivo

O envelope efetivo é uma extensão probabilística de um método determinístico. O envelope efetivo para um processo de chegada $A(t)$ é a função não-negativa G para todo t e τ , de acordo com a inequação (3.3) (GULYÁS,2006):

$$P\{A(t+\tau) - A(t) \leq G^\varepsilon(\tau)\} > 1 - \varepsilon \quad (3.3)$$

Para caracterizar a disponibilidade do serviço para fluxos multiplexados é considerada a probabilidade de falha do sistema (ε). O envelope efetivo é usado para obter uma medida probabilística de disponibilidade do serviço ou apresentação sem degradação (GIACOMAZZI,2008). Dada a equação (3.3), devido às propriedades estatísticas, a aplicação do modelo oferece um grande ganho na multiplexação. Conforme apresentado na Figura 17, com o aumento do número de fontes, as características estatísticas permitem que mais vídeos possam ser multiplexados (GULYÁS,2006). O envelope efetivo é uma alternativa interessante para cenários de fluxos multiplexados em que se consideram as características estatísticas do fluxo de vídeo para realização da reserva de recursos.

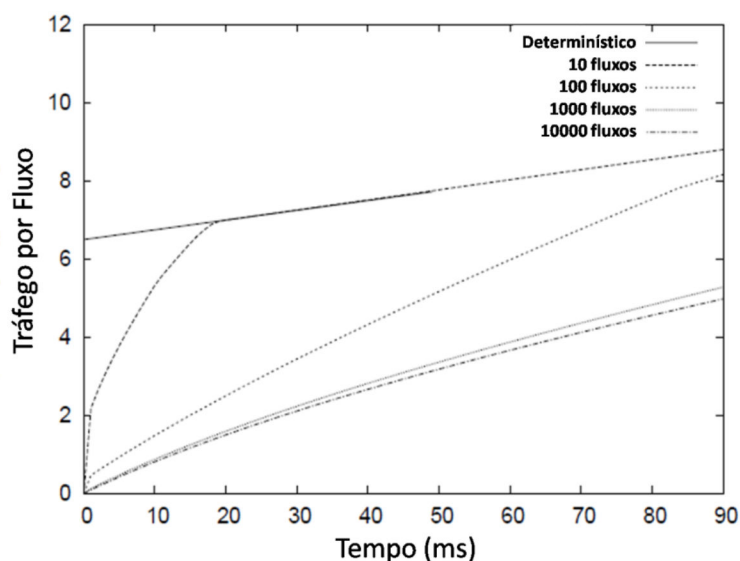


Figura 17 - Envelope efetivo

3.4 Conclusão

Vários estudos têm sido realizados para encontrar formas de caracterização de vídeos MPEG. As iniciativas voltadas para detecção de objetos e semântica visam encontrar métodos que auxiliem na classificação de vídeos por gênero ou conteúdo. As informações extraídas do vídeo para a potencial classificação são normalmente retiradas de textos, objetos, mudança de cenas e artefatos que de alguma forma identifiquem a sequência e que venham ajudar na classificação do vídeo (YAN,2006). Conceitos como alocação de recursos normalmente não são analisados no tipo de abordagem de caracterização por semântica.

Na década de 70 surgem várias propostas de modelagem de tráfego. Um dos principais motivadores para essas pesquisas é o tráfego VBR. Neste caso é analisada a variabilidade do tráfego e o impacto na transmissão. Com o intuito de caracterização e modelagem de tráfego, alguns estudos mostram métodos de dois principais grupos – determinístico e probabilístico. Usualmente os métodos de reserva de recursos em redes oferecem limites determinísticos, baseados nas situações de pior caso (taxa de pico da fonte), os quais não se mostram eficientes, pois a rede fica subutilizada na maior parte do tempo. Em geral, a análise estatística representa a sequência de vídeo através de distribuições estatísticas e a aplicação principal destina-se a modelagem de tráfego (DOULAMIS,2003). A análise probabilística busca trazer métodos que maximizem a utilização dos recursos

caracterizando os dados que estão entre a taxa média e a taxa de pico. No próximo capítulo são apresentadas duas teorias que podem auxiliar no processo de caracterização de vídeos MPEG – *Network Calculus* (NC) e VCC (*Variability Characterization Curves*).

4 AS ABORDAGENS NC E VCC

4.1 Network Calculus

Esta seção contém uma revisão do método *Network Calculus* (NC) – os principais detalhes estão nas referências - Le Boudec (2002 e 2009), Thiran (2001) e Cavalcante (2008). O NC pode ser definido como uma teoria determinística de sistemas de filas comumente encontradas em redes de computadores. Ele caracteriza o serviço e tráfego da rede por parâmetros simples que representam os limites superiores de um fluxo de dados. No caso de redes, NC fornece a caracterização de pior caso em relação ao desempenho. Estes atributos podem ser usados para derivar outros valores de interesse usando uma estrutura algébrica denominada álgebra *min-plus* (LE BOUDEC,2002).

O NC é desenhado para prover informação sobre tamanho da fila (*backlog*) e atraso virtual por unidade de informação (pacotes, *bytes* ou *bits*) entrando no sistema (LE BOUDEC, 2002). Considerando que um sistema ou servidor equivalente (servidor que está resultando de uma combinação de servidores e tráfegos passantes) impõe atrasos para as unidades de informação antes da entrega ao sistema. As unidades podem ser acumuladas dentro do sistema produzindo um tamanho de fila e atraso virtual. Um fluxo de dados ou unidades em NC é caracterizado por uma função cumulativa que descreve um processo de chegada. Note que um processo de chegada pode ser usado para caracterizar ambos, uma entrada (um fluxo entrando no sistema) como um fluxo de saída (o deixando). Sendo assim, o primeiro passo no NC é representar fluxos por funções cumulativas, as quais permitem determinar tamanho de filas e atrasos virtuais.

4.1.1 Modelo para fluxos de dados

4.1.1.1 Funções de entrada e saída

Considerando um nó de um sistema de comunicações em que há um fluxo de entrada $X(t)$ e saída $Y(t)$ e uma curva de modelagem (σ). Deste modo, existe um atraso condicionado pelo número de *bits* no *buffer* num intervalo de tempo $[0..t]$. Na álgebra *min-plus*, o modelo do sistema linear elementar na estrutura algébrica é apresentado na Figura 18 (LE BOUDEC,2002).



Figura 18 - Modelo básico de um sistema NC

Os sinais de entrada e saída são fluxos cumulativos, definido como o número de *bits* visto no fluxo de dados no intervalo $[0..t]$. Estas funções são não-decrescentes no tempo t . O parâmetro t pode ser contínuo ou discreto. A relação entre X e Y é apresentada na equação (4.1) (LE BOUDEC,2002), a qual define a convolução *min-plus* entre σ e X . A convolução será detalhada numa seção subsequente.

$$Y(t) = (\sigma \otimes X)(t) = \inf_{s \in R \text{ tal que } 0 \leq s \leq t} \{\sigma(t-s) + X(s)\} \quad (4.1)$$

A Figura 19 apresenta os possíveis tipos das funções de entrada e saída de um sistema.



Figura 19 - Funções de entrada e saída de um sistema

Fonte: (LE BOUDEC,2002)

As funções de entrada e saída de um sistema podem ser de três tipos (LE BOUDEC,2002):

- Modelo de tempo discreto: $t \in N = \{0,1,2,3,\dots\}$;
- Modelo fluido – função contínua: $t \in \mathfrak{R}_+ = [0,+\infty)$ e R é uma função contínua;
- Modelo de tempo contínuo com descontinuidade de chegada dos pacotes.

4.1.1.2 Funções cumulativas

Considerando um sistema S , visto como uma caixa preta, S recebe dados de entrada e os entrega na saída do sistema, conforme a Figura 20.

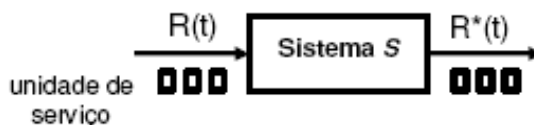


Figura 20 - Funções cumulativas de entrada e saída $[R(t)$ e $R^*(t)]$

A entrada do sistema é vista como um fluxo de dados (*bits*, *bytes*, pacotes, etc) no intervalo de tempo $[0, t]$. Este fluxo é representado pela função cumulativa $R(t)$ (Figura 21), por convenção $R(0) = 0$.

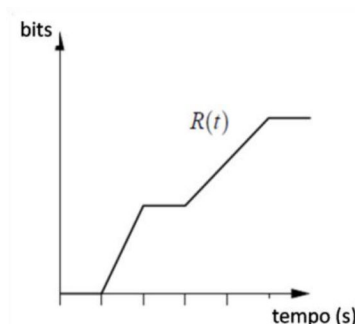


Figura 21 - Função cumulativa

A função cumulativa da saída do sistema S é chamada de função de saída $R^*(t)$. Analisando as duas funções é possível conhecer o atraso inserido pelo sistema. O modelo usado pode ser de tempo contínuo ou discreto. Em sistemas reais há sempre uma mínima granularidade, por exemplo: *bit*, palavra, pacote ou no caso de um vídeo ela poderia ser definida em quadros. Assim, o modelo discreto pode ser assumido como um conjunto finito de valores para $R(t)$. Caso $R(t)$ seja uma função contínua, o sistema é considerado de modelo fluído (LE BOUDEC,2002). As funções cumulativas de entrada e saída permitem computar duas importantes métricas do sistema: tamanho de fila (*backlog*) e atraso virtual.

4.1.2 Tamanho da fila (*backlog*) e atraso virtual

O tamanho de fila (*backlog*) é a quantidade de *bits* que é mantida dentro do sistema. Se o sistema tiver uma única fila (*buffer*), o *backlog* é o tamanho da fila. Em sistemas complexos ele pode ser o número de *bits* em trânsito, assumindo que a entrada e a saída estão sendo observadas simultaneamente (LE BOUDEC,2002).

O tamanho da fila (*backlog*) no tempo t e descrito como $b_x(t)$ é:

$$b_x(t) = R(t) - R^*(t) \quad (4.2)$$

O atraso virtual no tempo t , denotado como $d(t)$, é o atraso que seria experimentado por um *bit* chegando no tempo t , caso todos os *bits* recebidos antes de sua chegada sejam servidos antes dele. O atraso virtual pode ser interpretado como o tempo que o sistema gasta com a tarefa e o tempo de espera para o tratamento. O atraso virtual no tempo t é definido pela equação (4.3).

$$d(t) = \inf\{\tau \geq 0 \mid R(t) \leq R^*(t + \tau)\} \quad (4.3)$$

As propriedades de *backlog* $b_x(t)$ e atraso virtual $d(t)$ podem ser obtidos graficamente através das funções cumulativas de entrada e saída no decorrer do tempo. O *backlog* é diferença vertical entre as funções de entrada e saída. O atraso virtual é diferença horizontal das funções (LE BOUDEC,2002), conforme apresentado na Figura 22.

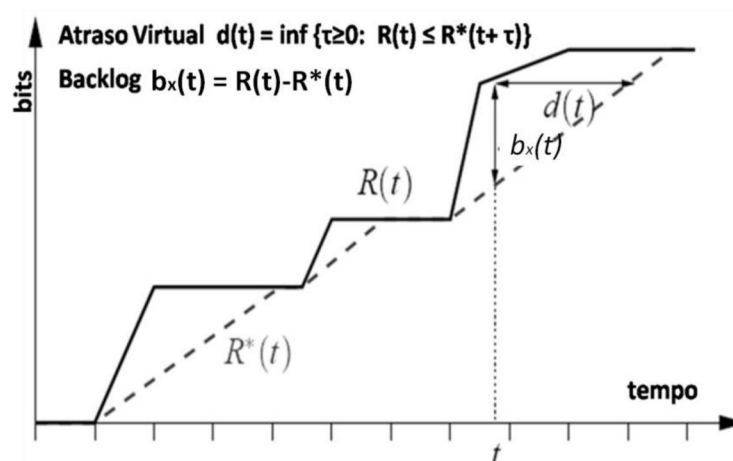


Figura 22 - Funções cumulativas de entrada $R(t)$ (linha sólida) e saída $R^*(t)$ (linha pontilhada) – *backlog* $b_x(t)$ e atraso virtual $d(t)$

Fonte: (LE BOUDEC,2002)

Como descrito acima, *backlog* e atraso virtual podem ser obtidos em função do tempo e a evolução do fluxo de entrada e saída de um sistema. Adicionalmente, estas funções apresentam limites máximos para *backlog* e atraso virtual. No caso do NC, parâmetros como taxa média e rajadas dos fluxos envolvidos influenciam nos valores de *backlog* e atraso virtual. A ideia de aplicar NC para caracterização de vídeos é prover parâmetros que possam descrever apropriadamente os fluxos de dados. Além das funções cumulativas, o *backlog* e o atraso virtual podem ser obtidos através da análise de curvas de chegada e serviço (apresentadas nas próximas seções).

4.1.3 Curvas de chegada

Seja um fluxo de dados R (entrada ou saída de um sistema). Existe uma curva de chegada α , se para todo $s \leq t, R(t) - R(s) \leq \alpha(t - s)$. A Figura 23 apresenta o cenário em que uma função cumulativa $R(t)$ está confinada a uma curva de chegada

$\alpha(t)$. Deste modo, pode ser dito que, R tem α como uma curva de chegada (LE BOUDEC,2009).

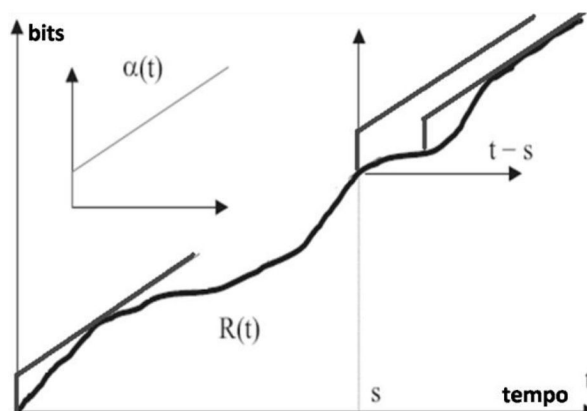


Figura 23 - Função cumulativa e curvas de chegada

Logo, o fluxo R está restrito por α se e somente se para todo $s \leq t$, conforme equação (4.4) é satisfeita (GULYÁS,2006) (LE BOUDEC,2002).

$$R(t) - R(s) \leq \alpha(t - s) \quad (4.4)$$

As curvas de chegada são ferramentas utilizadas na álgebra de *Network Calculus* para descrever o comportamento das requisições de entrada em um sistema (ECKERT,2008) e computar os requisitos mínimos para garantia de atraso e tamanho de *buffer*. Através das propriedades de NC, as curvas de chegada não ficam restritas a um único elemento e podem ser aplicadas a vários elementos de redes (THIRAN,2001).

Uma curva de chegada em particular pode ser definida por $\alpha(t) = rt + b$ para $t > 0$ e 0 caso contrário. Caso, $\alpha(t) = rt$, num intervalo de tempo T , o número máximo de dados é limitado por rT , limitado pela taxa de pico. A taxa é limitada por r *bps* conhecida como taxa de *bits* determinística. Na situação em que $\alpha(t) = b$, com b constante, a curva de chegada passa a significar que o número máximo de *bits* que pode ser enviado é b . Os parâmetros b e r são chamados de tolerância de rajada (em unidades de informação) e a taxa (em unidades de informação por unidade de tempo).

4.1.4 Curvas de serviço

Considerando que um sistema S envia uma sequência $X(t)$ com uma curva de chegada α , conforme demonstrado na Figura 24. Para oferecer garantia de serviço ao fluxo X é definida uma curva de serviço β (função não-decrescente tal

que $\beta(0)=0$), se e somente se para todo $t \geq 0$, a inequação (4.5) é satisfeita (LE BOUDEC,2009) (GULYÁS,2006):

$$R^*(t) \geq \inf_{s < t} \{R(s) + \beta(t-s)\} \quad (4.5)$$

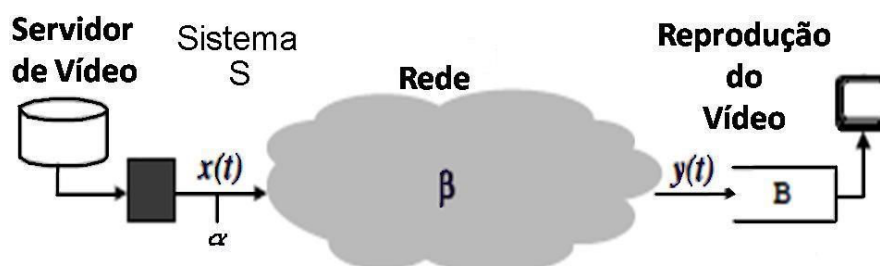


Figura 24 - Sistema de vídeo – curvas de chegada e serviço

Por exemplo, no caso de redes de serviços integrados é importante encontrar uma curva de chegada como limite do fluxo. Para fornecer recursos, em um nodo se faz necessário oferecer garantia ao fluxo. Este processo pode ser feito pelo agendamento de pacotes. O procedimento do agendamento de pacotes pode ser abstraído pela utilização de curvas de serviço (LE BOUDEC,2002). Na Figura 25 são apresentas as funções de entrada e saída do sistema e a curva de serviço que o representa.

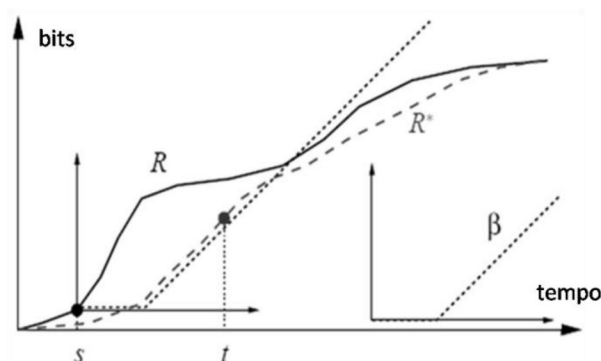


Figura 25 - Curva de serviço

4.1.5 Tamanho da fila (*backlog*) e atraso virtual com curvas de chegada e serviço

O processo de chegada de pacotes é descrito pela curva de chegada, onde são quantificados restrições no número de pacotes, ou número de *bits* de um fluxo em um intervalo de tempo para um nó da rede. A caracterização de tráfego pode ser abstraída através da curva de chegada. O modelo de um dispositivo de redes pode ser representado pela curva de serviço (QIAN,2009). O uso das curvas de chegada e serviço possibilita encontrar o *backlog* e atraso virtual.

Considere-se que um fluxo, representado por uma curva de chegada α atravessa um sistema com uma curva de serviço β . Fazendo uma aplicação direta das definições da curva de chegada e serviço é obtida a inequação (4.6).

$$R(t) - R^*(t) \leq R(t) - \inf_{0 \leq s \leq t} [R(t-s) + \beta(s)] \quad (4.6)$$

Assim, obtém-se a inequação (4.7):

$$R(t) - R^*(t) \leq \sup_{0 \leq s \leq t} [R(t) - R(t-s) + \beta(s)] \leq \sup_{0 \leq s \leq t} [\alpha(s) + \beta(t-s)] \quad (4.7)$$

O tamanho de fila (*backlog*) b_x para todo t satisfaz a inequação (4.8).

$$b_x \leq \sup_{0 \leq s} \{\alpha(s) - \beta(s)\} \quad (4.8)$$

Usando a propriedade da curva de serviço $t + \tau$ implica que há algum s_0 tal que é obtida a relação (4.9):

$$R(t) > R(t + \tau - s_0) + \beta(s_0) \quad (4.9)$$

Assumindo a inequação (4.10):

$$t + \tau - s_0 < t \quad (4.10)$$

Assim, obtém-se a inequação (4.11):

$$\alpha(\tau - s_0) \geq [R(t) - R(t + \tau - s_0)] > \beta(s_0) \quad (4.11)$$

O atraso virtual $d(t)$ para $t \geq 0$ e para todo $\tau < d(t)$ é definido pela inequação (4.12), onde $h\{\alpha, \beta\}$ é a distância horizontal entre as curvas de chegada (α) e de serviço (β) conforme apresentado na Figura 26.

$$d(t) \leq h\{\alpha, \beta\} \quad (4.12)$$

No NC, sistemas complexos podem ser representados por operações na álgebra *min-plus* resultando em sistemas lineares (sobre esta álgebra). Desta forma, os limites para *backlog* e atraso virtual podem ser diretamente computados por um dado sistema através de curvas de chegada e serviço. Estes limites podem ser usados para alocação de recursos que permitam garantia de qualidade de serviço previamente definida. A Figura 26 mostra como o *backlog* e o atraso virtual podem ser derivados das curvas de chegada e serviço, desde que R e R^* sejam caracterizadas por eles (LE BOUDEC,2002) (GULYÁS,2006).

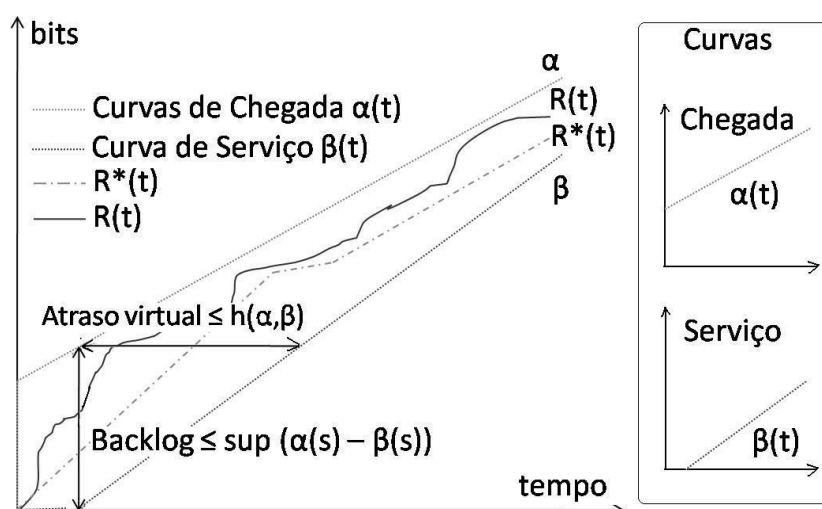


Figura 26 - *Backlog* e atraso virtual – curvas de chegada e serviço

A caracterização de tráfego de rede e sistema é um típico uso de NC por modelar a transmissão de dados através da rede. Contudo, o NC pode prover informação suficiente para caracterizar um fluxo de dados que deveria ser processado em relação ao tempo. Este é o caso de um vídeo onde uma seqüência de *bytes* apresenta uma taxa média de dados, intercaladas por rajadas (devido aos algoritmos de compressão). Deste modo, funções cumulativas em *bits* podem ser usadas para descrever trechos de vídeos e o NC pode ser aplicado para caracterizá-los através de uma curva de chegada. Se uma unidade de processamento pode ser escrita por uma apropriada curva de serviço, então os limites para *backlog* e atraso virtual podem ser adquiridos. Estes limites, conforme citado, são importantes para determinar alocação de recursos de tal maneira que a qualidade do vídeo seja preservada.

O tamanho da fila é função da taxa de chegada e da taxa de serviço, caso α e β sejam constantes $\alpha = \beta$, ou $\alpha < \beta$, as tarefas são atendidas na taxa β e não haverá acúmulo de tarefas. Caso $\alpha > \beta$, as tarefas ficarão na fila na espera de atendimento (MALANEY,1999). Desta forma é possível saber se o dado a ser transmitido ou processado será atendido com eficiência. O NC é um dos mais eficientes métodos para análise de atendimento de serviço, pois as curvas de serviço se mostram um ferramental apropriado para levantar esta informação. Uma das aplicações do método pode ser feita para análise de *link* de transmissão de dados (AGHAREBPAST,2005).

4.1.6 Network Calculus estatístico, estocástico ou probabilístico

O *Network Calculus* tem sido desenvolvido em dois caminhos – determinístico e estocástico. A ferramenta determinística tem tido sucesso na aplicação em projetos e provisão de redes para fornecer garantia de serviços determinísticos para fluxos regulados. Embora, a garantia de serviço seja tipicamente requerida por fluxos multimídias, o qual pode cobrir algum montante de perda ou atraso. Para tais fluxos, a garantia de serviço estocástico é mais importante, pois a natureza das modernas redes torna a análise determinística muito limitada (JIANG,2006).

Segundo Firoiu (2002), a garantia de desempenho pode ser especificada de várias formas. No caso da forma absoluta ou determinística, a conexão de rede é garantida, por exemplo, com 10 Mbps em todo tempo. Na forma probabilística ou estocástica, o atraso de rede é garantido para ser menor que 10 ms para 95% dos pacotes.

Na comparação dos métodos determinístico e estatístico é possível observar que para cenários onde há multiplexação, as propriedades estatísticas apresentam melhor aplicação. Um resultado importante da teoria NC está no ganho determinístico fim-a-fim. Originalmente, o NC pode ser visto como uma teoria de enfileiramento determinístico para analisar redes de comunicação. Porém, algumas extensões de *Network Calculus* levam em conta informações estatísticas. De uma maneira geral o *Network Calculus* estocástico, estatístico ou probabilístico é a aplicação de NC determinístico com ganho estatístico de multiplexação. Uma característica das redes de pacotes é a sua habilidade de explorar a multiplexação estatística de fontes de tráfego e assim alcançar um alto grau de utilização dos recursos disponíveis, conforme apresentado na Figura 27 (VIEIRA,2009).

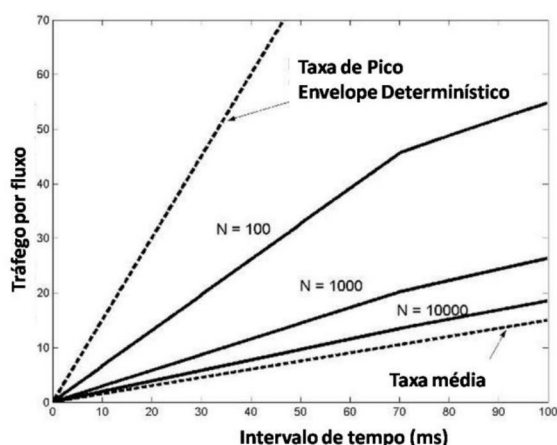


Figura 27 - NC estatístico – ganho na multiplexação

De acordo com a Figura 27, quando a reserva de recurso é feita pela taxa de pico (pior caso), grande parte dos recursos fica inutilizada. À medida que mais fluxos são multiplexados, os recursos vão sendo melhor utilizados e por consequência a utilização vai ficando próxima do valor da taxa média dos fluxos.

O NC determinístico reflete os cenários de pior caso (LE BOUDEC,2009) (TERRASA,2009). O método fornece um ferramental matemático para derivar os limites de pior caso, máxima latência, *backlog* e mínima vazão (QIAN,2009). Desde que os tráfegos sejam multiplexados estatisticamente nos nós da rede, tais cenários são extremamente raros (BURCHARD,2006) (GULYAS,2006). Deste modo, um tratamento determinístico para provisionamento de serviços geralmente superestimam os atuais recursos necessários, resultam uma baixa utilização dos recursos da rede. No ponto de vista probabilístico, o qual considera que o tráfego na rede de pacotes seja estatisticamente multiplexado, há um aumento na utilização da rede por encontrar eventos adversos raros simultâneos (situações de pior caso) (AGHAREBPARAST,2005). Isto é referido como um ganho estatístico de multiplexação. O NC estatístico busca quantificar o ganho da multiplexação estatística enquanto mantém os aspectos algébricos do NC determinístico (BURCHARD,2006).

No modelo probabilístico, o envelope de saída com limites estatísticos, pode ser determinado pela inequação (4.13), onde A e D são as funções de entrada e saída de um nó num intervalo $[0,t)$ e S é a curva de serviço:

$$(4.13)$$

O limite probabilístico do *backlog* é determinado pela inequação (4.14):

(4.14)

O limite superior de atraso é dado pela equação (4.15):

$$d_{\max} = \inf\{d \geq 0 \mid \forall t \geq 0: A^*(t-d) \leq S(t)\} \quad (4.15)$$

A diferença entre o determinístico e o estatístico está no valor de ε . Para $\varepsilon=0$, o NC estatístico passa a ter características determinísticas (BURCHARD,2006). Os ganhos em relação à multiplexação estatística se devem à independência das fontes de dados. De um modo geral, os modelos estatísticos, podem estabelecer garantias da forma probabilística, tais como a probabilidade do valor de atraso exceder um limite pré-determinado. Na Figura 28 são apresentados os valores de $10^{-9} \leq \varepsilon \leq 10^{-3}$ para alocação de recursos.

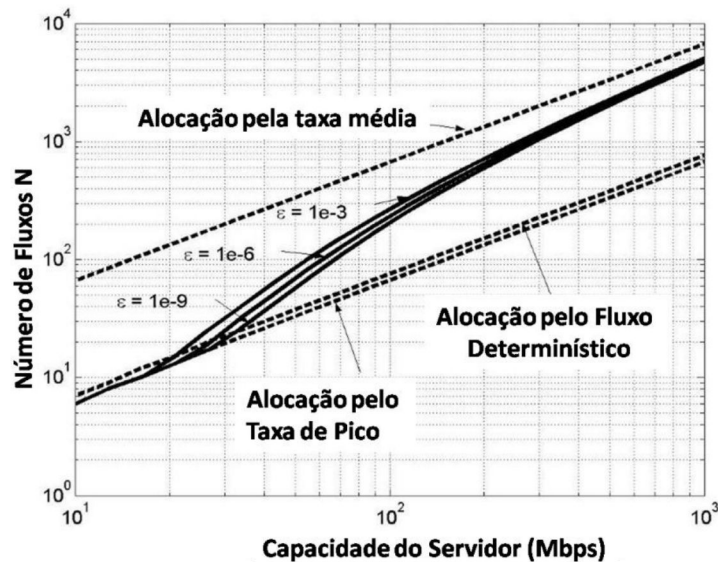


Figura 28 - Alocação de recursos – NC estatístico

Na Figura 28 é possível observar que quando são permitidos maiores valores para ε , a alocação passa a se aproximar do valor de taxa média, desta forma economizando recursos e otimizando a utilização do sistema (VIEIRA,2009).

4.2 Variability Characterization Curve (VCC)

No domínio das redes de comunicações, tem-se procurado abstrações adequadas para modelar fluxo de dados através de uma rede. Em particular *Network Calculus* provê significância determinística sobre a propriedade dos fluxos de dados em filas de redes apresentando os limitantes do sistema. O conceito de VCC é fundamentado na teoria de *Network Calculus*. Em algumas referências, VCC é

conhecido como *Real-time Calculus* e estende os conceitos básicos de *Network Calculus* para domínio de sistemas embarcados em tempo real. Os recursos de *hardware* que proporcionam a execução de tarefas são modelados por uma curva de serviço. As propriedades de VCC descrevem os recursos disponíveis para execução de uma tarefa em um determinado sistema (WANDELER,2005).

Para melhor dimensionamento de plataformas computacionais é necessário conhecer os limitantes, para saber em que taxas a sequência de vídeo pode ser processada. Esse conhecimento é necessário para que os recursos do sistema não fiquem escassos por um lado e nem para que sejam superdimensionados desperdiçando a capacidade do equipamento por outro lado. Deste modo, se faz necessário conhecer os limites inferior e superior e obter, por exemplo, garantia de qualidade de serviço (QoS) (WANDELER,2009).

A abordagem VCC tem sido introduzida como uma representação geral para caracterização de eventos e recursos. A curva de chegada representa os limitantes máximos e mínimos no número de eventos em algum intervalo de tempo (THIELE,2007). Os recursos são caracterizados pela curva de serviço que atende os serviços mínimo e máximo disponíveis para determinado período de tempo. A unidade de serviço depende do tipo de recurso compartilhado, por exemplo, pode ser instruções (no caso de computadores) ou *bytes* (no caso de um dispositivo de redes de comunicação de dados) (GAMPER,2005).

Para determinar as configurações otimizadas de *hardware* da plataforma de aplicações multimídia, tais como tamanhos de *buffer*, largura de banda, barramento, configuração de memória, duas características principais trazem complexidade para o dimensionamento do sistema (MAXIAGUINE,2004):

- Alta variabilidade dos dados relativos à execução no tempo (os requisitos de execução de uma sequência multimídia dependem das propriedades das amostras de áudio e vídeo que estão sendo processadas).
- Variabilidade nas taxas de entrada e saída associada com tarefas de processamento multimídia (MAXIAGUINE,2004).

As Curvas (VCC) podem ser usadas para quantificar as características de melhor e pior caso da sequência de dados. VCC é definida como uma tupla $(V^l(k), V^u(k))$, onde k representa o comprimento da sequência.

A função P representa a medida de uma propriedade sobre a sequência. $P(n)$ é a medida dessa propriedade nos primeiros n itens da sequência, então $V^l(k)$ e $V^u(k)$ para todo $k > 0$ são definidos conforme as equações (4.16) e (4.17) (YANHONG,2006):

$$V^l(k) = \inf_{i \geq 0} \{P(i+k) - P(i)\} \quad (4.16)$$

$$V^u(k) = \sup_{i \geq 0} \{P(i+k) - P(i)\} \quad (4.17)$$

Conforme apresentado na Figura 29, $V^l(k)$ e $V^u(k)$ fornecem os limites inferior e superior da medida P , para todas subsequências de comprimento k , dentro de uma sequência maior.

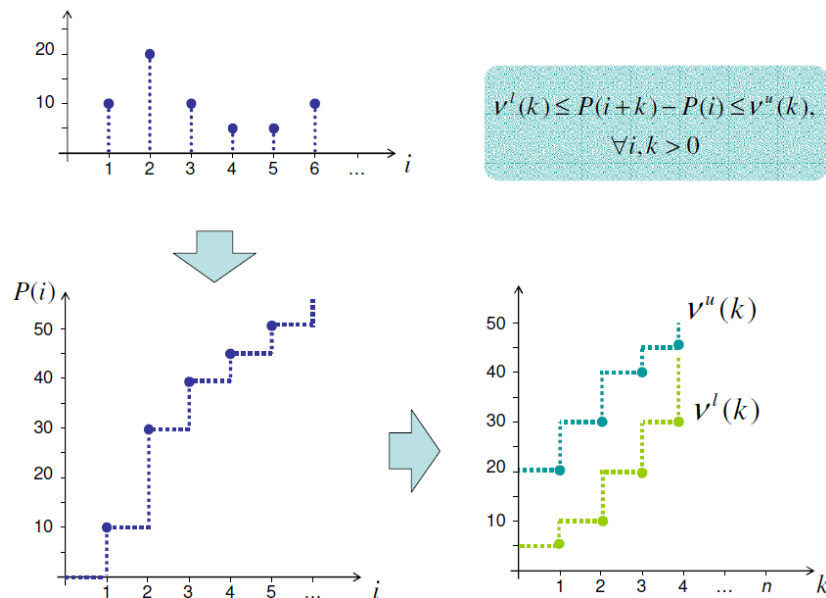


Figura 29 – Curvas VCC – $V^l(k), V^u(k)$

De acordo com a Figura 29, a formação das curvas VCC é realizada da seguinte forma. Para a curva de limite inferior, $V^l(k)$, as medidas de menor valor são somadas no início da sequência da curva. No caso da curva de limite superior $V^u(k)$, o processo é o contrário, as medidas de maior valor são adicionados primeiramente na curva. Deste modo, é possível quantificar os cenários de pior e melhor caso.

4.2.1 Curva de chegada VCC

As curvas VCC são utilizadas para abstrair o tempo e as propriedades dos recursos demandados dos eventos gerados por componentes de *hardware* (HW) e *software* (SW). O fluxo de dados a ser processado ou transmitido é chamado de

curva de chegada $\alpha(\Delta)$. A curva $\alpha(\Delta)$ e o atraso máximo permitidos fornecem informações essenciais para análise em tempo real (WANDELER,2006).

Uma curva de chegada $\alpha(\Delta) \in R \geq 0, \Delta \in R \geq 0$ fornece um limitante superior da chegada de eventos que demandam recursos em algum intervalo de tempo de comprimento Δ , isto é, os eventos que chegam dentro de um intervalo $[t, t+\Delta)$ podem criar uma demanda de recursos $\alpha(\Delta)$ para todo $t \geq 0$ (WANDELER,2006).

Uma sequência de eventos de um fluxo de dados pode ser convenientemente descrita por uma função de chegada $R[s, t)$ que denota a soma dos eventos que chegam num determinado intervalo de tempo $s \leq \tau < t$, com $R[s, s) = 0$, e com $s, t \in \mathfrak{R}$. A função cumulativa de chegada $R(\tau)$ tem por definição $R(\tau) = R[0, \tau)$ para todo $\tau \geq 0$. Enquanto alguma função R sempre descreve uma sequência de eventos. Uma tupla $\alpha(\Delta) = [\alpha''(\Delta), \alpha'(\Delta)]$ de curvas de chegada superior e inferior provê um modelo da sequência de eventos, representando todas as possibilidades do fluxo de dados (WANDELER,2009). Assim, R , α' e α'' são relacionados pela inequação (4.18):

$$\alpha'(t-s) \leq R[s, t) \leq \alpha''(t-s), \forall t \geq s \geq 0 \quad \text{com } \alpha''(0) = \alpha'(0) = 0 \quad (4.18)$$

Uma curva de chegada superior $\alpha''(\Delta)$ fornece um limite superior no número de eventos que são vistos na sequência de dados em algum intervalo de tempo de comprimento Δ , e analogamente, a curva de chegada inferior fornece um limite inferior considerando um intervalo Δ . Em outras palavras, em algum intervalo de tempo de comprimento Δ há sempre chegando pelo menos $\alpha'(\Delta)$ e no máximo $\alpha''(\Delta)$ eventos na sequência de eventos que é modelada por $\alpha(\Delta)$ (WANDELER,2009).

A curva VCC é usada para caracterizar a rajada na chegada. Numa sequência, $\alpha'(\Delta)$ e $\alpha''(\Delta)$ denotam o número mínimo e máximo de objetos que chegam dentro de um intervalo de tempo de comprimento Δ .

$$\alpha = (\alpha', \alpha'') \quad (4.19)$$

4.2.2 Curva de serviço VCC

A função de serviço $C[s, t)$ com $s, t \in \mathfrak{R}$, onde $C[s, t)$ denota a soma de unidades de recursos de computação ou comunicação disponíveis. Os recursos

podem ser descritos como ciclos de processador, capacidade de transmissão de *bits* num barramento ou rede em um intervalo de tempo $s \leq \tau \leq t$, com $C[s, s] = 0$. A função de serviço cumulativa $C(\tau)$, tem por definição $C(\tau) = C[0, \tau] \quad \forall \tau \geq 0$ (WANDELER, 2009).

A capacidade do HW de execução de tarefas também é modelada por VCC e é chamada de curva de serviço $\beta(\Delta)$ (WANDELER, 2006). Uma tupla $\beta(\Delta) = [\beta^u(\Delta), \beta^l(\Delta)]$ de curvas de serviço superior e inferior fornecem o modelo de disponibilidade de recursos. A curva de serviço superior $\beta^u(\Delta)$ fornece um limitante superior na disponibilidade de recursos em algum intervalo de tempo de comprimento Δ , e a curva de serviço inferior $\beta^l(\Delta)$ fornece um limite inferior de disponibilidade de recursos em um intervalo de tempo Δ . Em outras palavras em algum intervalo de tempo Δ existe ao menos $\beta^l(\Delta)$ e no máximo $\beta^u(\Delta)$ capacidade de recursos disponíveis modelados por $\beta(\Delta)$ (WANDELER, 2009). Então, C , β^u e β^l são relacionados pela seguinte inequação (4.20):

$$\beta^l(t-s) \leq C[s, t] \leq \beta^u(t-s), \forall t \geq s \geq 0 \quad \text{com } \beta^l(0) = \beta^u(0) = 0 \quad (4.20)$$

O número de objetos de uma sequência que pode ser processado dentro de um intervalo de tempo é bastante variável. Assim, $\beta^l(\Delta)$ e $\beta^u(\Delta)$ denotam o número mínimo e máximo de objetos da sequência que podem ser processados ou servidos por um processador dentro de um intervalo de tempo Δ , conforme a equação (4.21).

$$\beta = (\beta^l, \beta^u) \quad (4.21)$$

4.2.3 Atraso máximo VCC

Quando uma sequência de eventos com curva de chegada α é processada em um sistema em que os recursos são determinados pela curva de serviço β . O atraso máximo d_{\max} experimentado é limitado pela inequação (4.22):

$$d_{\max} \leq \sup_{\Delta \geq 0} \{ \inf_{\Delta \geq 0} \{ \alpha^u(\Delta) \leq \beta^l(\Delta + \tau) \} \} \stackrel{\text{def}}{=} Del(\alpha^u, \beta^l) \quad (4.22)$$

4.2.4 Tamanho de fila (*backlog*) máximo VCC

O tamanho máximo de fila b_{\max} que é requerido para receber a sequência de eventos com a curva de chegada α na entrada da fila do sistema com recurso

determinado pela curva de serviço β é definido pela inequação (4.23) (WANDELER,2009):

$$b_{\max} \leq \sup_{\Delta \geq 0} \{\alpha^u(\Delta) - \beta^l(\Delta)\} \stackrel{\text{def}}{=} \text{Buf}(\alpha^u, \beta^l) \quad (4.23)$$

A relação entre α^u , β^l , d_{\max} e b_{\max} são representados graficamente. A partir da Figura 30, é possível observar que d_{\max} e b_{\max} são limitados pela distância máxima horizontal e vertical entre a curva de chegada superior e a curva de serviço inferior respectivamente.

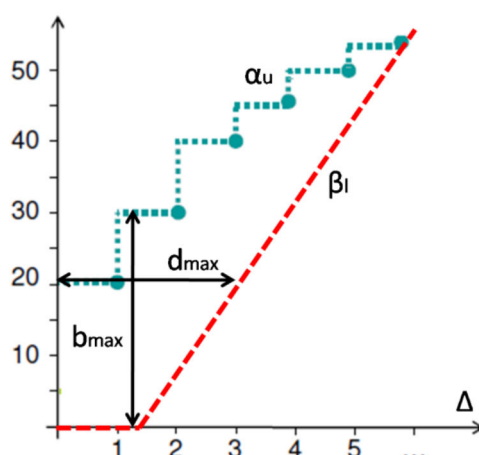


Figura 30 – Curvas de chegada e serviço, *backlog* e atraso VCC

Relacionado α^u e β^l é possível obter d_{\max} e b_{\max} quando se tem as cargas máximas com o mínimo recurso disponível (BREU,2008). Este cenário é bastante próximo da análise das curvas de chegada e serviço de *Network Calculus*, a diferença principal está na construção da curva de chegada VCC (α^u).

4.3 VCC aproximada (ε -VCC)

Sistemas multimídia são conhecidos por exibir uma alta variação na demanda de seus recursos. Por exemplo, a razão de pior caso em relação à carga média em um processador rodando uma tarefa multimídia pode ser facilmente maior que 10 vezes. A Figura 31 apresenta o número de dados processados numa aplicação de decodificador de MPEG-2.

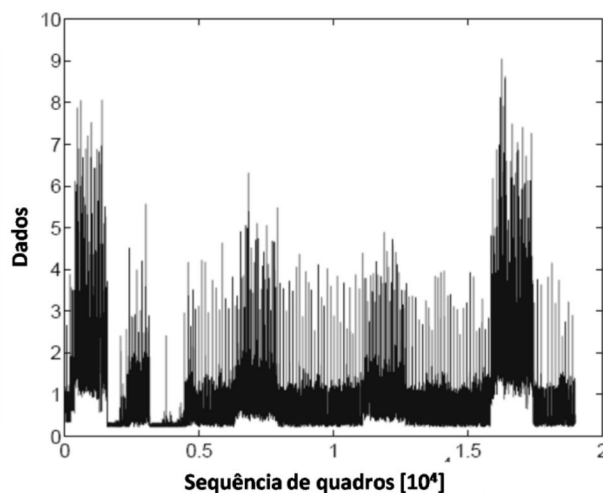


Figura 31 - Sequência de vídeo MPEG

Fonte: (YANHONG,2005a)

De acordo com a Figura 31, a sequência de vídeo MPEG tem alta variabilidade, o que demanda recursos diferenciados a cada instante. Normalmente os sistemas são dimensionados para a pior situação ou o pior caso. Um novo conceito chamado de *VCC* aproximada ($\varepsilon-VCC$) caracteriza o comportamento do sistema como um caso entre a taxa de pico e o caso médio. As aplicações multimídia têm leves restrições em tempo real, isto permite que uma pequena parte dos dados ou ocasionalmente parte de um *buffer* seja descartada, sem significativa perda na qualidade do vídeo. Por permitir essa pequena degradação no vídeo, é possível economizar uma grande quantia de recursos (YANHONG,2005a).

Na arquitetura de sistema, alguns parâmetros influenciam na carga de trabalho (*workload*) e merecem atenção. Pode-se citar o tamanho de *buffer*, velocidade do *clock*, largura de barramento e configuração de *caches*. Em sistemas multimídia a carga de trabalho é conhecida por exibir alta variação na demanda de recursos. A análise de pior caso é um cenário extremamente pessimista na aplicação, enquanto que o cenário de caso médio não apresenta a realidade de um sistema multimídia devido à alta variabilidade. Em aplicações em tempo real com suaves restrições, tolera-se que ocasionalmente alguns dados, sem influenciar fortemente na qualidade da mídia apresentada, sejam descartados (YANHONG,2005b).

Para obter a *VCC* aproximada, inicialmente é contabilizada a frequência em que o cenário de pior caso aparece, em seguida, as situações extremas são retiradas da análise. O resultado final é que se chega num cenário que são retirados os casos de maior exigência de recursos. A quantidade suficiente a ser considerada

é definida na idealização do sistema. O resultado desta análise é um histograma que demonstra que cenários de pior caso com uma baixa incidência podem ser descartados (YANHONG,2005b). A VCC padrão caracteriza os cenários de melhor e pior caso sem considerar a frequência com que tal cenário ocorre. Por exemplo, no histograma da Figura 32 é verificado que a maior parte da sequência exige menos da metade da situação de pior caso.

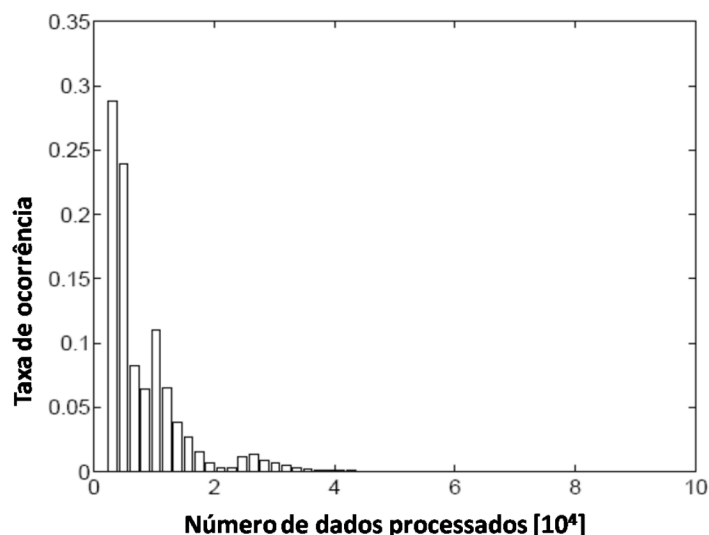


Figura 32 - Histograma – número de ciclos por macrobloco

No caso de uma VCC aproximada ou ε -VCC é ignorada uma pequena percentagem de dados do lado direito do histograma. Na ε -VCC, os extremos são removidos da análise e novos limitantes mínimos e máximos são determinados. Com os dados restantes é computado o cenário de pior caso e, novamente, as frequências acumulativas menores que a percentagem são ignoradas.

Ao ignorar os cenários de pior caso que não têm muita frequência, muitos recursos são salvos. Adicionalmente se faz necessário analisar o custo benefício entre manter qualidade e salvar recursos. Alguns testes mostram que as situações de pior caso chegam a ocupar em uma sequência de vídeo cerca de 0,02% do vídeo processado e que 90% do vídeo exige menos que a metade desta situação de pior caso.

A utilização de VCC usa a situação de melhor e pior caso para caracterizar um cenário, o que garante que nenhum dado será perdido. A utilização de ε -VCC em contrapartida possibilita a economia de recursos. A VCC aproximada generaliza o conceito de VCC levando em conta a frequência com que ocorrem os cenários de melhor e pior caso.

Para um dado valor de k e para item da sequência P , o conjunto S é definido pela equação (4.24):

$$S = \{P(i+k) - P(i) \mid i \geq 0\} \quad (4.24)$$

Ao invés de computar o valor mínimo e máximo no multiconjunto S , para computar $\varepsilon-VCC$, primeiro removem-se certos extremos observados em S e então computa-se os valores mínimos e máximos dos elementos restantes.

Removendo uma pequena percentagem S_ε^l e S_ε^u de itens do conjunto S , obtém-se uma $\varepsilon-VCC$. A curva V_ε pode ser definida pelas equações (4.25) e (4.26):

$$v_\varepsilon^l(k) = \inf_{i \geq 0} \{S_\varepsilon^l\} \quad (4.25)$$

$$v_\varepsilon^u(k) = \sup_{i > 0} \{S_\varepsilon^u\} \quad (4.26)$$

A definição de $\varepsilon-VCC$ implica que ε por cento de itens em S são menores que v_ε^l e ε por cento de itens em S são maiores que v_ε^u .

O histograma base é montado da seguinte forma. Os valores de mínimo (D_{\min}) e máximo (D_{\max}) da sequência são levantados. A faixa entre D_{\min} e D_{\max} é dividida em n partes de igual tamanho: c_0, c_1, \dots, c_n . Primeiro é construído o histograma para todos os elementos de S . Obtém-se a fração de itens que são maiores que c_i . A função F que representa os elementos da sequência e as curvas de limite inferior e superior são definidas nas equações (4.27), (4.28) e (4.29):

$$F(c_i) = \sum_{j=1}^i r_j \quad (4.27)$$

$$v_\varepsilon^l(k) = \max_{0 \leq i \leq n} \{c_i \mid F(c_i) \leq \frac{\varepsilon}{100}\} \quad (4.28)$$

$$v_\varepsilon^u(k) = \min_{0 \leq i \leq n} \{c_i \mid F(c_i) \geq 1 - \frac{\varepsilon}{100}\} \quad (4.29)$$

Um processo é limitado por uma curva de chegada α , uma curva de serviço β . O tamanho mínimo de *buffer* ou *backlog* máximo é igual a relação (4.30):

$$\sup_{\Delta \geq 0} \{\alpha^u(\Delta) - \beta^l(\Delta)\} \quad \text{ou} \quad b_{\max} \quad (4.30)$$

Para utilizar a $\varepsilon-VCC$, ao invés de usar a curva de chegada α diretamente, usa-se a pseudo-inversa ξ . O *backlog* estimado é dado pela equação (4.31):

$$b_\varepsilon = \sup_{k \geq 0} \{k - \beta^l(\xi_\varepsilon^l(k))\} \quad (4.31)$$

Ao configurar o tamanho do *buffer* para b_ε , ocasionalmente objetos da sequência serão descartados. O máximo *backlog* quando i objetos da sequência chegam ao *buffer* é igual a $\sup_{0 \leq k \leq i} \{k - \beta^l(\xi(i, k))\}$. O objeto da sequência pode ser descartado se $\sup_{0 \leq k \leq i} \{k - \beta^l(\xi(i, k))\} > b_\varepsilon$.

O mínimo tamanho de *buffer* é determinado pela equação (4.32) (YANHONG,2005b):

$$b = \sup_{\Delta \geq 0} \alpha^u(\Delta) - \beta^l(\Delta) \quad (4.32)$$

O máximo tamanho de *buffer* com ε -VCC é definido pela equação (4.33) (YANHONG,2005b):

$$b_\varepsilon = \sup_{\Delta \geq 0} \alpha_\varepsilon^u(\Delta) - \beta^l(\Delta) \quad (4.33)$$

4.4 Conclusão

O *Network Calculus* (NC), com aplicação principal em redes, caracteriza o serviço e tráfego da rede por parâmetros simples que representam os limites superiores e inferiores. O NC é desenhado para prover informação sobre tamanho da fila (*backlog*) e atraso virtual por unidade de informação (pacotes, *bytes* ou *bits*) entrando no sistema (LE BOUDEC, 2002). A função cumulativa e as curvas de chegada e serviço são ferramentas importantes para caracterização no NC. Uma das propriedades principais do NC é que os limites encontrados para um único nó podem ser facilmente estendidos para limites dos multinós usando a operação de convolução da álgebra *min-plus* (BURCHARD,2006). Esta é uma característica amplamente aplicada em análises estatísticas de sistemas multiplexados.

Um método semelhante ao NC é o VCC (*Variability Characterization Curve*), ele descreve as propriedades essenciais dos recursos disponíveis para execução de uma tarefa (WANDELER,2005). As curvas de VCC apresentam os limitantes máximo e mínimo no número de eventos em algum intervalo de tempo. Do mesmo modo que o NC, o VCC fornece curvas de chegada e serviço. A principal diferenciação entre o NC e o VCC está no modo de composição das curvas e na extensão do método que aplica a análise aproximada da sequência de dados, neste caso os cenários extremos (picos) são descartados da sequência com o objetivo de economia de recursos (YANHONG,2005b). Esta análise de VCC aproximado (ε -VCC) fornece

informações importantes para alocação de recursos visto que na maior parte do tempo o sistema fica trabalhando com sobra de recursos. Baseado nos estudos realizados, no capítulo 5 são apresentados os métodos escolhidos e a proposta de caracterização de vídeos MPEG.

5 APLICAÇÃO DO NC E VCC PARA CARACTERIZAÇÃO DE VÍDEO MPEG

A caracterização de vídeos busca suprir algumas necessidades e fornecer um conjunto de dados que sirva de suporte para o funcionamento e projeto de sistemas de vídeo digital. Segundo Nayak (1996), a caracterização de vídeos deve ter o propósito de entender o comportamento da fonte, analisar a variabilidade e rajadas, fazer previsão sobre os requisitos de banda, poder controlar congestionamento, determinar os parâmetros das propriedades do sinal de vídeo para notificar a rede, conseguir a categoria de serviço indicada para o QoS do fluxo, desenvolver modelos dos sinais de vídeo para simulação e análise matemática e usar informações para projetos de comunicação. Com base nestes propósitos e nos estudos percorridos nas seções anteriores, foram levantadas algumas informações indispensáveis para o conjunto de dados que devem compor a caracterização de vídeos MPEG. A Tabela 3 apresenta o grupo de parâmetros que compõem a caracterização proposta neste trabalho juntamente com sua descrição e aplicação na composição do sistema de vídeo digital.

Tabela 3. Grupo de parâmetros propostos para caracterização de vídeo MPEG

Parâmetro	Descrição	Aplicação
Atraso	Inerente aos procedimentos de transmissão e processamento do vídeo nos elementos do sistema de vídeo digital	Servidor-cliente, rede de comunicação
Alocação de recursos Tamanho da Fila	Comportamento nos meios de comunicação Tamanho das filas (<i>buffer</i>) para armazenagem dos quadros a serem processados nos elementos da solução; tamanho total do vídeo (<i>bytes</i>) para armazenamento no servidor e comportamento nos meios de comunicação	Cliente-decodificador, Servidor-codificador, elementos de rede
Processamento (taxas)	Taxa média e taxa de pico (rajada)	Rede de comunicação, Servidor-cliente
Períodos de exigência máxima	Períodos de máxima exigência do sistema e sua representatividade na alocação de recursos	Rede de comunicação, Servidor-cliente
Economia de recursos	Estimativa de economia de recursos, caso sejam admitidas perdas	Servidor-codificador, rede de comunicação
Classificação do vídeo Variabilidade	Divisão dos vídeos em categorias de acordo com os parâmetros apresentados; relação entre taxa média e de pico	Grau de variabilidade do vídeo; nível de exigência do vídeo sobre o sistema

A proposta deste trabalho é obter um grupo de parâmetros que compõe a caracterização de vídeos MPEG. A Tabela 3 apresenta o conjunto de dados que compõe a proposta da caracterização de vídeos MPEG – atraso, tamanho da fila - alocação de recursos, processamento, períodos de exigência máxima, economia de recursos e classificação do vídeo – variabilidade. Essas informações são importantíssimas para projetos de sistemas multimídia, definição do comportamento de vídeos sobre sistemas existentes e reserva e alocação de recursos necessários para a eficiente reprodução do vídeo.

De acordo com as informações do capítulo 4, o NC e VCC fornecem os métodos, parâmetros e ferramentas essenciais para composição da proposta de caracterização de vídeos MPEG deste trabalho. Nas próximas seções serão apresentados os procedimentos necessários para obtenção dos parâmetros aplicando os métodos NC e VCC, além da apresentação de uma técnica de análise aproximada, baseada nos dois métodos.

5.1 Obtenção de parâmetros através do NC

O *Network Calculus*, conforme apresentado no capítulo 4, fornece informações importantes do vídeo e essenciais para caracterização proposta neste trabalho. A aplicação do método proporciona a obtenção de informações como *backlog*, atraso, tamanho e duração da rajada, taxa média e taxa de rajada (conforme já apresentado úteis para caracterização). Para obtenção destes parâmetros, a primeira propriedade obtida é a função cumulativa de entrada (apresentada na Figura 21). O campo que representa o tamanho do quadro (*bits*) é acumulado para cada quadro gerando a função $R(t)$ com uma taxa de quadros que pode ser 25 (1 quadro a cada 40ms) ou 30 (1 quadro a cada 33ms) quadros por segundo (exemplificado na Figura 34). A função cumulativa $R(t)$ é classificada como contínua (Figura 19 e seção 4.1.1.2), é possível encontrar a rajada máxima e a taxa média que condicionam a transmissão do vídeo, os dois índices são usados para adquirir uma possível curva de chegada para este vídeo. Neste trabalho, esta função cumulativa é representada através de uma curva de chegada no NC caracterizada pelos seguintes parâmetros: taxa média r , tamanho da rajada b e duração da rajada T , conforme a Figura 33.

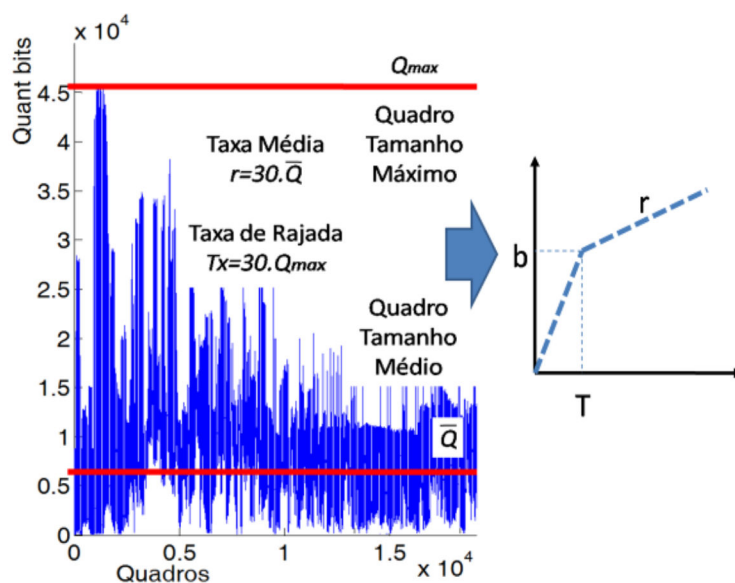


Figura 33 - Parâmetros de caracterização da curva de chegada do vídeo.

Estes parâmetros são obtidos pelo seguinte procedimento:

- Obtêm-se os valores máximo Q_{\max} e médio \bar{Q} dos quadros do vídeo, ambos em *bits* (Figura 33);
- Determina-se a taxa média $r = 30 \cdot \bar{Q}$ e a taxa de rajada $T_x = 30 \cdot Q_{\max}$ da sequência, ambas em *kbps*;
- Calcula-se o tamanho da rajada $b = m_1 + m_2$ da sequência em *Mbits*, com m_1 e m_2 , dados pela Figura 34, representam as maiores diferenças da taxa média em relação à função cumulativa (m_1 acima da taxa média e m_2 abaixo);
- Calcula-se a duração $T = b / T_x$ da rajada em *s*.

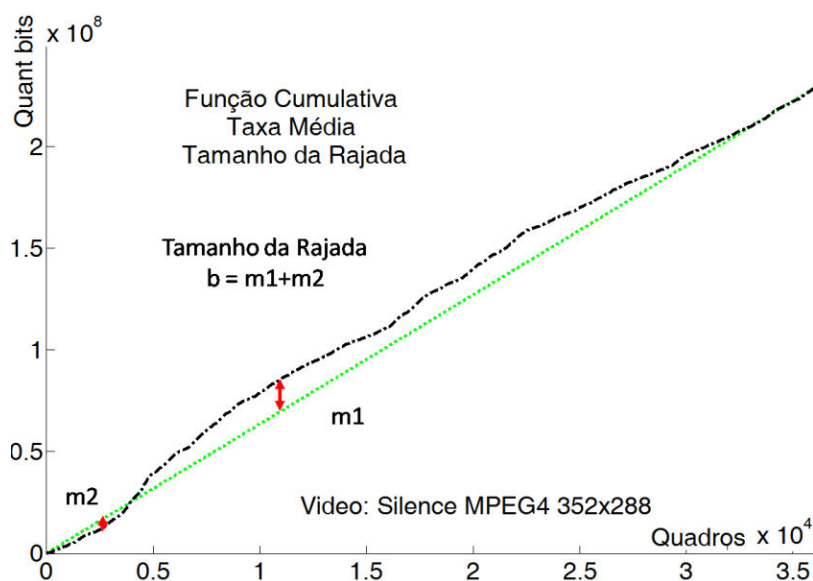


Figura 34 - Parâmetros m_1 e m_2 obtidos a partir da taxa média e da função cumulativa

De acordo com a seção 4.1.3, a curva de chegada pode ser definida por $\alpha(t) = rt + b$. A relação entre a curva de chegada e a função cumulativa é apresentada através da equação (4.4) e a Figura 23. A diferença nesta proposta é apresentar uma rajada não instantânea, ou seja, a rajada será enviada durante o período de tempo T . Esta abordagem lembra o conceito de envelope empírico (seção 3.3.3) apresentado através do modelo D-BIND na Figura 15. Na seção 4.1.4 e na Figura 25 são apresentados os conceitos sobre curva de serviço e as propriedades que a compõe – atraso inicial e taxa de serviço. Por definição neste trabalho, a curva de serviço apresenta um atraso inicial de valor fixo referente ao meio em que o vídeo está sendo submetido. A informação principal da curva de serviço é a taxa de serviço, que pode representar por exemplo, a taxa nominal de uma rede de comunicação em (*bps*), como uma ADSL com 1 Mbps. Maiores detalhes sobre esta composição são apresentados no capítulo 6.

De acordo com a seção 4.1.5, a utilização de curvas de chegada e curvas de serviço possibilita a obtenção de informações importantes relativas ao comportamento do vídeo em um determinado meio, o qual é representado pela curva de serviço. Na Figura 26 é apresentado o relacionamento entre as curvas de chegada e serviço e por consequência da aplicação do NC, a obtenção do tamanho da fila (*backlog*) e atraso virtual para estas curvas.

A proposta de caracterização de vídeos MPEG através de *Network Calculus* pode ser realizada com a obtenção da curva de chegada $\alpha(t)$, conforme citado, a curva de chegada é composta pela taxa média (r) durante o decorrer do vídeo, tamanho de rajada (b) e tempo de rajada (T) (relacionando b e T é possível determinar a taxa da rajada). O conjunto de informações (r, b, T) compõe a curva de chegada $\alpha(t)$. Após a curva de chegada obtida, ou seja, o vídeo caracterizado com NC através dos parâmetros (r, b, T) é possível analisar seu comportamento quando condicionado a um sistema ou meio, representado pela curva de serviço β . O resultado da avaliação da curva de chegada submetida à curva de serviço fornece informações adicionais importantes para composição de sistemas de vídeo: o tamanho de fila (*backlog*) através da inequação (4.8) e o atraso virtual pela inequação (4.12). Conforme apresentado, o tamanho da fila é função das taxas das curvas de chegada e serviço, caso α e β sejam constantes $\alpha = \beta$, ou para $\alpha < \beta$, as tarefas são atendidas na taxa β e não haverá acúmulo de tarefas. Caso $\alpha > \beta$,

as tarefas ficarão na fila, a espera de atendimento (MALANEY,1999). Assim, existe a possibilidade de verificar a eficiência da transmissão ou processamento do vídeo em determinado meio ou condição.

De maneira geral, a sequência de vídeo pode ser representada pela curva de chegada α , a qual é resumida pelos parâmetros (r, b, T) . Deste modo, a curva de chegada α e os parâmetros (r, b, T) caracterizam o vídeo pois determinam os recursos que o vídeo exige de determinado sistema.

5.2 Obtenção de parâmetros através do VCC e ε -VCC

A seção 4.2 apresenta os conceitos das curvas VCC. As curvas VCC são compostas por uma curva que representa o cenário de exigência máximo (limite superior) e o cenário de exigência mínima (limite inferior). A análise proposta neste trabalho é para os cenários de maior exigência, justamente para analisar os limitantes máximos que o vídeo condiciona ao sistema. Os conceitos de VCC podem ser aplicados para obtenção do atraso e *backlog*. Para realizar esta análise é necessária a utilização da curva de chegada VCC $\alpha = (\alpha^l, \alpha^u)$ (seção 4.2.1) e da curva de serviço VCC $\beta = (\beta^l, \beta^u)$ (seção 4.2.2). Os conceitos e propriedades de VCC são muito semelhantes ao NC. Entretanto VCC fornece uma curva de chegada de limite superior (α^u) e outra de limite inferior (α^l). Do mesmo modo para as curvas de serviço com a curva para limite superior (β^u) e inferior (β^l). VCC determina que estas curvas sejam válidas para um intervalo de tempo Δ . Nesta análise o intervalo Δ será igual ao tempo total do vídeo analisado. Conforme a equação (4.22), para determinar o atraso máximo VCC, a curva de chegada de limite superior α^u e a curva de serviço de limite inferior β^l devem ser relacionadas (conforme apresentado na Figura 30). Da mesma forma ao relacionar as curvas α^u e β^l o tamanho de fila (*backlog*) máximo é obtido, de acordo com a equação (4.23).

Conforme citado, para análise de *backlog* e atraso virtual é preciso obter a curva de chegada de limite superior α^u e a curva de serviço de limite inferior β^l . Para este trabalho, a curva β^l é exatamente a mesma apresentada para o método NC, ou seja $\beta^l = \beta$. Já a curva α^u tem um método bastante diferenciado de

construção se comparado ao NC. Na Figura 35 são apresentados os quadros da sequência de vídeo.

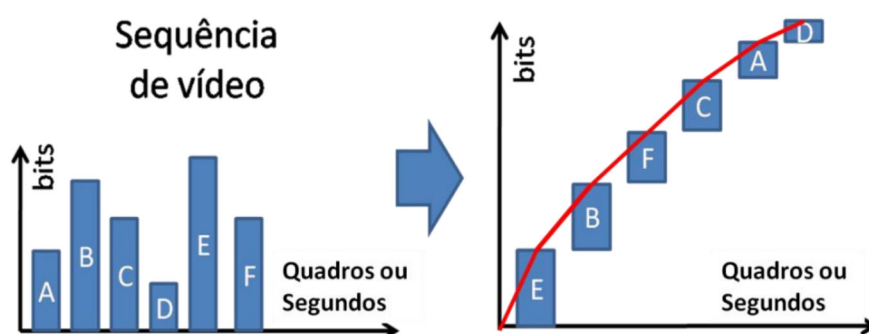


Figura 35 – Composição da curva VCC

De acordo com a Figura 29 e fazendo uma relação com as equações (4.16) e (4.17) é possível definir um método para obtenção da curva de chegada VCC α'' . No procedimento de construção de α'' , os elementos da sequência de vídeo de maior tamanho são ordenados primeiramente, a curva é composta da soma cumulativa de cada elemento até terminar a sequência (Figura 35). O elemento da sequência pode ser quadro ou mesmo vários quadros agrupados em um segundo ou em GoPs. Neste caso, ao invés do quadro de maior tamanho, primeiramente estaria na sequência o período de um segundo com maior exigência do vídeo. A construção da curva de chegada tem uma abordagem semelhante à construção da função cumulativa, porém, os elementos (quadros ou período de um segundo) de maior tamanho aparecem antes na sequência. Esta propriedade de construção da curva de chegada VCC fornece a capacidade de analisar os períodos de maior exigência primeiramente, levantando a situação de pior caso, diferentemente da curva de chegada VCC de limite inferior α' que apresenta a situação de melhor caso.

Um ponto interessante que o método VCC apresenta é o de curvas VCC aproximadas (ε -VCC). Esta abordagem trata o descarte dos quadros que mais afetam o sistema (a razão entre o cenário de pior caso e a exigência média pode chegar a 10 vezes). VCC caracteriza os cenários de melhor e pior caso sem considerar a frequência com que tal cenário ocorre. Por exemplo, no histograma da Figura 36 é possível perceber que a maior parte da sequência exige menos da metade da situação de pior caso.

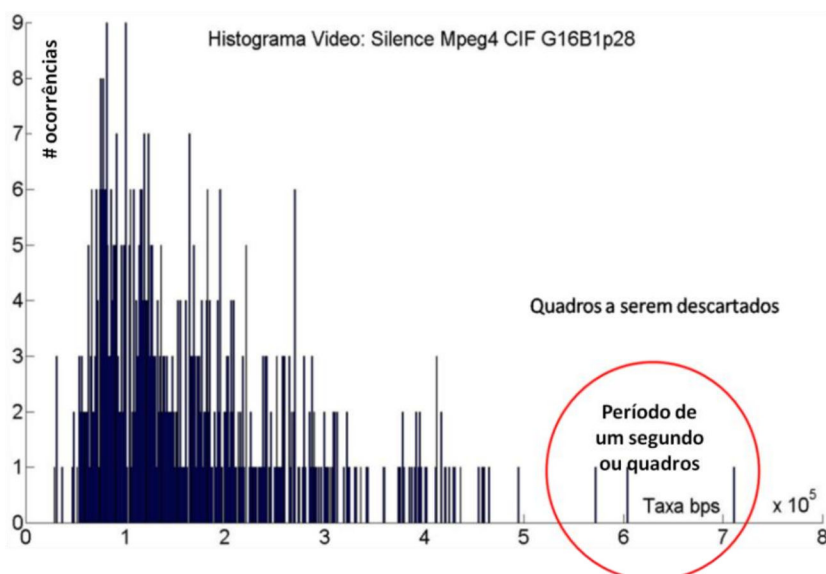


Figura 36 – Histograma - ε - VCC

Conforme fica evidente, a maior parte da sequência exige menos da metade da situação de pior caso e se os recursos forem reservados pelos períodos de exigência máxima (direita do histograma), o sistema ficará subutilizado na maior parte do tempo. Fazendo o descarte dos períodos de máxima exigência, a VCC aproximada é obtida e a análise de reserva de recursos pode ser refeita enquanto for julgado necessário. Uma observação importante que deve ser feita a cada ciclo de descarte de quadros é relativa à qualidade do vídeo. No exemplo da Figura 36 fica evidente que três momentos sofrerão degradação, pois as taxas daqueles períodos excedem a taxa limite estabelecida. Neste ponto vale destacar que nem todos os quadros do período serão descartados, uma parcela dos quadros do período ainda é processada, descartando apenas o excedente. Por fim, ainda existe a necessidade de se realizar uma análise qualitativa do vídeo e avaliar o impacto da degradação.

Para obter a VCC aproximada, inicialmente é contabilizada a frequência em que o cenário de pior caso aparece, em seguida, as situações extremas são retiradas da análise. O resultado final apresenta as exigências do vídeo sem os cenários extremos. A quantidade suficiente de perda a ser considerada é definida na idealização do sistema.

Analisando a curva de chegada de limite superior para VCC aproximado (α_ε^u), o valor a ser desconsiderado, descartado ou a perda admitida (ε), é representado pela equação (4.29). A equação (4.33) apresenta o valor de *backlog* através da curva de serviço de limite mínimo β^l e da curva de chegada de limite superior

aproximada α_ε'' , de forma semelhante aos métodos já apresentados obtém-se o atraso máximo.

Através das técnicas de VCC e ε -VCC, pretende-se estimar qual a quantidade de recursos que podem ser economizados ou salvos quando se admitem perdas no sistema. A representação de curva de chegada utilizando VCC é de difícil representação quando comparada as curvas de NC. Desta forma a proposta de aplicação de VCC e ε -VCC neste trabalho fica restrita a análise dos parâmetros tamanho da fila (*backlog*) e atraso virtual e deste modo determinar o ganho que se tem quando se admitem certas perdas.

5.3 Proposta de obtenção de parâmetros através do NC aproximado (ε -NC)

Conforme apresentado nas seções anteriores, o NC apresenta a limitação de analisar somente o cenário de pior caso. Essa situação de alocação de recursos deixa o sistema subutilizado na maior parte do tempo. Já a abordagem com VCC apresenta um cenário de curvas aproximadas que realiza a análise do histograma do vídeo em que os cenários de pior caso são descartados economizando muito recurso. Em resumo, NC apresenta a facilidade de representar ou caracterizar um vídeo através de três parâmetros (r, b, T). Em contrapartida, VCC apresenta um método aproximado que permite analisar quanto de recursos podem ser salvos caso sejam admitidas pequenas perdas. Porém, VCC apresenta a dificuldade de representação da curva, a qual não pode ser resumida em apenas três parâmetros.

Deste modo, é proposta uma abordagem que adota alguns conceitos de NC com a metodologia aplicada no VCC aproximado, método denominado NC aproximado ou ε -NC. Recapitulando algumas seções anteriores é possível observar alguns conceitos semelhantes a esta abordagem proposta. A seção 3.3.2 mostra a largura de banda efetiva, na Figura 14 é possível observar que a largura de banda efetiva fica entre a taxa média e taxa de pico do tráfego. Na seção 3.3.3, o envelope empírico considera a probabilidade de falhas ou perdas (ε) com aplicação em sistemas multiplexados – equação (3.3). A utilização em sistemas multiplexados foi considerada na abordagem do NC estatístico (seção 4.1.6), as equações (4.13) e (4.14) consideram o valor de (ε). Assim como a proposta do NC estatístico, o NC aproximado pode ser considerado determinístico para $\varepsilon = 0$.

A proposta do NC aproximado agrega a facilidade de representação do NC (conjunto de parâmetros (r, b, T)) e o modo de construção da VCC aproximada ($\varepsilon - VCC$) que aplica um descarte admitido através da análise do histograma da sequência de vídeo. Com o descarte dos períodos de maior exigência no vídeo, é possível construir uma nova sequência de vídeo, representado por uma curva de chegada e verificar quais suas exigências quando submetido a um sistema representado por uma curva de serviço.

Para obtenção da curva de chegada aproximada α_ε são necessários alguns passos:

- O histograma da sequência de vídeo é construído;
- A divisão de classes do histograma é feita em função da percentagem de perda admitida;
- São levantados os períodos de maior exigência que devem ser descartados.
- Em seguida é montada a função cumulativa com base na nova sequência de quadros (sem os períodos de maior tamanho). Este fluxo é representado pela função cumulativa aproximada $R_\varepsilon(t)$, por convenção $R_\varepsilon(0) = 0$.
- A curva de chegada aproximada α_ε é montada com base na função cumulativa $R_\varepsilon(t)$ de maneira semelhante ao método NC.
- Baseado na inequação (4.4), a inequação (5.1) é obtida.

$$R_\varepsilon(t) - R_\varepsilon(s) \leq \alpha_\varepsilon(t-s) \quad (5.1)$$

- Os valores de $(r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$ da curva de chegada aproximada α_ε do NC aproximado são estabelecidos.
- Comparam-se os valores (r, b, T) do NC com os valores $(r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$ do $\varepsilon - NC$ obtendo a economia de recursos para admitidas perdas de quadros (ε).
- Baseado na inequação (4.8) obtém-se o tamanho da fila aproximado b_ε (*backlog*) representado pela inequação (5.2).

$$b_\varepsilon \leq \sup\{\alpha_\varepsilon(s) - \beta(s)\} \quad (5.2)$$

- O atraso virtual aproximado $d_\varepsilon(t)$ para $t \geq 0$ e para todo $\tau < d_\varepsilon(t)$ é definido pela inequação (5.3):

$$d_\varepsilon(t) \leq h\{\alpha_\varepsilon, \beta\} \quad (5.3)$$

A intenção do método NC aproximado ($\varepsilon - NC$) é obter um conjunto de dados para caracterização de vídeos. Vale destacar que além dos parâmetros tamanho e tempo de rajada, taxa média, taxa de rajada, *backlog* e atraso. O $\varepsilon - NC$ ainda permite obter dois parâmetros desejados na caracterização proposta no capítulo 5: a economia de recursos através da comparação de (r, b, T) e $(r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$ e ainda a possibilidade de classificação do vídeo em função do grau de variabilidade que ele apresenta.

5.4 Conclusão

Conforme apresentado nas seções anteriores, busca-se um conjunto de parâmetros que venha atender os requisitos da caracterização de vídeos proposta neste trabalho. De acordo com a Tabela 3 foi apresentado um grupo de parâmetros necessários para a caracterização. Baseado nas informações de cada método utilizado, alguns apresentaram propriedades que ficam mais próximas do que se deseja para esta caracterização. Deste modo é apresentada a Tabela 4 que mostra como se pretende aplicar cada método na caracterização de vídeos MPEG.

Tabela 4. Grupo de parâmetros propostos para caracterização de vídeo MPEG, métodos utilizados e aplicação em sistemas multimídia

Parâmetro	Método Utilizado	Aplicação
Atraso	NC, VCC, $\varepsilon - VCC$, $\varepsilon - NC$ para obtenção do atraso virtual através das curvas de chegada e serviço.	Servidor-cliente, rede de comunicação
Alocação de recursos Tamanho da Fila	NC, VCC, $\varepsilon - VCC$, $\varepsilon - NC$ para obtenção do <i>backlog</i> através da análise das curvas de chegada e serviço.	Cliente-decodificador, Servidor-codificador, elementos de rede
Processamento Taxa média e taxa de pico (rajada)	NC, $\varepsilon - NC$ para obtenção dos parâmetros (r, b, T) através da caracterização da curva de chegada	Rede de comunicação, Servidor-cliente
Períodos de exigência máxima	NC para obtenção do período (T) através do levantamento da curva de chegada	Rede de comunicação, Servidor-cliente

Parâmetro	Método Utilizado	Aplicação
Economia de recursos	NC, $\varepsilon - NC$ através dos comparativos dos parâmetros (r, b, T) , $(r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$ e da análise das curvas de chegada e serviço. Para VCC e $\varepsilon - VCC$ é realizada a análise dos ganhos atraso e <i>backlog</i> .	Servidor-codificador, rede de comunicação
Classificação do vídeo (variabilidade)	NC, VCC, $\varepsilon - VCC$ e $\varepsilon - NC$ é avaliada a relação entre a taxa média e de rajada e os ganhos de economia de recursos.	Grau de variabilidade do vídeo; nível de exigência do vídeo sobre o sistema

Conforme apresentado, os métodos NC, VCC, $\varepsilon - VCC$ e $\varepsilon - NC$ apresentaram as propriedades necessárias para a caracterização de vídeo proposta neste trabalho e disponibilizar o grupo de parâmetros compostos pelo atraso, taxa média, taxa de pico, período de rajada (ou de máxima exigência), economia de recursos e classificação de acordo com a variabilidade. Com a caracterização do vídeo e obtenção do grupo de parâmetros é possível empregar os resultados na avaliação e projeto de sistemas multimídia. O capítulo 6 mostra a avaliação dos métodos NC, VCC, $\varepsilon - VCC$ e $\varepsilon - NC$ e a obtenção dos parâmetros que compõem a caracterização proposta neste trabalho. Para análise foram utilizados vídeos com conteúdos e codificação diferenciada nos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264. O conjunto de vários tipos de vídeo foi utilizado para levantar os dados de caracterização de vídeo para diversos cenários e extrair o máximo de informação de cada método empregado a cada tipo de vídeo. A ideia é justamente evidenciar as particularidades de cada vídeo através dos métodos empregados na caracterização.

6 RESULTADOS

Devido às características de compressão, compactação e consequente variabilidade, os vídeos MPEG com as mesmas resolução e quantidade de quadros e o mesmo tempo de duração, mas, com conteúdos diferenciados, geram vídeos com tamanhos sensivelmente diferentes. Em vídeos onde há grande mudança de cenas, trocas de imagens (filmes de ação, esportes e comerciais) há um uso maior de recursos se comparados àqueles que têm pouca mudança (programa de entrevistas).

A proposta deste trabalho é avaliar os métodos NC, VCC, ε -VCC e o ε -NC (proposto neste trabalho) com o objetivo de caracterizar vídeos MPEG (padrões MPEG-2, MPEG-4, H264/AVC). Através dos métodos pretende-se levantar informações dos parâmetros (atraso, tamanho da fila - alocação de recursos, processamento, períodos de exigência máxima, economia de recursos e classificação do vídeo - variabilidade) a fim de caracterizar vídeos MPEG e fornecer informações relacionadas à composição e projetos de sistemas multimídia.

Para aplicação dos métodos e verificação dos resultados foram escritas várias rotinas em *Matlab*¹ (MATLAB,2010). Essas rotinas compreendem o funcionamento dos métodos descritos nas seções anteriores. Os vídeos nos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264/AVC são representados por sequências de vídeos (extraídos de vídeos reais). O resultado é um conjunto de dados e gráficos úteis para análise de caracterização de vídeos. Na próxima seção é descrito o cenário de avaliação com maiores detalhes.

6.1 Considerações iniciais

Conforme visto na seção 3.3, vários trabalhos utilizam sequências de vídeos para simulação e validação de modelos. Para obtenção das sequências é necessário que uma ferramenta colete as informações precisas para análise do vídeo. Shahbazian (2003) apresenta um estudo sobre a extração das informações de vídeo que formam o *trace* e a aplicação na análise de vídeos MPEG. Nesta dissertação foram usados vídeos nos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264/AVC em diversas resoluções, tipos de conteúdo e modos de codificação.

¹Matlab é a marca registrada do MathWorks Co.

A Tabela 5 apresenta o resumo de informações sobre as sequências de vídeo utilizados neste trabalho. As principais fontes das sequências de vídeo MPEG estão nas referências dos autores Asu (2010), Seeling (2004) e Van Der Auwera (2008).

Tabela 5. Conjunto de informações dos vídeos utilizados

Padrão de Vídeo	Resolução	Composição GoP	Conteúdo
MPEG-2	720p	G12B2@30qps	Filme (<i>Terminator</i>), Demonstração (<i>Sony</i>)
MPEG-4	QCIF	G12B2@25qps	Filme (<i>Silence</i>) – qualidade alta HQ, média MQ e baixa LQ
MPEG-4	CIF	G16B1, G16B3, G16B7, G16B15 @30qps	Filme (<i>Silence</i>), Demonstração (<i>Sony</i>), documentário (<i>Tokyo</i>), Telejornal (<i>NBC News</i>)
H264	CIF	G16B1, G16B3, G16B7, G16B15 @30qps	Filme (<i>Silence</i>), Demonstração (<i>Sony</i>), documentário (<i>Tokyo</i>), Telejornal (<i>NBC News</i>)
H264	1080i	G12B2@30qps	Documentário (<i>Mars</i>), Entrevista (<i>TalkShow</i>)

A rotina escrita para o *Matlab* tem os seguintes procedimentos:

- O arquivo de *trace* de vídeo é composto de número de sequência do quadro, tipo do quadro (I, P ou B), tempo do quadro. O tempo entre quadros é de 33 ms para vídeos com 30 quadros por segundo (@30qps) e 40 ms para vídeos com 25 quadros por segundo (@25qps). E por fim a informação mais importante para obtenção dos resultados – o tamanho do quadro em *bits*.
- Na rotina *Matlab*, o arquivo de *trace* é aberto e carregado em uma matriz de dados. Da matriz de dados é separado um vetor referente ao tamanho dos quadros. A partir do vetor de tamanho dos quadros é construída a função cumulativa.
- Com a função cumulativa e o vetor de tamanho de quadros são obtidas as curvas de chegada de cada método. Cada método, conforme descrito nas seções 5.1, 5.2 e 5.3, tem uma propriedade específica para construção da curva de chegada. Para o VCC, Gamper (2005) propôs um módulo para o *Matlab* que permite a análise de desempenho em tempo real para sistemas embarcados através do módulo – *Real Time Calculus*

(RTC), porém para uniformidade dos testes a construção da VCC foi feita passo a passo de acordo as propriedades do método, assim como o NC. Os parâmetros de caracterização de vídeo como rajada, tempo de rajada, taxa média são obtidos no final desta fase.

- Após a construção das curvas de chegada, são montadas as curvas de serviço. As curvas de serviço neste trabalho representam um meio de transmissão em que se deseja submeter o vídeo. Para avaliação, as curvas de serviço representam uma conexão com ADSL, onde as taxas nominais da ADSL são equivalentes as taxas de serviço da curva. Por exemplo, uma ADSL com taxa nominal de 1Mbps é representada por uma curva de serviço com taxa de serviço de 1Mbps. As curvas de serviço apresentam um tempo de latência de 150 ms devido ao atraso fim-a-fim, tempo total para que uma sequência de dados (vídeo) alcance o destino remoto (NGATMAN,2008). Ou seja, todos os *bits* sofrem um atraso mínimo de 150 ms. As curvas de serviço são as mesmas para os métodos NC, VCC, ε -VCC e ε -NC.
- Através da avaliação da curva de chegada com um grupo de curvas de serviço o tamanho de fila (*backlog*) e atraso podem ser extraídos para cada tipo de vídeo. As curvas de chegada e serviço são representadas em forma gráfica.

Nas seguintes seções serão apresentadas a caracterização de vídeos MPEG nos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264/AVC aplicando os métodos NC, VCC, ε -VCC e o ε -NC proposto neste trabalho, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Objetivo da avaliação dos vídeos utilizados

Vídeo	Conteúdo	Objetivo da Avaliação	Seção
MPEG-2 720p G12B2@30qps	Filme (<i>Terminator</i>), Demonstração (<i>Sony</i>)	Levantar o <i>backlog</i> e atraso e as curvas de chegada com o objetivo da caracterização e comparação de vídeos de diferentes conteúdos. Os vídeos com padrões (MPEG-2 e H264) e resoluções (720p e 1080i) foram escolhidos para levantar possíveis particularidades de cada composição e influência na obtenção da caracterização	Vídeos com diferentes conteúdos
H264 1080i G12B2@30qps	Documentário (<i>Mars</i>), Entrevista (<i>TalkShow</i>)		
MPEG-4 QCIF G12B2@25qps	Filme (<i>Silence</i>) – qualidade alta HQ,	O resultado da análise de vídeos de mesmo conteúdo busca analisar o comportamento	Vídeos com diferentes taxas

Vídeo	Conteúdo	Objetivo da Avaliação	Seção
	média MQ e baixa LQ	dos vídeos em cada método quando são utilizadas taxas de compressão diferentes no mesmo vídeo. A resolução QCIF e a taxa de 25 qps visam analisar possíveis particularidades desta variante na caracterização dos vídeos	de compressão
MPEG-4/ H264 CIF G16B1, G16B3, G16B7, G16B15@30qps	Filme (<i>Silence</i>), Demonstração (<i>Sony</i>), Documentário (<i>Tokyo</i>), Telejornal (<i>NBC News</i>)	A utilização de quatro tipos diferentes de conteúdo e GoPs permite analisar a influência da variação do formato do grupo de imagens na caracterização do vídeo e ainda o impacto da utilização de padrões diferentes (MPEG-4 e H264)	Vídeos com diferentes GoP e conteúdo

O conjunto de padrões de vídeo (MPEG-2, MPEG-4, H264), resoluções (QCIF, CIF, 720p, 1080i), formatos de GoP (G12B2, G16B1, G16B3, G16B7 e G16B15) e conteúdos diferenciados visam agregar o máximo de informação relativa à variação da composição dos vídeos da família MPEG quando caracterizados através dos métodos NC, VCC, ε -VCC e ε -NC. Assim, avaliar as propriedades mais indicadas e levantar os valores de cada método para caracterização dos vídeos. Se por um lado, a variedade de padrões, resoluções, formatos de GoP e conteúdo pode dificultar um pouco a comparação entre as avaliações. Por outro lado, esta combinação permite verificar qual o comportamento de cada método nas mais variadas composições de vídeos MPEG e levantar além da caracterização, possíveis particularidades de cada vídeo ou método. Deste modo, se espera descobrir a capacidade de caracterização dos métodos nas diversas situações. Por fim obter o conjunto de parâmetros propostos na caracterização e poder utilizar os resultados na composição, projeto e avaliação de sistemas multimídia.

Este capítulo está dividido da seguinte forma: a seção 6.2 apresenta os resultados da avaliação de cada vídeo proposto na caracterização de vídeo aplicando o método *Network Calculus*. Na seção 6.3 a avaliação é feita com os métodos VCC, ε -VCC. Por fim, a seção 6.4 demonstra os resultados de caracterização dos vídeos com o método proposto neste trabalho, denominado *Network Calculus* aproximado (ε -NC). Os resultados das avaliações dos métodos permitem adquirir o conjunto de parâmetros que caracteriza cada vídeo em particular.

6.2 Caracterização de vídeo aplicando *Network Calculus*

O objetivo dos testes desta seção é levantar os parâmetros de caracterização de vídeos nos padrões MPEG-2, MPEG-4, H264 fazendo uso das curvas de chegada e serviço definidas no *Network Calculus* e obter o tamanho e tempo de rajada, taxa de rajada, taxa média, *backlog* e atraso. Ou seja, alguns parâmetros essenciais para compor o conjunto de parâmetros objeto da caracterização.

6.2.1 Vídeos com diferentes conteúdos

6.2.1.1 Vídeos MPEG-2@720p de conteúdos diferentes

Este teste tem por objetivo avaliar o comportamento de vídeos de diferentes tipos de conteúdo (gênero) – vídeo de filme de ação (*Terminator – Exterminador do Futuro*) e outro vídeo de demonstração utilizado para verificar qualidade de imagem em TVs (*Sony*). As sequências de vídeo foram limitadas ao tamanho de 10 minutos (para uniformizar a análise). A Tabela 7 apresenta o resultado do teste dos vídeos de conteúdos diferentes codificados com MPEG-2.

Tabela 7. Taxa média e rajada – vídeos MPEG-2@720p

Vídeo / Parâmetro	Filme (Terminator)	Demonstração (Sony)
Taxa média [r] (Mbps)	1,9	1,6
Tam. Rajada [b] (Mb)	94,9	71,3
Taxa Rajada (Mbps)	11,3	13,2
Tempo Rajada [T] (s)	8,4	5,4

O vídeo do filme apresentou a taxa média e o tamanho de rajada com valores maiores em comparação ao vídeo de demonstração. Este comportamento se deve à maior variabilidade de um vídeo com filme de ação, nesta comparação o filme exige 20% a mais de taxa média e a rajada é cerca de 30% maior que a exigência do vídeo de demonstração. A taxa de rajada está ligada ao tamanho do maior quadro do vídeo (tamanho do quadro multiplicado por 30 qps). Neste ponto, o vídeo de demonstração tem um valor maior (próximo a 20%) quando comparado ao filme. Este comportamento é explicado pelo fato de que os vídeos de demonstração normalmente têm imagens com uma riqueza de detalhes bastante considerável o que gera quadros de referência (tipo I) com tamanho maior. O tempo de rajada é consequência da relação do tamanho da rajada e a taxa.

As informações de taxa média, tamanho da rajada e tempo de rajada dão informações suficientes para compor a curva de chegada (r, b, T) que representa o

vídeo. Deste modo, partindo da análise de NC, a sequência analisada do Filme (*Terminator*) poderia ser representada por (1,9; 94,9; 8,4) e o vídeo de demonstração (1,6; 71,3; 5,4). A Figura 37 ilustra as curvas de chegada obtida para os vídeos dos conteúdos demonstração e filme junto com as respectivas função cumulativa e taxa média.

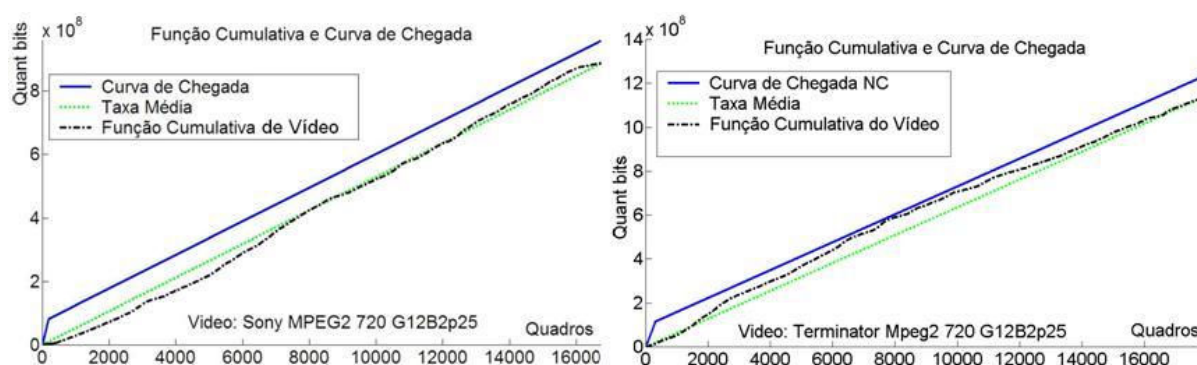


Figura 37 – Função cumulativa e curva de chegada – Vídeos: (Sony e Terminator)

As curvas de chegada dos vídeos de demonstração (*Sony*) e Filme (*Terminator*) apesar de serem parecidas apresentam peculiaridades. O vídeo do filme (*Terminator*) tem o tamanho de rajada e taxa média maiores que no vídeo de demonstração (conforme apresentado na Tabela 7).

Após levantar as curvas de chegada, o próximo passo é submetê-las à análise com as curvas de serviço. As curvas de serviço escolhidas representam conexões ADSL com as seguintes taxas nominais ou de serviço: 8Mbps, 4Mbps, 2Mbps, 1Mbps. Na Figura 38 são apresentadas as curvas de chegada e serviço para os vídeos de demonstração (*Sony*) e filme (*Terminator*).

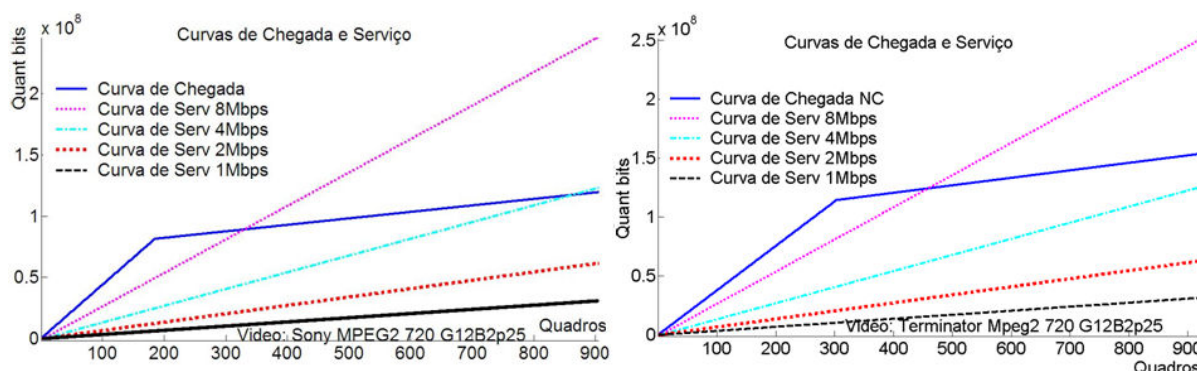


Figura 38 – Vídeos: MPEG-2@720p (Sony e Terminator) – curvas de chegada e serviço (1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps)

Analisando a Figura 38 é possível comparar as taxas de rajada e taxas média em relação às curvas de serviço. Em ambos os vídeos, a taxa de rajada da curva de

chegada de cada vídeo é maior que a taxa de serviço das quatro curvas, desta forma, *backlog* e atraso são gerados. As taxas média das curvas de chegada dos vídeos são um pouco menores que a taxa de serviço da curva de 2Mbps, ou seja, esta curva de serviço atende as taxas. O objetivo da análise da curva de chegada relacionada à curva de serviço é para extrair as informações de tamanho de fila (*backlog*) e atraso virtual. A Tabela 8 mostra o resultado para cada vídeo.

Tabela 8. *Backlog* e atraso virtual – MPEG-2@720p

Curva Serviço	Vídeo / Parâmetro	Filme (Terminator)	Demonstração (Sony)
1 Mbps	<i>Backlog</i> (Mbits)	622,9	386,7
	Atraso (s)	608,3	377,6
2 Mbps	<i>Backlog</i> (Mbits)	93,8	69,0
	Atraso (s)	45,8	33,7
4 Mbps	<i>Backlog</i> (Mbits)	73,4	56,6
	Atraso (s)	17,9	13,8
8 Mbps	<i>Backlog</i> (Mbits)	32,6	31,9
	Atraso (s)	3,9	3,9

Embora a avaliação gráfica não permita inferir que existam grandes diferenças para os valores de *backlog* e atraso para os dois vídeos, através da Tabela 8 é possível observar o impacto da composição de cada curva nestes parâmetros. Para taxa de serviço de 1Mbps ambos os vídeos tiveram tamanho de fila e atraso bastante significativos. Justamente devido à taxa média de ambos os vídeos ser maior que a taxa de serviço. No caso do filme de ação, o atraso foi quase duas vezes maior que no vídeo de demonstração. No cenário com taxa de serviço de 2Mbps, o filme tem atraso e *backlog* cerca de 35% maior que no vídeo de demonstração. Para este caso a taxa média é atendida em ambos os vídeos. Para a taxa de serviço de 4Mbps o *backlog* e o atraso virtual para o filme de ação é cerca de 30% maior que para demonstração. O *backlog* e o atraso virtual para taxa de serviço de 8Mbps praticamente não se observam diferenças entre os vídeos. A diferença aparece quando os recursos são limitados. Neste caso, os parâmetros calculados que caracterizam o vídeo (r, b, T) (taxa média, rajada e tempo de rajada) conseguem refletir adequadamente esta diferença.

6.2.1.2 Vídeos H264/1080i de conteúdos diferentes

Grande parte dos dispositivos multimídia tem oferecido a possibilidade de reprodução dos vídeos em alta definição. Muito conteúdo originalmente foi concebido em resoluções menores que a resolução “Full HD” (1920x1080p), por

exemplo a resolução de 720p. Para disponibilizar este conteúdo numa resolução maior foi aplicado o conceito de varredura não-progressiva ou interpolado. Com a aplicação desta propriedade, o vídeo passa a assumir uma resolução de 1920 colunas por 1080 linhas (de fato a imagem é $1920 \times 1080 / 2$ porque ele é interpolado). Este teste analisa dois vídeos de conteúdos diferentes: documentário sobre Marte (*Mars*) e um programa de entrevista (*Talkshow*), ambos na resolução 1080i no padrão H264 à 30 qps. A ideia é comparar vídeos de conteúdos diferentes codificados em H264 na resolução 1080i e levantar informações sobre as características dos vídeos nestas condições. Como o vídeo de documentário tem maior variabilidade do que o vídeo de entrevista, é esperado que a taxa média, tamanho de rajada e taxa de rajada sejam maiores. A Tabela 9, apresenta os valores que compõem as curvas de chegada dos vídeos “*Mars*” e “*Talkshow*”.

Tabela 9. Parâmetros das curva de chegada – Vídeos H264@1080i_30qps

Vídeo / Parâmetro	Documentário (Mars)	Entrevista (Talkshow)
Taxa média (Mbps)	3,4	1,6
Tam. Rajada [b] (Mb)	119,5	60,7
Taxa Rajada (Mbps)	78,4	23,1
Tempo Rajada [T] (s)	1,5	2,6

A taxa média e o tamanho da rajada do vídeo *Mars* foi aproximadamente o dobro que no vídeo de entrevista. E a taxa de rajada foi cerca de três vezes maior. Desta forma, acredita-se que o vídeo de documentário apresente muitas mudanças de cena em comparação ao outro vídeo, o que caracteriza alta variabilidade. A Figura 39 apresenta a curva de chegada para os vídeos de documentário (*Mars*) e de entrevistas (*Talkshow*).

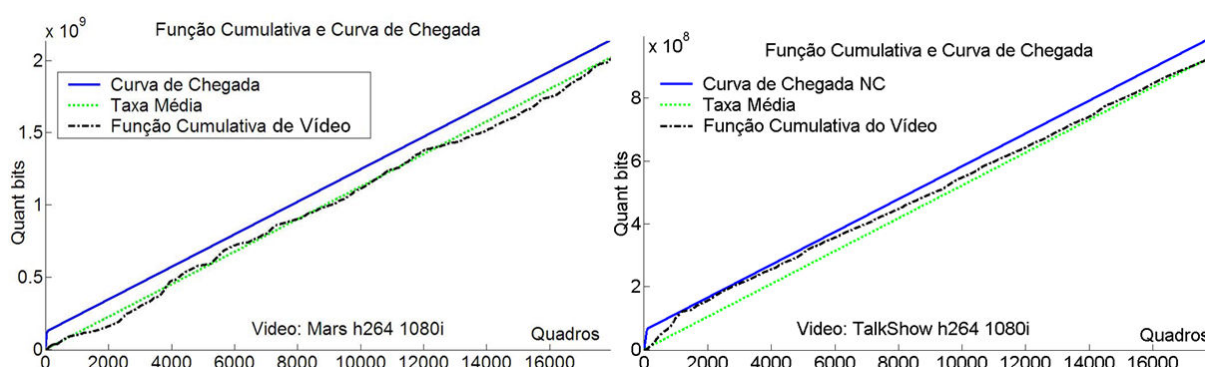


Figura 39 – Função cumulativa e curva de chegada – *Mars* e *Talkshow* H264@1080i

Analisando a função cumulativa é possível observar maior variabilidade no vídeo de documentário (*Mars*), os valores da função cumulativa variaram em relação à média, gerando um tamanho de rajada maior. No caso do vídeo de entrevistas

(*Talkshow*) houve um período de rajada inicial e na sequência o vídeo apresentou pouca variabilidade. Para avaliação do comportamento das curvas de chegada em diferentes cenários. Na Figura 40 são apresentadas as curvas de serviço com taxas de 1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps para os vídeos de documentário e entrevista.

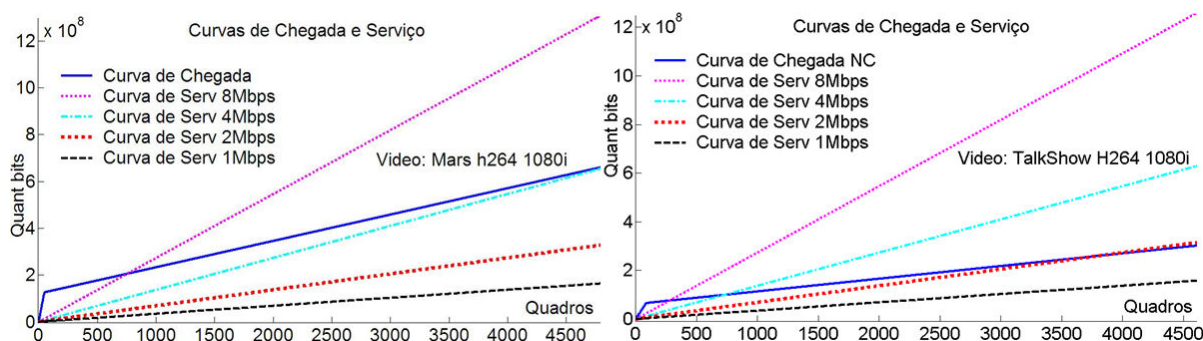


Figura 40 – Curva de chegada (vídeos H264@1080i Mars e Talkshow) e curvas de serviço

A curva de chegada do vídeo de documentário (*Mars*) tem taxa média superior a taxa de serviço de 2Mbps, diferentemente do vídeo de entrevistas que com taxa média de 1,6 Mbps pode ser atendida por esta curva de serviço. Desta forma, caso a sequência de vídeo fosse infinita, o *backlog* para o vídeo de documentário também seria. Já as curvas de serviço com taxas de 4 e 8 Mbps atendem as curvas de chegada dos dois vídeos. Com a análise das curvas de chegada em relação às curvas de serviço é possível obter os parâmetros NC – *backlog* e atraso virtual. Essas informações são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Backlog e atraso virtual – H264@1080i – 30qps

Curva Serviço	Vídeo / Parâmetro	Documentário (Mars)	Entrevista (Talkshow)
1 Mbps	Backlog (Mb)	1531,7	385,8
	Atraso (s)	1495,8	376,7
2 Mbps	Backlog (Mb)	917,4	59,9
	Atraso (s)	447,9	29,2
4 Mbps	Backlog (Mb)	119,5	54,3
	Atraso (s)	29,2	13,3
8 Mbps	Backlog (Mb)	113,5	43,3
	Atraso (s)	13,8	5,3

De acordo com a Tabela 10, para curva de serviço de 1Mbps os atrasos e *backlog* tiveram valores expressivos. O atraso ficou em alguns minutos e o *backlog* para o vídeo *Mars* passou de 1Gbit. O documentário exigiu cerca de quatro vezes mais que o vídeo de entrevista. Para a taxa de serviço de 2Mbps, o *backlog* do vídeo *Mars* ficou pouco abaixo de 1Gbit e o atraso continuou em alguns minutos. Em

contrapartida, o vídeo de entrevista teve um ganho significativo – atraso menor que um minuto. O valor diminui 13 vezes, pois a taxa média é atendida. À medida que as taxas de serviço aumentam (4 Mbps e 8 Mbps) as taxas médias de ambos os vídeos passam a ser atendidas e a diferença entre os resultados de *backlog* e atraso dos vídeos *Mars* e *Talkshow* voltam a apresentar a proporcionalidade verificada nos parâmetros taxa média, tamanho e taxa de rajada das curvas de chegada.

6.2.2 Vídeos com diferentes taxas de compressão

Os vídeos MPEG podem ser codificados com diferentes taxas de compressão, ou seja, o quociente do número de *bits* na imagem comprimida pelo número de bits na imagem original. Para o vídeo de conteúdo de filme (*Silence – Silêncio dos Inocentes*) no formato QCIF (176x144 usada para transmissão sem fio) com 25 quadros por segundo (@25qps) e duração de 10 minutos, as taxas de compressão foram 13 (qualidade alta), 43 (qualidade média) e 72 (qualidade baixa). Os resultados são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11. Taxa média e rajada – vídeos MPEG-4@QCIF

Vídeo / Parâmetro	Qualidade Alta	Qualidade Média	Qualidade Baixa
Taxa média [r] (kbps)	876,4	307,1	180,9
Tam. Rajada [b] (Mb)	127,6	54,0	29,8
Taxa Rajada (Mbps)	4,4	2,4	2,3
Tempo Rajada [T] (s)	28,7	22,7	13,2

De acordo com a Tabela 11 é possível observar que o nível de compressão do vídeo influencia fortemente os parâmetros do tráfego gerado. A taxa de compressão para o vídeo baixa qualidade é 5,5 vezes maior que o vídeo de alta qualidade e 1,7 vezes maior que a qualidade média. Seguindo essa proporcionalidade, a taxa média para o vídeo de alta qualidade foi cerca de cinco vezes maior que na configuração de qualidade baixa. Já o de qualidade média em relação ao de baixa foi de 1,7. O tamanho da rajada segue uma relação bastante próxima a proporcionalidade citada. De acordo com os resultados, os valores de proporcionalidade das taxas de compressão de cada vídeo, estão fortemente ligados ao tamanho de rajada e taxa média. Enquanto a taxa de rajada teve menor influência das taxas de compressão. Como os quadros de tamanho máximo dos vídeos de baixa e média qualidade tem tamanhos próximos, as taxas de rajada tiveram valores próximos. A Figura 41 mostra as curvas de chegada para os vídeos

de baixa, média e alta qualidades, resultado do levantamento feito através da função cumulativa e taxa média da sequência de cada vídeo.

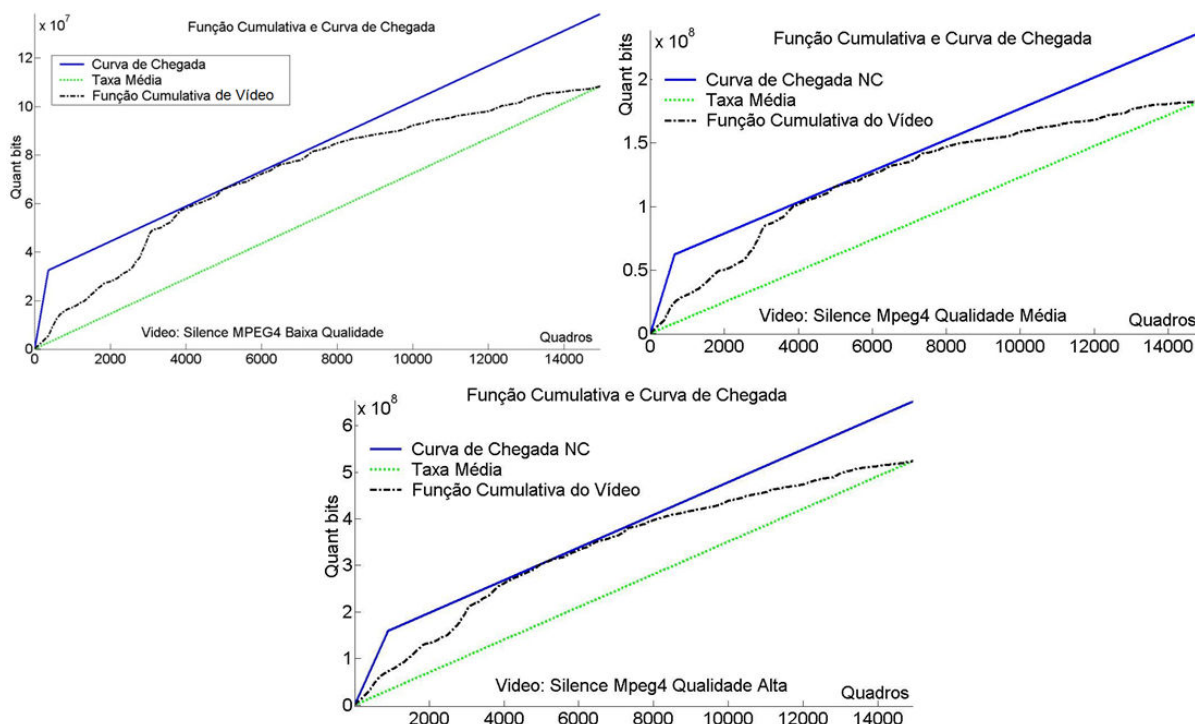


Figura 41 – Função cumulativa e curva de chegada – qualidade baixa - QCIF

Na Figura 41 é possível observar que as funções cumulativas dos três vídeos mantêm a proporcionalidade. Conforme apresentado na Tabela 11, os valores de rajada e taxa média aumentam à medida que a qualidade dos vídeos aumenta. O valor elevado da rajada é devido à alta variabilidade das cenas do vídeo. A Figura 42 ilustra as curvas de chegada para os vídeos de qualidade baixa, média e alta e as curvas de serviço com taxas de serviço de 1Mbps, 512kbps, 256kbps e 128kbps.

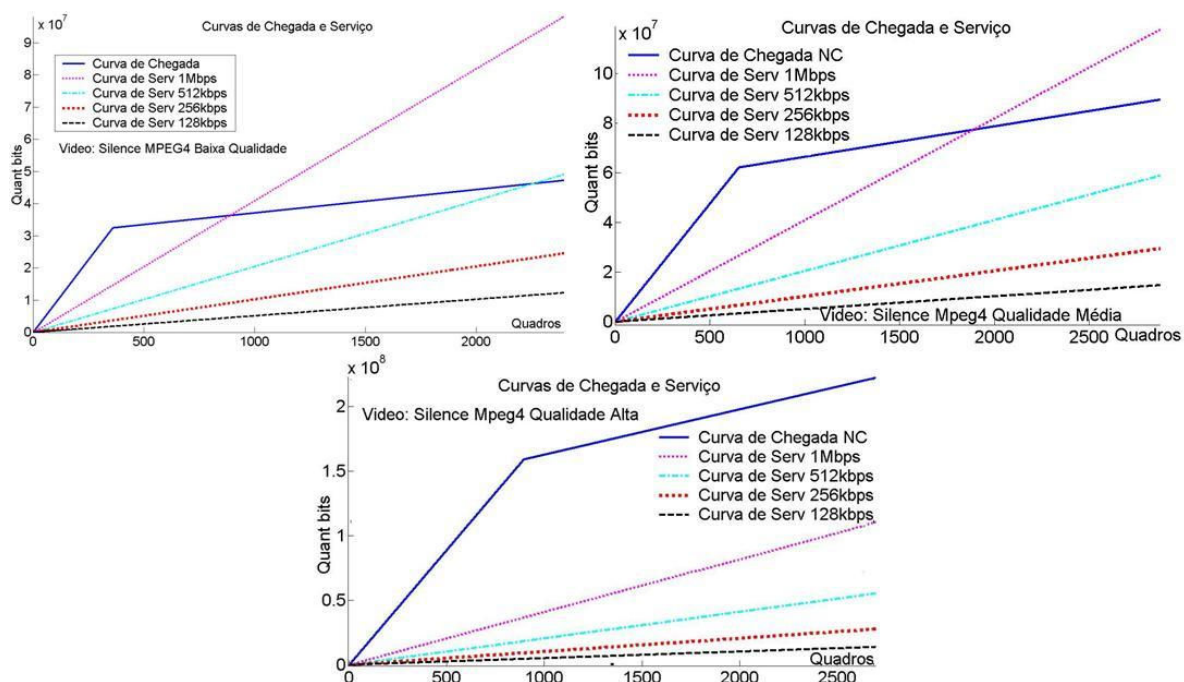


Figura 42 – Vídeos: MPEG-4@QCIF (*Silence*) – curvas de chegada nas qualidades baixa, média e alta e curvas de serviço (128kbps, 256kbps, 512kbps e 1Mbps)

De acordo com a Figura 42 e a Tabela 11, as taxas média das curva de chegada dos vídeos de baixa, média e alta qualidade ficam abaixo de 256kbps, 512kbps e 1Mbps respectivamente. A curva de serviço com taxa de 128kbps é menor que as taxas média dos três vídeos, neste caso, o *backlog* seria infinito, porém por se tratar de uma sequência finita, o *backlog* passa a ser finito. As taxas de rajada foram maiores que 2Mbps, neste caso os valores são maiores que as taxas de serviço, o que implica em *backlog* e atraso virtual nas sequências. De forma geral, a Tabela 12 exhibe os resultados de *backlog* e atraso para os vídeos de baixa, média e alta qualidades.

Tabela 12. Backlog e atraso virtual – MPEG-4@QCIF – qualidade alta, média, baixa

Curva Serviço	Vídeo / Parâmetro	Qualidade Alta	Qualidade Média	Qualidade Baixa
128 kbps	<i>Backlog</i> (Mbits)	576,7	161,5	61,6
	Atraso (s)	4504,7	1261,8	481,4
256 kbps	<i>Backlog</i> (Mbits)	499,8	84,7	28,8
	Atraso (s)	1952,4	331,0	112,4
512 kbps	<i>Backlog</i> (Mbits)	346,3	48,8	25,1
	Atraso (s)	676,3	95,3	49,1
1Mbps	<i>Backlog</i> (Mbits)	122,4	35,5	17,8
	Atraso (s)	119,6	34,7	17,4

A Tabela 12 expõe que os atrasos para a curva de serviço de 128kbps chegam a algumas dezenas de minutos. O *backlog* diminui de uma a duas vezes à medida que a taxa de serviço dobra. Porém, o atraso chega a diminuir quase seis vezes quando a taxa de serviço passou de 512kbps para 1Mbps. O que mostra que o atraso foi mais influenciado pela mudança da taxa de serviço do que o *backlog*.

É possível observar que as diferentes compressões acentuam as diferenças entre taxa média e rajada, sendo maiores para vídeos de baixa qualidade. Porém, observando o efeito do aumento da taxa de serviço (1Mbps), as diferenças se mantêm. Ou seja, o aumento da taxa de serviço não deixou os valores próximos porque para a maior taxa de serviço, as taxas de rajada ainda não são atendidas. Em outras palavras, a variação da taxa de compressão é um efeito diferente do observado para diferentes conteúdos, pois as diferenças entre os vídeos de qualidades diferentes se mantiveram. Aparentemente, há a amplificação geral dos efeitos (maior taxa média e rajada quando se incrementa a qualidade).

6.2.3 Vídeos com diferentes GoP e conteúdo

6.2.3.1 Vídeos MPEG-4 com diferentes GoP e conteúdo

A seção 2.1.1.3 descreve o GoP (*Group of Pictures*), a menor estrutura passível de decodificação em vídeos MPEG. O GoP é formado por quadros do tipo I, P e B. Neste tópico serão avaliadas quatro composições de GoP para quatro tipos de conteúdo: filme (*Silence*), documentário (*Tokyo*), demonstração (*Sony*), telejornal (*News*). A ideia é avaliar cada sequência de vídeo e analisar qual o impacto da formação do GoP na caracterização do vídeo. Outro julgamento diz respeito ao conteúdo do vídeo avaliação. O GoP inicia com um quadro de referência – tipo I, entre dois quadros deste tipo, existem quadros dos tipos P e B. A composição G16B1 tem a sequência (IBPBPBPBPBPBPBPB), G16B3 (IBBBPBBBBPBBBBPBBB), G16B7 (IBBBBBBBPBBBBBBB) e por fim o GoP com sequência com um único quadro I e o restante do tipo B, G16B15 (IBBBBBBBBBBBBBBBB). Com o aumento de quadros do tipo B na sequência, aumenta a complexidade do codificador de vídeo. Os 16 vídeos que compõem este teste são codificados em MPEG-4 a 30 quadros por segundo e têm resolução CIF. A Tabela 13 fornece os parâmetros (r, b, T) necessários para construção das curvas de chegada que caracterizam o vídeo.

Tabela 13. Taxa média e rajada – vídeos MPEG-4 com diferentes GoPs e conteúdos

Vídeo / Parâmetro		G16B1	G16B3	G16B7	G16B15	
Filme	Silence	Taxa média [r] (kbps)	167,5	213,1	279,9	357,4
		Tam. Rajada [b] (Mb)	14,9	15,9	15,1	11,4
		Taxa Rajada (Mbps)	1,4	1,4	1,4	1,4
		Tempo Rajada [T] (s)	10,9	11,6	11	8,3
Demonstração	Sony	Taxa média [r] (kbps)	166,2	198,5	261,3	345,8
		Tam. Rajada [b] (Mb)	12,7	14,7	16,7	16
		Taxa Rajada (Mbps)	1,6	1,6	1,6	1,6
		Tempo Rajada [T] (s)	7,9	9,1	10,3	9,9
Documentário	Tokyo	Taxa média [r] (kbps)	144,6	172,6	219,1	286,2
		Tam. Rajada [b] (Mb)	15,5	15,1	14,1	13,4
		Taxa Rajada (Mbps)	1,2	1,2	1,2	1,2
		Tempo Rajada [T] (s)	13,2	12,9	12	11,4
Telejornal	News	Taxa média [r] (kbps)	204,7	234,7	290,8	366,2
		Tam. Rajada [b] (Mb)	9	8,9	8	6,3
		Taxa Rajada (Mbps)	2	2,1	2,1	2
		Tempo Rajada [T] (s)	4,4	4,2	3,8	3,1

Com os valores de parâmetros (r, b, T) é possível obter as curvas de chegada de cada vídeo. Como forma comparativa, as taxas médias e taxa de rajada foram maiores no vídeo de telejornal. Na avaliação do GoP G16B3, o tamanho da rajada apresentou um resultado interessante em relação ao conteúdo. Os maiores valores foram encontrados nos vídeos de filme, documentário, demonstração e telejornal respectivamente. Justamente relacionado à variabilidade da sequência. Esta ordem nos tamanhos das rajadas aparentemente está ligada à mudança maior de cenas dos conteúdos de cada tipo de vídeo. A Figura 43 apresenta quatro subfiguras com as curvas de chegada de quatro conteúdos diferentes de vídeo (filme, documentário, demonstração e telejornal).

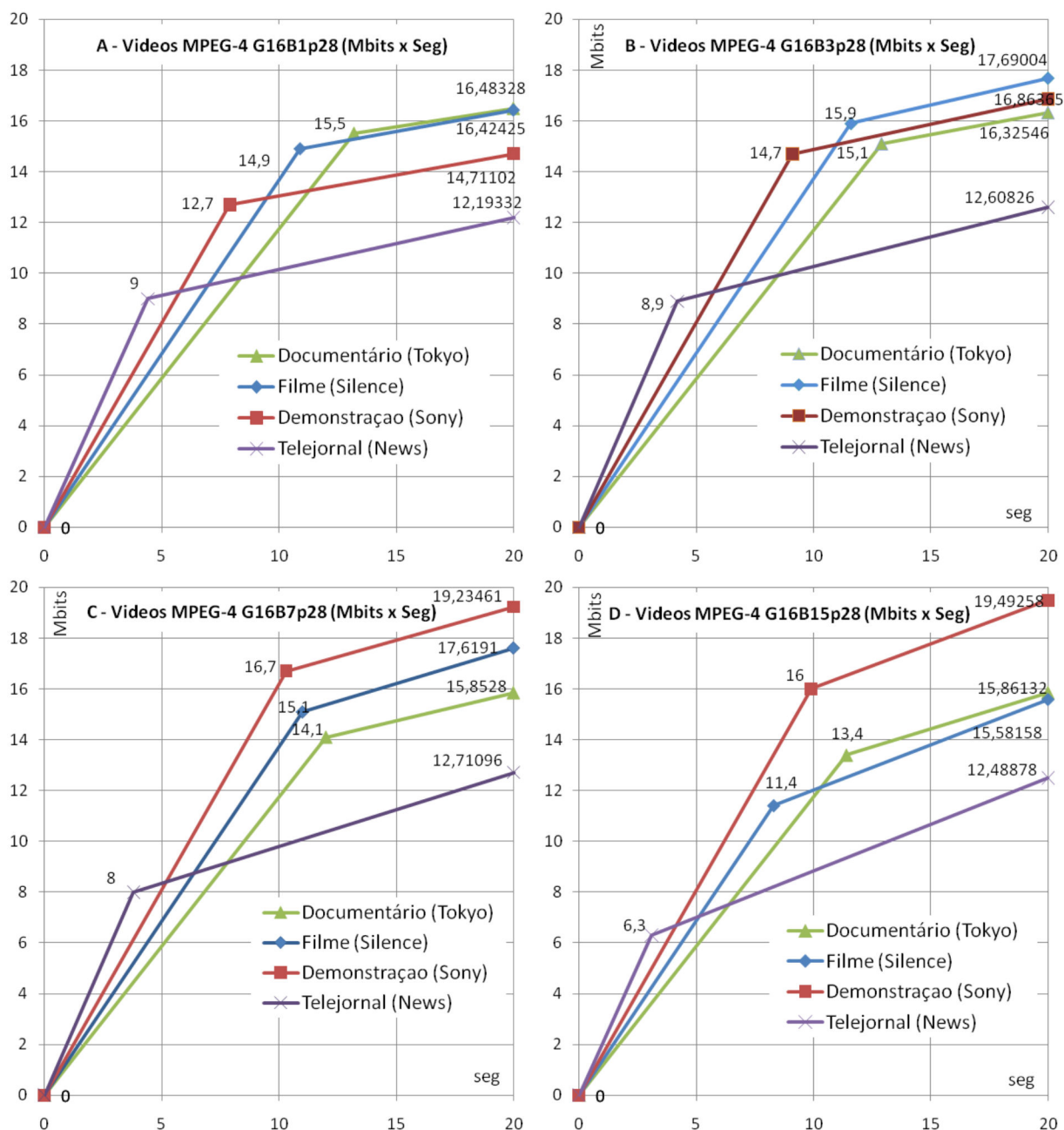


Figura 43 – Vídeos MPEG-4@CIF 30qps – 4 conteúdos x 4 formatos de GoP

No gráfico A da Figura 43, a avaliação foi feita sobre o GoP (G16B1). As maiores rajadas dos vídeos, em ordem, foram: documentário, filme, demonstração com valores próximos e telejornal com valor menor. As taxas médias tiveram valores próximos (abaixo de 256kbps), o maior valor ficou para o vídeo do telejornal. Em relação ao gráfico B – GoP (G16B3), a taxa média dos quatro vídeos aumentou (ainda abaixo de 256kbps) entre 15% (telejornal) e 27% (filme), a rajada diminuiu levemente para o documentário e telejornal e aumentou nos outros dois vídeos. No gráfico C – GoP (G16B7), as taxas médias dos quatro vídeos aumentaram cerca de 30%. O vídeo de demonstração aumentou o tamanho da rajada enquanto os outros

vídeos diminuíram. No formato de GoP - G16B15 (gráfico D) as rajadas diminuíram de valor para todos os vídeos, mas em contrapartida, as taxas médias aumentaram em 30%. Pelas figuras, o efeito mais pronunciado é que o aumento de quadros B permitiu diferenciar melhor os conteúdos. Na figura A, os parâmetros (r, b, T) estão mais próximos que na figura D, o que permite inferir que para vídeos MPEG-4, o controle do número de quadros B permitiria caracterizar melhor o conteúdo. De maneira geral, o melhor desempenho dos formatos de GoP em relação à compressão foi a composição G16B1, apesar de que em alguns casos as rajadas diminuiram a medida que o número de quadros do tipo B aumentavam na sequência, as taxas médias aumentaram cerca de 30% com o aumento de quadros do tipo B.

A Figura 44 apresenta um comparativo relativo de quatro séries de dados que representam a taxa média (kbps), tamanho da rajada (Mbits), taxa da rajada (Mbps) e tempo de rajada (s) – parâmetros de composição da curva de chegada.

Gráfico - Vídeo MPEG4@30qps CIF - Comparativo relativo (%) - Parâmetros Curvas de Chegada
Taxa média (kbps), tamanho da rajada (Mbits), Taxa Rajada (Mbps) e tempo de duração da rajada (seg)
Conteúdo: Telejornal, Demonstração, Documentário, Filme - GoPs G16B1, G16B3, G16B7, G16B15

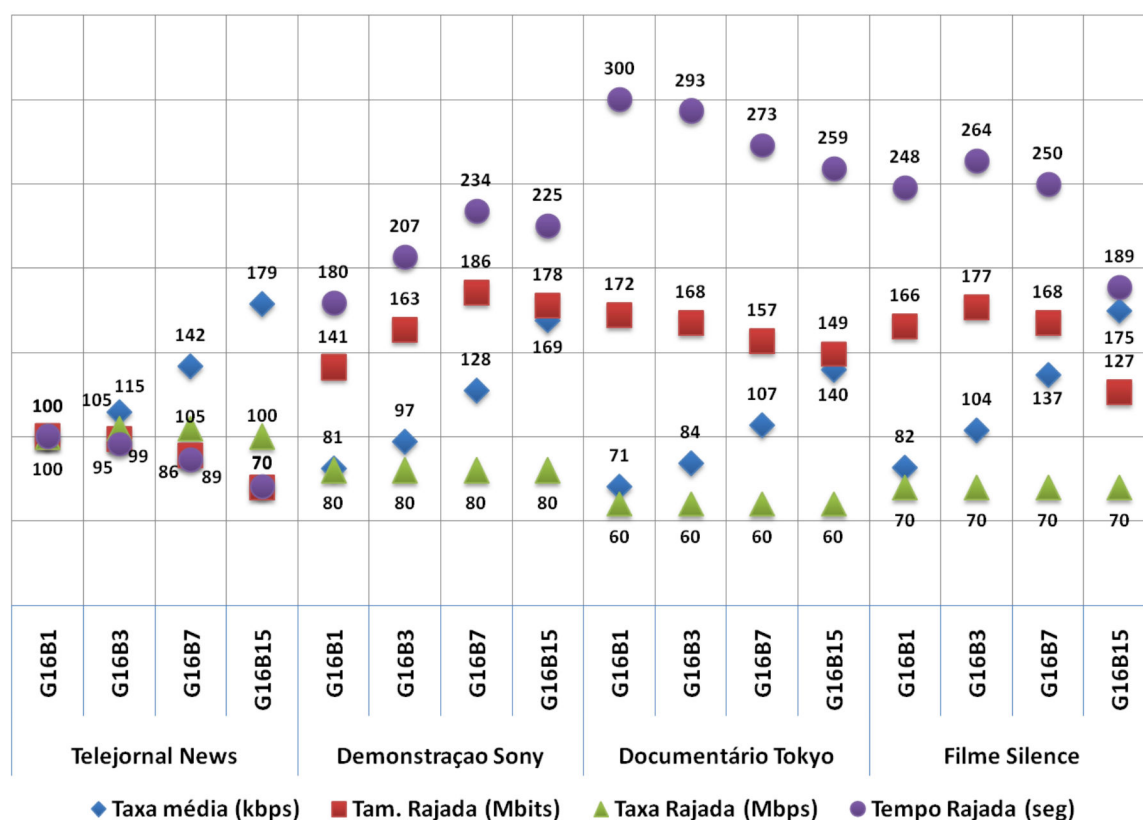


Figura 44 – MPEG-4@30qps CIF – Comparativo parâmetros curva de chegada

De acordo com a Figura 44, é possível observar que a taxa média aumentou à medida que maiores sequências de quadros do tipo B eram inseridos no GoP. O tamanho de rajada e tempo de rajada apresentaram comportamentos semelhantes. No caso dos vídeos de telejornal e demonstração, o tamanhos da rajada e tempo de rajada tiveram maior redução quando maiores sequências de quadros do tipo B compunham o GoP. Na maioria dos vídeos a taxa de rajada permaneceu inalterada. Em relação aos conteúdos de vídeo, o documentário obteve as menores taxas média, mas em contrapartida os maiores tempos de rajada. Os menores tamanhos de rajada e tempo de rajada ficaram com o telejornal, mas por outro lado, as taxas de rajada foram as maiores entre os quatro vídeos. No GoP G16B1, resultado para o MPEG-4 com menor exigência de recursos. O tamanho da rajada foi maior para os vídeos de filme e documentário, o vídeo de demonstração ficou levemente abaixo e o vídeo de telejornal teve um valor bem reduzido. O que leva a inferir que o tamanho da rajada pode estar relacionado ao tipo de conteúdo.

As curvas de chegada obtidas para os quatro tipos de conteúdo em quatro formatos de GoP diferentes foram submetidas a quatro curvas de serviço compostas pelas taxas de serviço (128kbps, 256kbps, 512kbps, 1Mbps). O gráfico da Figura 45 é no formato radar, onde cada um dos eixos representa um tipo de vídeo submetido a uma determinada curva de serviço. Os valores de cada eixo estão em escala logarítmica com base 2, este artifício foi necessário para facilitar a representação e comparação dos vídeos em cada composição de GoP submetido a diferentes curvas de serviço.

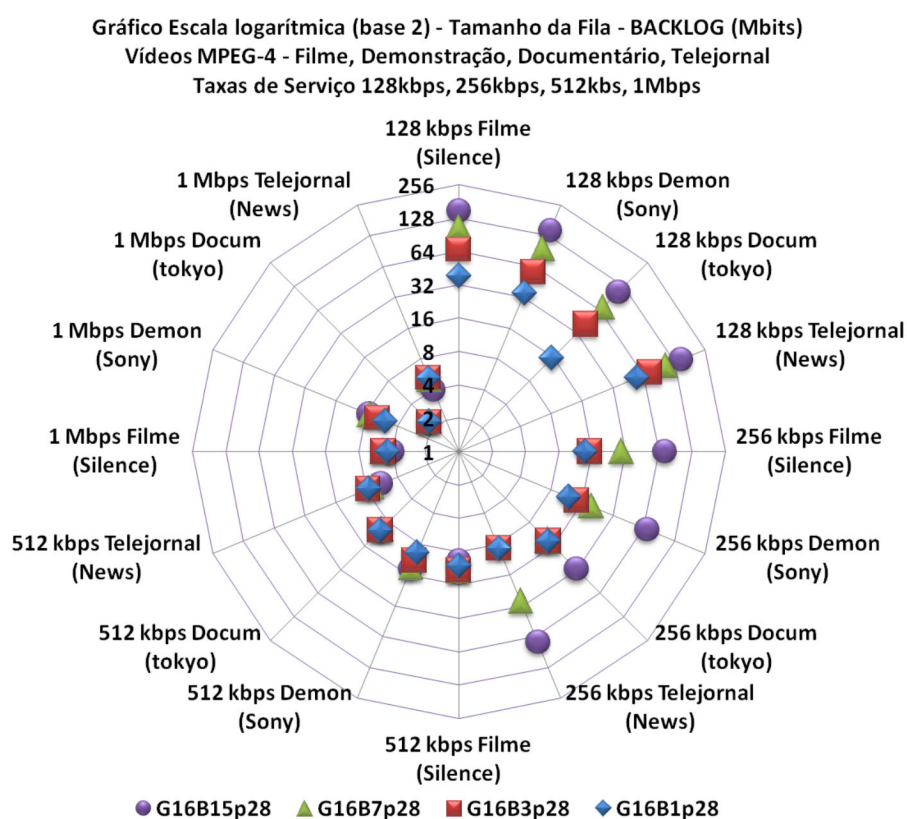


Figura 45 – MPEG-4@CIF_30qps – backlog para 4 conteúdos x 4 formatos de GoP

No gráfico da Figura 45, quatro tipos de sequência de dados são destacados representando os tipos de GoP (G16B1, G16B3, G16B7 e G16B15). Fica evidente pela figura que a composição que exige o maior tamanho de fila (*backlog*) é o G16B15 e a menor exigência fica com o G16B1. Em relação às curvas de serviço, quando a taxa de serviço não atende a taxa média das curvas de chegada, fica de fácil visualização a diferença entre as composições de GoP, este é o caso da curva de serviço com taxa de 128kbps. Quando as taxas de serviço ficam muito próximas da taxa média da curva de chegada do vídeo, há uma influência maior da natureza do vídeo e das rajadas (taxa de serviço de 256kbps). O cenário em que o comportamento dos vídeos tiveram requisitos de *backlog* próximos foi com a curva de serviço com taxa de 512kbps. Este caso é explicado pelo fato de que as taxas médias de todos os vídeos ficaram abaixo deste valor e as taxas de rajadas das curvas de chegada ficaram com um valor bem superior. Por fim, considerando a curva de serviço com taxa de serviço de 1Mbps, verifica-se outro cenário, neste caso, todas as taxas médias de curva de chegada são atendidas pela taxa de serviço. Assim, vídeos que apresentem as taxas de rajada com valores mais próximos das taxas de serviço terão melhor desempenho, ou seja, exigirão menos

backlog. A Figura 46 retrata a avaliação do atraso do mesmo conjunto de vídeos detalhado acima.

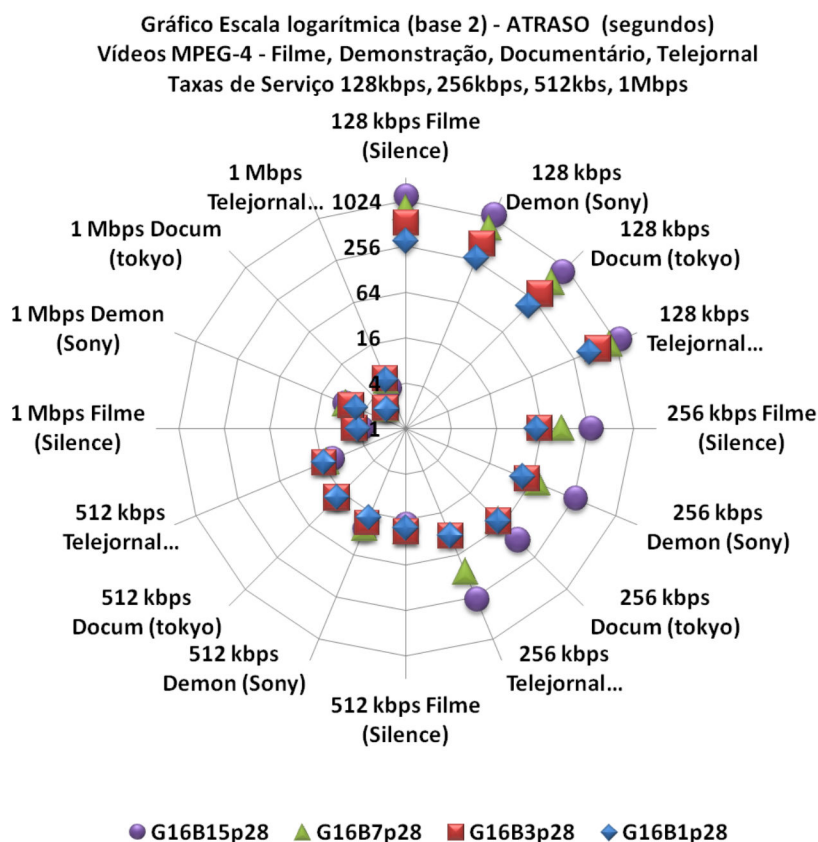


Figura 46 – MPEG-4@CIF_30qps – atraso para 4 conteúdos x 4 formatos de GoP

A semelhança entre as Figura 45 e Figura 46 é bastante evidente e explicada pela forte relação de dependência entre o *backlog* e atraso para esta combinação de curva de chegada e serviço. As conclusões em relação aos gráficos são bastante parecidas e podem ser aplicadas ao atraso.

A composição de GoP com formato G16B1 apresentou os melhores resultados em relação à economia de recursos, *backlog*, atraso e parâmetros de construção da curva de chegada de cada vídeo. Este comportamento era esperado, pois os codificadores MPEG-4 (diferentemente do H264) não foram concebidos para trabalhar com sequências maiores de quadros do tipo B consecutivos (VAN DER AUWERA,2008). Como no formato G16B1, cada quadro do tipo B tem um quadro do tipo P adjacente, não existem quadros B consecutivos.

6.2.3.2 Vídeos H264 com diferentes GoP e conteúdo

O H264 é um padrão de vídeo da família MPEG. Entre suas características, ele foi concebido para trabalhar com maiores sequências de quadros do tipo B consecutivos. Deste modo, esta sequência de testes irá apresentar um comparativo

entre os tipos de formação de GoP (G16B1, G16B3, G16B7, G16B15) para variados tipos de conteúdo (Telejornal, Demonstração, Documentário, Filme). O objetivo é levantar informações através de *Network Calculus* sobre o impacto do GoP na formação da curva de chegada.

A Figura 47 apresenta um comparativo relativo de quatro série de dados que representam a Taxa média [r] (kbps), tamanho da rajada (Mbits), taxa da rajada (Mbps) e tempo de rajada (seg) – parâmetros de composição da curva de chegada.

Gráfico - Vídeo H264@30qps CIF - Comparativo relativo (%) - Parâmetros Curvas de Chegada
Taxa média (kbps), tamanho da rajada (Mbits), Taxa Rajada (Mbps) e tempo de duração da rajada (seg)
Conteúdo: Telejornal, Demonstração, Documentário, Filme - GoPs G16B1, G16B3, G16B7, G16B15

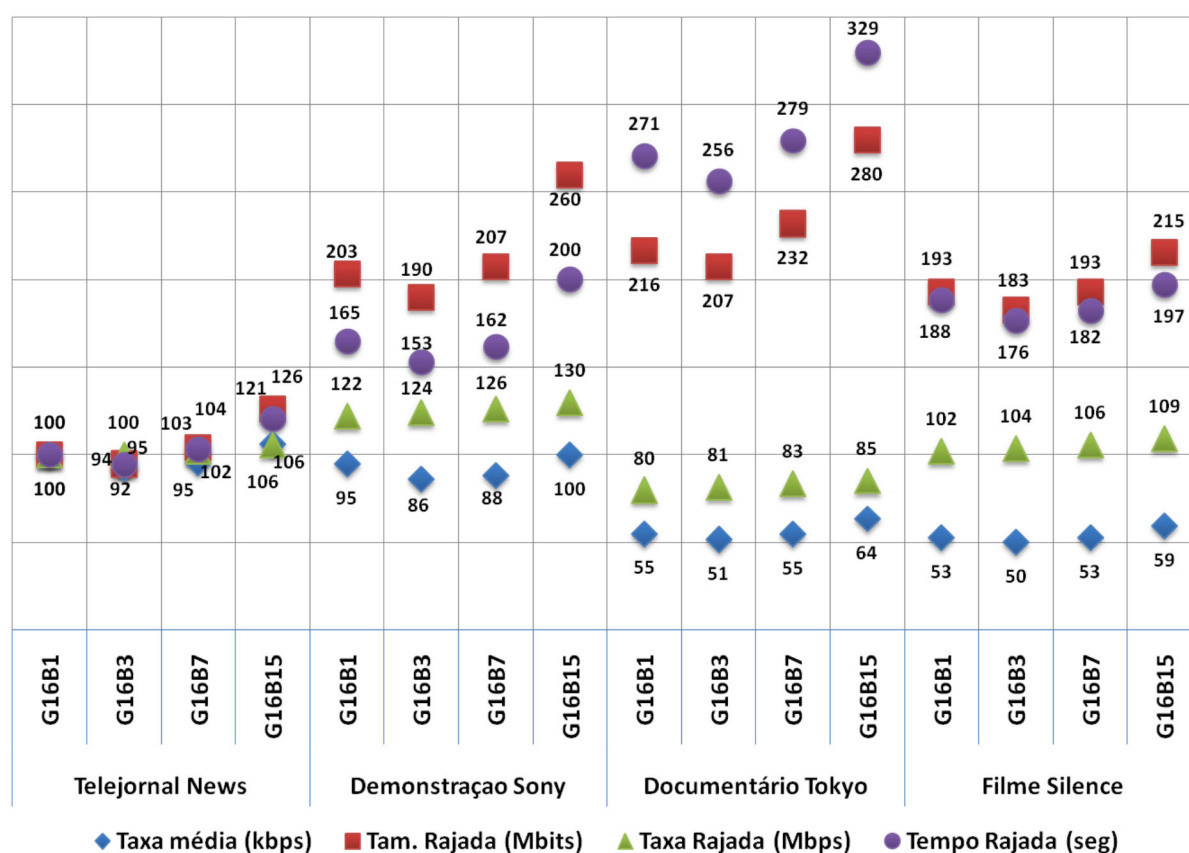


Figura 47 – H264@30qps CIF – Comparativo Parâmetros Curva de Chegada

Através do gráfico da Figura 47 é possível observar que os melhores resultados para este codificador H264 foi com o formato de GoP G16B3, resultado diferente do padrão MPEG-4 (G16B1). Em todos os tipos de conteúdos avaliados, o GoP G16B3 obteve as menores taxas média, tamanho e tempo de rajada (a taxa de rajada ficou estável). Deste modo, foi possível perceber a característica particular do H264 de trabalhar melhor com maiores sequências de quadros do tipo B consecutivos. Embora este seja um resultado interessante do ponto de vista de escolha de codificador e escolha de GoP para o padrão de vídeo. A ideia é comparar

os quatro tipos de vídeo e caracterizá-los. Partindo da composição de GoP de melhor resultado (G16B3) é possível verificar que a taxa média exigida nos vídeos de telejornal e demonstração foi praticamente o dobro que nos outros dois vídeos. O tamanho da rajada ficou maior para o documentário, demonstração e filme e bem menor para o vídeo de telejornal, aproximadamente a metade dos outros. A menor taxa de rajada foi no vídeo de documentário, pelo menos 20% menor que o restante dos vídeos.

Conforme já apresentado, os resultados de *backlog* e atraso virtual referentes às análises da curva de chegada quando submetida a curvas de serviço mostram que as conclusões das duas métricas são muito próximas, este fato também foi observado nas avaliações dos vídeos no formato H264. A Figura 48 apresenta os gráficos em radar das análises de backlog e atraso para os vídeos com composições de GoPs G16B1, G16B3, G16B7, G16B15 de quatro conteúdos de vídeo submetidos às curvas de serviço com taxas de serviço nos valores de 128kbps, 256kbps, 512kbps e 1Mbps.

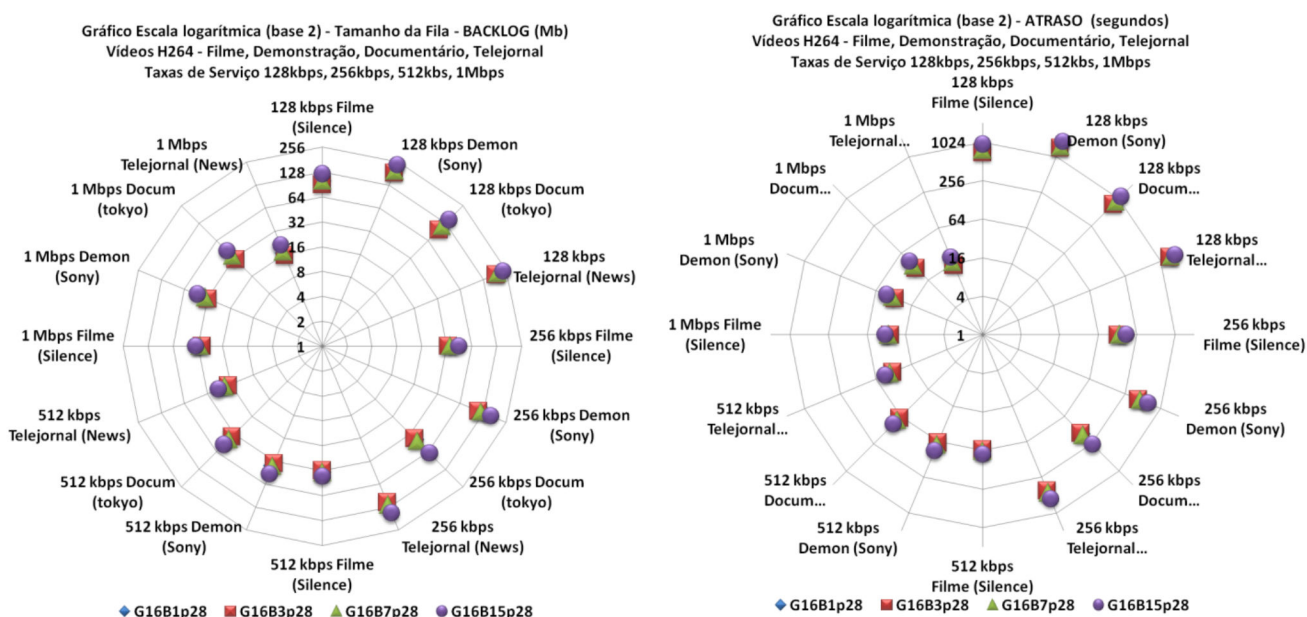


Figura 48 – H264@30qps CIF – Backlog e atraso – 4 conteúdos x 4 tipos de GoP

Nas análises de *backlog* e atraso, o GoP no formato G16B3 teve valores um pouco menores que os outros formatos. De maneira geral, o que os gráficos mostram é que o *backlog* e atraso são menos susceptíveis a variações do GoP quando se usa a codificação H264. As variações são devidas mais aos tipos ou conteúdo do vídeo e estão menos relacionadas à variação do GoP. Na primeira análise com a curva de serviço com taxa de 128kbps, os vídeos de filme e documentário apresentaram praticamente a metade do atraso que os outros vídeos.

Este cenário fica mais evidente ainda quando a taxa de serviço é de 256kbps, neste caso as taxas médias das curvas de chegada do filme e do documentário são atendidas pela taxa da curva de serviço, o que por consequência gera menos tamanho de fila e menor atraso (cerca de quatro vezes menos). Quando a curva de serviço utilizada é de 512kbps, o cenário muda completamente e o vídeo de telejornal que antes tinha um grande atraso e *backlog*, passa a ter a metade que os outros vídeos. Se comparado aos resultados da curva de 256kbps, o *backlog* diminui sete vezes e o atraso cerca de 12 vezes. Um resultado bastante significativo e explicado pela característica do vídeo telejornal de ter taxa média um pouco maior que os outros vídeos, mas em contrapartida o tamanho da rajada é bem menor que nos vídeos alta variabilidade, deste modo, quando a taxa média é atendida pela taxa de serviço da curva de serviço proposta, o atraso e *backlog* diminuem sensivelmente. Para a curva de serviço com taxa de 1Mbps em todos os vídeos o atraso diminui pela metade. Como a taxa de rajada é bem maior que a taxa de serviço e a taxa média das curvas de chegada do vídeos tem valores atendidos pela curva de serviço, a influência dessa taxa de serviço é menor.

6.2.3.3 Comparativo dos parâmetros das curvas de chegada dos vídeos MPEG-4 e H264

A Figura 49 mostra um comparativo do comportamento dos parâmetros taxa média, tamanho, taxa e tempo de rajada para os vídeos de quatro conteúdos e GoPs diferentes codificados em MPEG-4 e H264.

Gráfico - Vídeo H264 x MPEG-4 - Comparativo relativo (%) - Parâmetros Curvas de Chegada
Taxa média (kbps), tamanho da rajada (Mbits), Taxa Rajada (Mbps) e tempo de duração da rajada (seg)
Conteúdo: Telejornal, Demonstração, Documentário, Filme - GoPs G16B1, G16B3, G16B7, G16B15

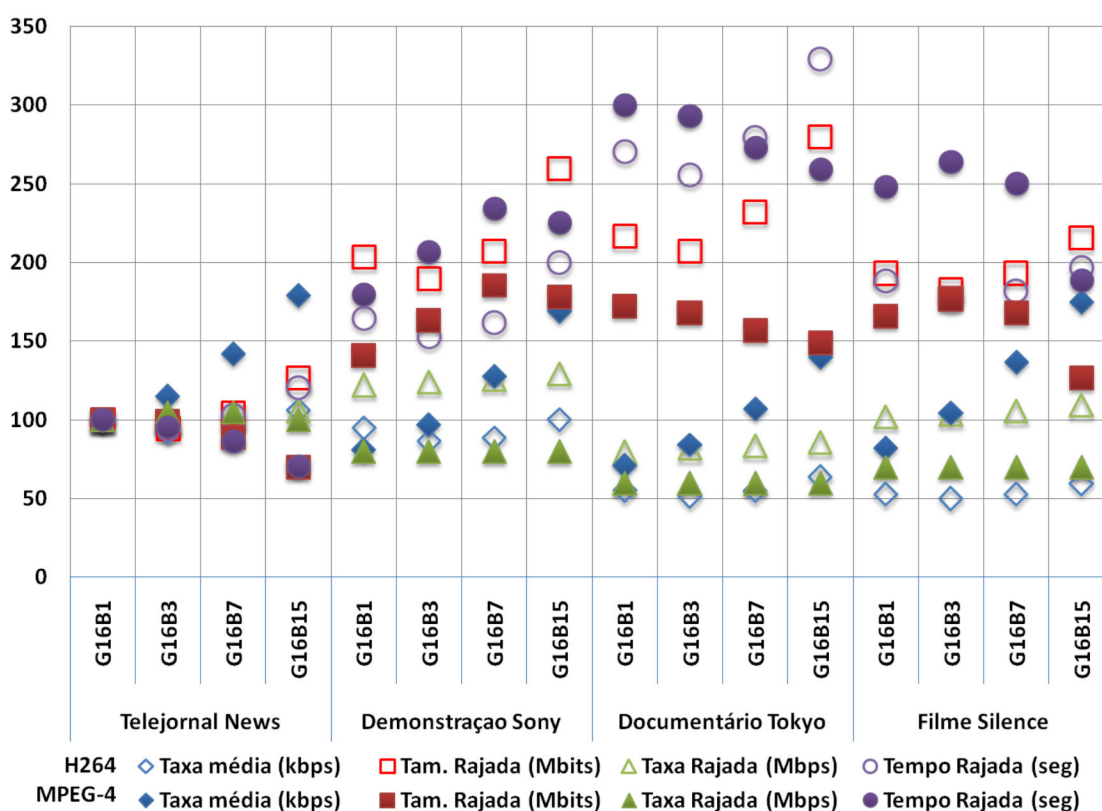


Figura 49 –Comparativo entre os parâmetros das curvas de chegada dos vídeos no formatos H264 e MPEG-4

Em relação à taxa média foi possível observar que para vídeos com codificação H264 os valores se mantêm constantes mesmo variando o formato do GoP, diferentemente do MPEG-4 que tende a aumentar quando são inseridos mais quadros do tipo B no GoP. Nos vídeos H264, o tamanho da rajada é maior nos vídeos codificados com GoP G16B15, já nos vídeos MPEG-4, o formato de GoP com mais quadros do tipo B obteve tamanhos menores de rajada. O parâmetro tempo de rajada teve comportamento semelhante ao tamanho de rajada. E por fim, as taxas de rajada dos vídeos H264 sofreram menor variação quando comparados aos vídeos codificados em MPEG-4. A taxa média diminui significativamente com vídeos H264 em relação ao MPEG-4 e tende a se manter quase inalterada com a variação dos GoPs.

6.2.4 Conclusão sobre o uso do NC

O *Network Calculus* foi aplicado aos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264. Os testes com os diversos vídeos procuraram analisar o efeito que diferentes conteúdos

e formatos têm sobre estes parâmetros (r, b, T , *backlog* e atraso). O NC se propõe a capturar características do vídeo através de três parâmetros da curva de chegada: r (taxa média), b (tamanho da rajada) e T (tempo de rajada). Estes valores podem ainda ser utilizados para se obter *backlog* e atraso, caso seja possível caracterizar uma curva de serviço.

Na avaliação do MPEG-2, o vídeo de filme, em comparação com o vídeo de demonstração, tem maior exigência em 20% na taxa média e cerca de 30% na rajada. O atraso e *backlog* para o vídeo do filme seguiram a mesma tendência, cerca de 30% a mais que a exigência do vídeo de demonstração. Um dos possíveis motivos é a utilização dos quadros de referência que são maiores devido à riqueza de detalhes do vídeo demonstração em relação ao filme, a taxa de rajada está ligada ao tamanho do maior quadro.

A aplicação de NC nos vídeos com padrão H264 na resolução 1080i forneceram resultados interessantes. A exigência do vídeo de documentário foi cerca de duas vezes o vídeo de entrevista. Neste caso, novamente o vídeo com maior mudança de cenas tem maiores níveis de exigência. Na análise de *backlog* e atraso, as reduções foram expressivas quando as curvas de chegada passam a ser atendidas pela curva de serviço que representa o sistema. Por exemplo, o vídeo de entrevista teve uma redução significativa no atraso, ele diminuiu 13 vezes quando a taxa de serviço foi dobrada (taxa nominal passou de 1Mbps para 2Mbps).

Para os vídeos com diferentes taxas de compressão, de acordo com os resultados, os valores de proporcionalidade das taxas de compressão de cada vídeo, estão fortemente ligadas ao tamanho de rajada e taxa média. Enquanto a taxa de rajada teve menor influência das taxas de compressão. É possível observar que as diferentes compressões acentuam as diferenças entre taxa média e rajada, sendo maiores para vídeos de baixa qualidade. A variação da taxa de compressão é um efeito diferente do observado para diferentes conteúdos. Pois, as diferenças entre os vídeos das três qualidades se mantiveram. Aparentemente, há a amplificação geral dos efeitos (maior taxa média e rajada quando se incrementa a qualidade).

Na análise comparativa entre formatos de GoP com vídeos MPEG-4 de conteúdos diferentes, o melhor desempenho no quesito compressão foi no formato G16B1. O tamanho da rajada apresentou um resultado interessante em relação ao conteúdo. Os maiores valores foram encontrados nos vídeos de filme, documentário,

demonstração e telejornal respectivamente. Justamente relacionado à variabilidade da sequência. Esta ordem nos tamanhos das rajadas aparentemente está ligada à mudança maior de cenas dos conteúdos de cada tipo de vídeo. Embora, a composição do GoP pareça ter influência no tamanho da rajada para vídeos MPEG-4. No formato de GoP – G16B15 – as rajadas diminuíram de valor para todos os vídeos, mas em contrapartida, as taxas médias aumentaram em 30%. O efeito mais pronunciado é que o aumento de quadros B permitiu diferenciar melhor os conteúdos. De maneira geral, o melhor desempenho dos formatos de GoP em relação à compressão foi a composição G16B1, apesar de que em alguns casos as rajadas diminuam a medida que o número de quadros do tipo B aumentavam na sequência, as taxas médias aumentaram cerca de 30% com o aumento de quadros do tipo B. Vídeos que apresentem as taxas de rajada com valores mais próximos das taxas de serviço terão melhor desempenho, ou seja, exigirão menos *backlog*. No GoP G16B1, resultado para o MPEG-4 com menor exigência de recursos. O tamanho da rajada foi maior para os vídeos de filme e documentário, o vídeo de demonstração ficou levemente abaixo e o vídeo de telejornal teve um valor bem reduzido. O que leva a inferir que o tamanho da rajada pode estar relacionado ao tipo de conteúdo.

No padrão H264, os melhores resultados foram obtidos no formato de GoP G16B3 (confirmando a característica do H264 de tratamento diferenciado para maiores sequências de quadros B consecutivos). O tamanho da rajada ficou maior para o documentário, demonstração e filme e bem menor para o vídeo de telejornal. O *backlog* e atraso são menos susceptíveis a variações do GoP quando se usa a codificação H264. As variações são devidas mais aos tipos ou conteúdo do vídeo e estão menos relacionadas à variação do GoP. A taxa média diminuiu significativamente com vídeos H264 em relação ao MPEG-4 e tende a se manter quase inalterada com a variação dos GoPs.

Em linhas gerais, nos padrões de vídeo para os padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264. Quando as taxas média das curvas de chegada dos vídeos não são atendidas pelas taxas de serviço, existe uma grande influência da taxa média no resultado de *backlog* e atraso. Caso a taxa média dos vídeos seja menor que a taxa de serviço, as diferenças entre os vídeos fica fortemente influenciada pelo tamanho de rajada e taxa média. Quando a taxa média é atendida, as diferenças do tamanho de rajada e taxa média para todos os vídeos são encontradas também nos parâmetros de

backlog e atraso. Na situação em que a taxa de serviço é maior que a taxa de rajada dos vídeos, qualquer conteúdo de vídeo tem resultados de *backlog* e atraso muito próximos.

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que os parâmetros do NC são capazes de capturar diferentes informações para conteúdos de vídeo diferenciados. Ao comparar vídeos de mesmo conteúdo, mas com qualidades diferentes (taxas de compressão), parece haver apenas uma ampliação dos efeitos quando se migra da qualidade baixa para a alta. Em relação ao GoP, a conclusão importante parece ser a pouca sensibilidade dos parâmetros quando se usa a codificação H264, ou seja, o conteúdo influencia mais que o formato do GoP aplicado na codificação.

6.3 Caracterização de Vídeo Aplicando VCC e ϵ -VCC

Esta seção é dedicada à aplicação das técnicas VCC e ϵ -VCC na caracterização de vídeos nos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264. O objetivo desta análise é levantar as curvas VCC e através da avaliação dos histogramas das sequências de vídeo determinar as curvas ϵ -VCC admitindo perdas de ϵ por cento de quadros. As propriedades de VCC permitem o levantamento do *backlog* e atraso e a aplicação do ϵ -VCC permite a redução dos parâmetros caso sejam admitidas perdas. Para análise comparativa, serão admitidas perdas de 1%, ou seja, $\epsilon=1\%$. Por fim, com a aplicação dos métodos VCC e ϵ -VCC são obtidos os parâmetros *backlog* e atraso e então é realizada a comparação destes parâmetros com o NC.

Na construção da curva de chegada VCC, os trechos do vídeo que mais exigem do sistema aparecem no início da curva de chegada. O período de análise pode ser definido como sendo quadros, GoPs, segundos, minutos. Os períodos de maior tamanho são ordenados e somados um a um de modo a formar a curva. O período de análise assumido para os testes com VCC e ϵ -VCC foi dividido em segundos. Assim, o período de um segundo do vídeo que mais onera o sistema aparece primeiramente, em seguida os subsequentes são somados. Seguindo o mesmo padrão de testes executados para o método NC, nesta seção também são utilizados vídeos com conteúdos, formatos e padrões diferenciados.

6.3.1 Vídeo com conteúdos diferentes

6.3.1.1 Vídeos MPEG-2/720p com conteúdos diferentes

Dois conteúdos de vídeos MPEG-2, filme (*Terminator*) e demonstração (*Sony*), são utilizados nos testes com VCC e ε -VCC. A Figura 50 apresenta a curva de chegada VCC e ε -VCC, as curvas de serviço, função cumulativa.

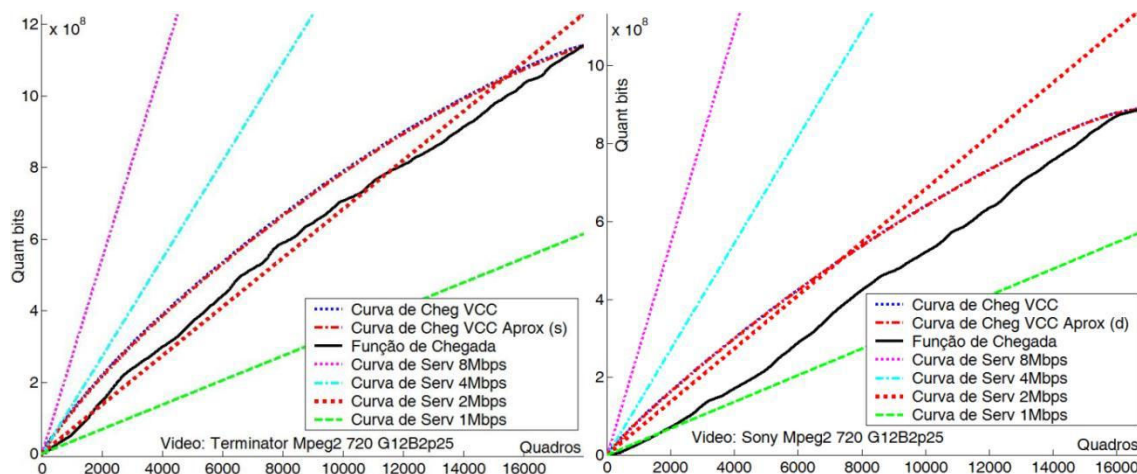


Figura 50 – Curvas de chegada (VCC e ε -VCC) e curvas de serviço (1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps) – vídeos: *Terminator* e *Sony*

As curvas de chegada apresentam maior quantidade de *bits* inicialmente, pois agrega os períodos de maior exigência primeiramente. As curvas de serviço são construídas de forma idêntica a *Network Calculus* e da mesma forma foram utilizadas as curvas de serviço com taxas de 8Mbps, 4Mbps, 2Mbps e 1Mbps. Na Figura 50 é possível observar que a curva de chegada VCC, inicialmente tem taxa muito próxima a curva de serviço de 4Mbps, mas na maior parte do vídeo, a curva de chegada VCC se aproxima da curva de serviço com taxa de 2Mbps. As curvas de chegada aproximada ε -VCC são montadas a partir da análise dos histogramas das seqüências de vídeo (Figura 51).

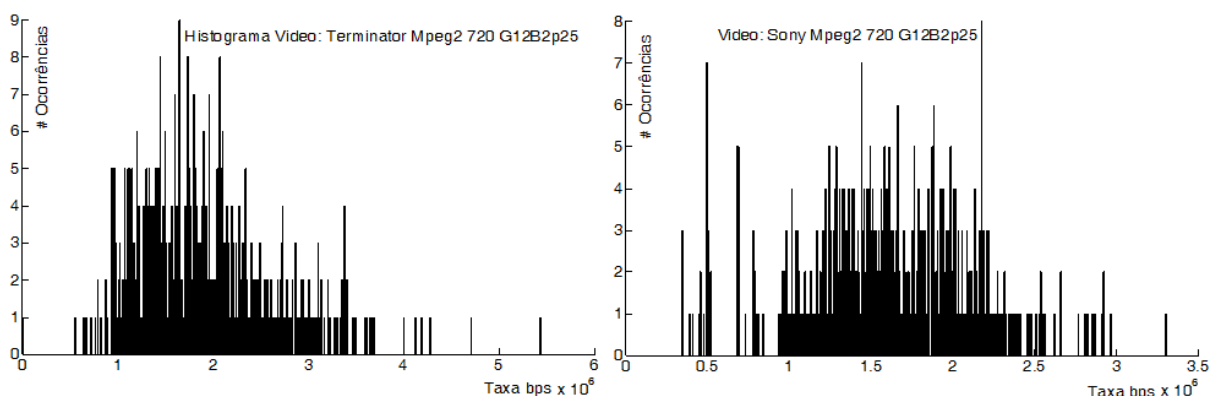


Figura 51 – Histogramas MPEG-2@720p – vídeos: *Terminator* e *Sony*

Os quadros com maior valor de taxa de *bit* por segundo, ou seja, os trechos com período de um segundo de maior exigência do vídeo são descartados. Para composição da curva de chegada aproximada $\varepsilon-VCC$ foi considerado o valor de $\varepsilon = 1\%$. Como os quadros foram agrupados em um segundo. Logo, 1% dos trechos com período de um segundo com maior taxa de bit por segundo são descartados da sequência. Após essa tarefa, a curva de chegada aproximada $\varepsilon-VCC$ é montada de modo semelhante à usada para curva de chegada VCC. Este processo pode ser repetido quantas vezes for necessário para reduzir a exigência por recursos do sistema de vídeo. Obviamente, levando em consideração que ocorrerão perdas de informação do vídeo. Considerando o tempo total do vídeo de 10 minutos (600 segundos), 1% desta sequência representa 6 segundos (cada ocorrência no eixo das ordenadas equivale a um segundo de vídeo), são exatamente os 6 períodos de 1 segundo com maior taxa de bit por segundo. Do histograma da Figura 51 é possível perceber que seriam descartados as seis ocorrências na parte direita da figura. A Tabela 14 apresenta com exatidão os valores dos períodos iniciais (maior exigência) das curvas de chegada dos vídeos de conteúdo filme (*Terminator*) e demonstração (*Sony*).

Tabela 14. VCC e ε -VCC MPEG-2@720p – Período inicial da curva de chegada

Curva	Período inicial da curva de chegada (Mbps)	Filme (Terminator)	Demonstração (Sony)
Chegada	VCC (Curva Chegada)	5,4	3,3
	$\varepsilon-VCC$ (Curva Chegada)	3,7	2,9

De acordo com a Tabela 14, o valor da maior taxa de bit por segundo (período inicial da curva de chegada) passou de 5,4Mbps para 3,7Mbps, o que representa que admitindo perdas no vídeo de 1%, a taxa máxima diminuiu em 31%. Para o vídeo de demonstração, as taxas máximas passaram de 3,3Mbps da curva de chegada VCC para 2,9Mbps na curva de chegada aproximada $\varepsilon-VCC$, uma redução de 12%. O vídeo de filme tem maiores mudanças de cena e por consequência, maior variabilidade, deste modo tem períodos com taxas máximas maiores, quando esses períodos são descartados, a taxa máxima diminuiu sensivelmente.

A obtenção do *backlog* e atraso com as curvas VCC é executada de forma semelhante à usada em *Network Calculus*. A curva de chegada VCC e curva de chegada aproximada $\varepsilon-VCC$ são submetidas à avaliação junto com as curvas de

serviço. A Tabela 15 mostra os valores do backlog para os métodos VCC e ε -VCC quando são utilizadas curvas de serviço com taxas de 1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps.

Tabela 15. Backlog (Mbits) VCC e ε -VCC – MPEG-2@720p

Curva Serviço	Vídeo / Método	Filme (Terminator)	Demonstração (Sony)
1 Mbps	VCC	533	340,3
	ε -VCC	528,4	339,1
2 Mbps	VCC	126,4	29,9
	ε -VCC	121,8	28,7
4 Mbps	VCC	6,5	3,3
	ε -VCC	3,7	2,9
8 Mbps	VCC	5,4	3,3
	ε -VCC	3,7	2,9

Com o aumento das taxas de serviço, os valores do *backlog* para os vídeos com conteúdo filme e demonstração diminuem. Para curva de serviço de 1Mbps, o vídeo de filme tem *backlog* aproximadamente duas vezes maior que no vídeo de demonstração. A redução do *backlog* quando foi aplicado o método ε -VCC (admitindo perdas de 1%) foi de menos de 1%. Deste modo, a aplicação de ε -VCC no vídeo não seria recomendado, pois a redução seria percentualmente menor que a perda devido à aplicação do método. Na curva de serviço com taxa de 2Mbps, a redução do *backlog* ficou próxima a 4%, ou seja, com a perda de 1% da sequência de vídeo, a redução do *backlog* ficou em 4%. Outro fato importante para este cenário é relativo à necessidade de recursos para os dois vídeos. O vídeo de filme apresentou um *backlog* quatro vezes maior que o vídeo de demonstração. Para curva de serviço de 4Mbps, o resultado mais significativo foi a redução de mais de 40% no *backlog* do vídeo do filme quando é admitido 1% de perda no vídeo. Na curva de serviço de 8Mbps um fato importante é observado, os valores do *backlog* dos vídeos do filme e demonstração é exatamente os valores do período inicial da curva de chegada (Tabela 14). Ou seja, como a taxa de serviço é superior a maior taxa da curva de chegada, o período de exigência máxima é atendido dentro do período de um segundo. Esse fato pode ser comprovado através da Tabela 16 que apresenta os atrasos em cada uma das curvas de serviço.

Tabela 16. Atraso (s) VCC e ε -VCC – MPEG-2@720p

Curva Serviço	Vídeo / Método	Filme (Terminator)	Demonstração (Sony)
1 Mbps	VCC	516,8	248,2
	ε -VCC	511,4	245,2
2 Mbps	VCC	16,3	3,2
	ε -VCC	8,3	2,3
4 Mbps	VCC	1,6	0,9
	ε -VCC	1	0,8
8 Mbps	VCC	0,8	0,5
	ε -VCC	0,6	0,5

Para curva de serviço de 8Mbps os atrasos foram menores que um segundo, conforme citado. Os resultados do atraso relacionado aos métodos e curvas de serviço mantiveram a proporcionalidade demonstrada para o *backlog*, mostrando que os dois parâmetros são diretamente relacionados. A Figura 52 mostra a análise de *backlog* e atraso para os vídeos filme (*Terminator*) e demonstração (*Sony*) quando são aplicados os métodos VCC, ε -VCC e NC. Os valores para construção do gráfico foram obtidos das tabelas (Tabela 8, Tabela 15 e Tabela 16).

Gráfico Escala logarítmica (base 2) - Tamanho da Fila - BACKLOG (Mb)
 Vídeos MPEG-2 - Filme (Terminator), Demonstração (Sony)
 Taxas de Serviço 1 Mbps, 2 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps
 Comparação entre os Métodos NC, VCC e ε -VCC

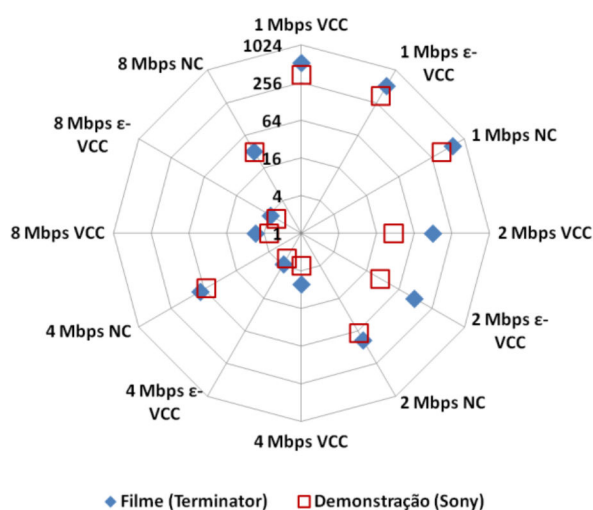


Gráfico Escala logarítmica (base 2) - ATRASO (s)
 Vídeos MPEG-2 - Filme (Terminator), Demonstração (Sony)
 Taxas de Serviço 1 Mbps, 2 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps
 Comparação entre os Métodos NC, VCC e ε -VCC

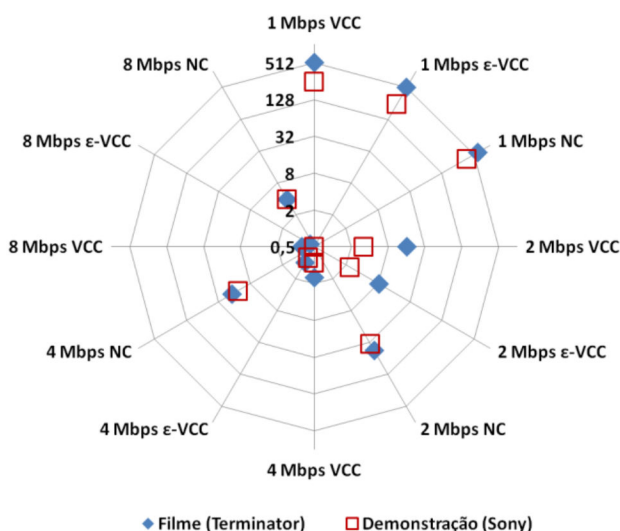


Figura 52 – Comparativo de *backlog* e atraso para os vídeos MPEG-2@720p aplicando os métodos VCC, ε -VCC e NC

Os gráficos foram compostos no modelo radar, os eixos representam a comparação das curvas de chegada (VCC e ε -VCC) e cada uma das curvas de serviço, os valores dos níveis no gráfico são representados em escala logarítmica de base 2. No cenário com curva de serviço de 1Mbps, as curvas de chegada (VCC e

$\varepsilon-VCC$) para cada vídeo tiveram resultados muito próximos. Os valores são expressivos e altos, pois conforme apresentado as curvas de chegada ficaram bem acima da curva de serviço de 1Mbps. É possível observar que o vídeo de filme tem valores de *backlog* e atraso maiores que no vídeo de demonstração. Para taxa de serviço de 2Mbps esta diferença fica mais evidente, pois a taxa é suficiente para atender o vídeo de demonstração e apenas próximo do vídeo filme. Neste ponto as curvas de chegada e serviço têm valores próximos, o que representa redução significativas no atraso e *backlog*. O ganho de desempenho no quesito atraso tem bastante representatividade na curva de serviço de 4Mbps quando é aplicada a técnica de VCC aproximada. Conforme já visto na Figura 50, no início da sequência a curva de chegada aproximada $\varepsilon-VCC$ é atendida com a curva de serviço de 4Mbps enquanto a curva de chegada VCC ainda não. A curva de chegada de 8Mbps atende todas as taxas de bit por segundo dos vídeos, conforme apresentado na Tabela 14, assim o atraso e o backlog se aproximam de zero.

6.3.1.2 Vídeos H264/1080i com conteúdos diferentes

Os métodos VCC e $\varepsilon-VCC$ nesta seção são aplicados na avaliação de vídeos no padrão H264 e resolução 1080i com conteúdos de entrevista (*TalkShow*) e documentário (*Mars*), assim como nos outros testes, a duração do vídeo é de 10 minutos. A Figura 53 apresenta as curvas de chegada VCC e $\varepsilon-VCC$ dos vídeos de entrevista (*Talkshow*) e documentário (*Mars*) e as curvas de serviço com as taxas (1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps).

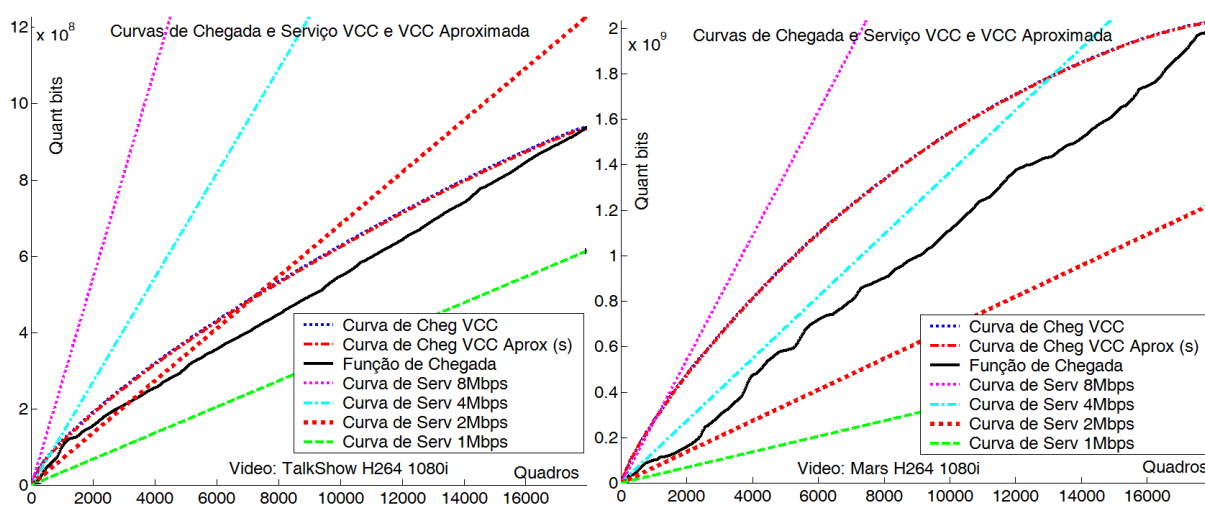


Figura 53 – Função cumulativa, curvas de chegada (VCC e ε -VCC) e curvas de serviço (1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps) – vídeos: *Talkshow* e *Mars*

Conforme observado no gráfico, embora a função cumulativa esteja abaixo da curva de serviço de 4Mbps (indicando que ela deveria atender o vídeo em todo o período de análise), a curva de chegada VCC que representa o vídeo está acima desta curva de serviço na maior parte do período de análise. O vídeo de entrevista é atendido por completo pela curva de serviço de 4Mbps enquanto o vídeo de documentário ainda apresenta atraso e *backlog*, fato observado na representação gráfica das curvas de chegada e serviço (Figura 53). A curva de serviço de 8Mbps atende os vídeos sem gerar atrasos ou *backlog*. As curvas de chegada aproximada ε -VCC são construídas a partir da análise dos histogramas das sequências de vídeo, conforme a Figura 54.

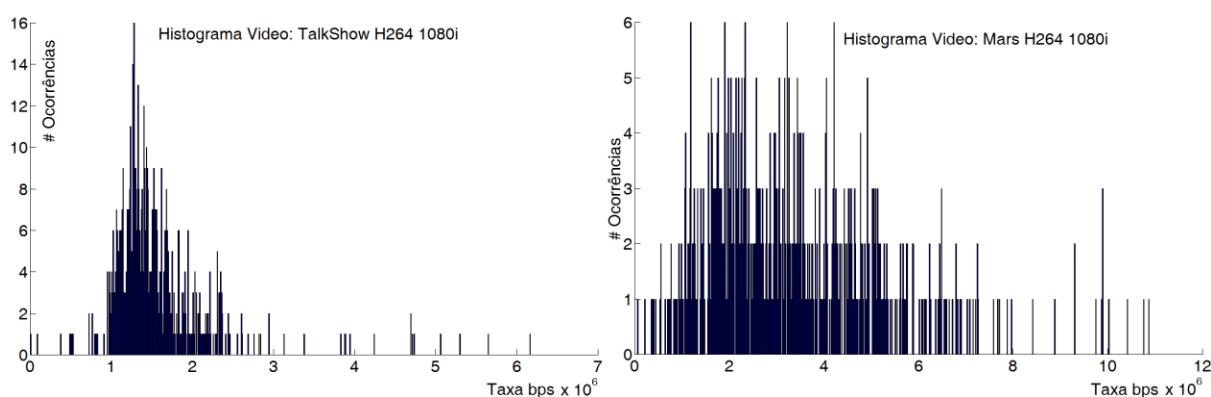


Figura 54 – Histogramas H264@1080i – vídeos: *Talkshow* e *Mars*

Os histogramas da Figura 54, mostram que as taxas para os vídeos de documentário são bem maiores, enquanto o vídeo de entrevista tem valores mais concentrados em valores menores de taxa de *bit* por segundo. Conforme definido no método ε -VCC, 1% dos períodos de duração de um segundo com maiores taxas de bit por segundo são descartados. Os períodos da parte direita do histograma. A Tabela 17 resume estes períodos apresentando a maior taxa de bit por segundo quando são aplicados os métodos VCC e ε -VCC.

Tabela 17. Período inicial da curva de chegada – H264@1080i (VCC e ε -VCC)

	Período inicial da curva de chegada (Mbps)	Docum. (Mars)	Entrevista (Talkshow)
Curva Chegada	VCC	10,9	6,2
	ε -VCC	9,9	4,7

Quando é aplicado o método ε -VCC as reduções referentes ao período inicial (período de maior exigência do vídeo) chegam a 10% no vídeo de documentário, e para o vídeo de entrevista em torno de 30%. As reduções relacionadas ao *backlog* e atraso têm valores menos significativos, em torno de 3%.

Considerando que para ganhar 3% nesses quesitos foi admitido perdas de 1% no vídeo ($\varepsilon = 1\%$). A Tabela 18 mostra o *backlog* de cada vídeo com a aplicação dos métodos VCC e ε -VCC com curvas de serviço de 1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps.

Tabela 18. *Backlog (Mbits) VCC e ε -VCC – H264@1080i*

Curva Serviço	Vídeo / Método	Docum. (Mars)	Entrevista (Talkshow)
1 Mbps	VCC	1421,9	331,1
	ε -VCC	1419,4	327,7
2 Mbps	VCC	896,8	55,6
	ε -VCC	894,3	52,2
4 Mbps	VCC	283,2	12,6
	ε -VCC	280,7	9,2
8 Mbps	VCC	29,2	6,2
	ε -VCC	26,7	4,7

A curva de serviço com taxa de 1Mbps gerou backlog com valor expressivo para o vídeo de documentário, 1,4 Gbits, com a aplicação do ε -VCC a redução do *backlog* em 0,2% foi pouco expressiva. Pois foi assumida uma perda de 1% do vídeo e a redução do *backlog* foi menor que esta perda. No vídeo de entrevista a redução do *backlog* foi de 1%. Para este conteúdo, a redução do *backlog* passa a ficar interessante a partir da curva de serviço de 4Mbps. A redução foi de 27%, cenário semelhante ao encontrado na curva de serviço de 8Mbps. Para o vídeo com conteúdo de documentário, a redução foi de 9% para taxa de serviço de 8Mbps. De acordo com a Tabela 17 é possível observar que as reduções máximas do *backlog* estão diretamente ligada ao percentual de redução do período inicial da curva (período com maior taxa de *bit* por segundo do vídeo). Caso a taxa de serviço da curva de serviço seja maior que a taxa de bit do período inicial, essa redução máxima é observada. A análise comparativa dos vídeos de conteúdos diferentes permite inferir que o vídeo de documentário exige maiores recursos quando comparado ao vídeo de entrevistas (comportamento esperado devido à maior variabilidade do vídeo de documentário). O *backlog* foi de quatro a vinte vezes maior para o vídeo de documentário, fato semelhante observado no parâmetro de atraso, conforme é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19. Atraso (s) VCC e ε -VCC – H264@1080i

Curva Serviço	Vídeo / Método	Docum. (Mars)	Entrevista (Talkshow)
1 Mbps	VCC	600	244,2
	ε -VCC	600	237,5
2 Mbps	VCC	438	21,6
	ε -VCC	436,8	19,3
4 Mbps	VCC	37,1	2,3
	ε -VCC	35,4	1,4
8 Mbps	VCC	1,8	0,9
	ε -VCC	1,6	0,7

A Tabela 19 apresenta os atrasos para cada curva de serviço e os vídeos de conteúdo de documentário e entrevista. Para curva de serviço de 8Mbps, os valores se aproximaram de um segundo pois esta taxa de serviço é próxima ou maior que os períodos de maior taxa de bit por segundo dos vídeos.

Na Figura 55 é possível visualizar o comportamento dos parâmetros *backlog* e atraso para os vídeos H264 com os conteúdo de documentário (*Mars*) e entrevista (*Talkshow*) quando aplicado os métodos NC, VCC e ε -VCC com curvas de serviço com taxas de 1Mbps, 2Mbps, 4Mbps e 8Mbps. Os valores para construção do gráfico foram obtidos das tabelas (Tabela 10, Tabela 18 e Tabela 19).

Gráfico Escala logarítmica (base 2) - Tamanho da Fila - BACKLOG (Mb)
 Vídeos H264 - Documentário (Mars) e Entrevista (Talkshow)
 Taxas de Serviço 1 Mbps, 2 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps
 Comparação entre os Métodos NC, VCC e ε -VCC

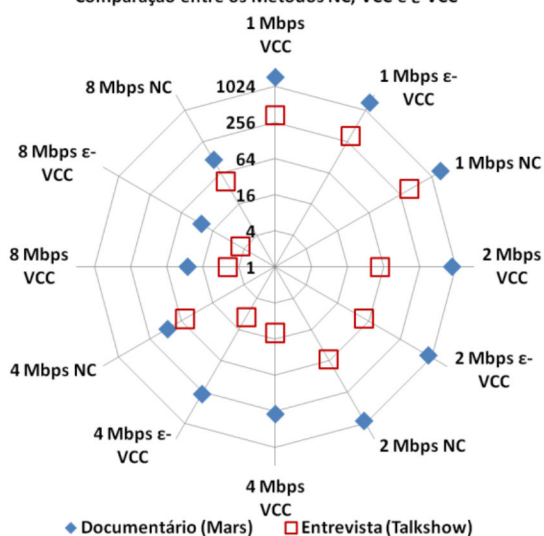


Gráfico Escala logarítmica (base 2) - ATRASO (s)
 Vídeos H264 - Documentário (Mars) e Entrevista (Talkshow)
 Taxas de Serviço 1 Mbps, 2 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps
 Comparação entre os Métodos NC, VCC e ε -VCC

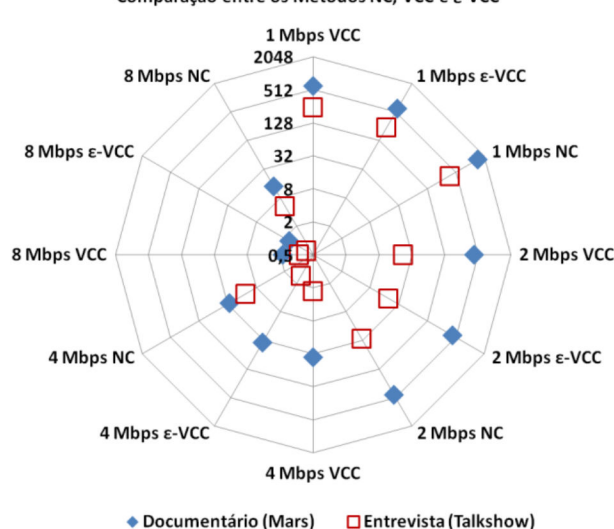


Figura 55 – Backlog e atraso - (NC, VCC e ε -VCC) – H264@1080i

De acordo com a Figura 55 é possível verificar que para as taxas de serviço de 1Mbps e 2Mbps o resultado dos três métodos é bastante similar. Em contrapartida para as curvas de serviço de 4Mbps e 8Mbps, o atraso obtido com o

método NC foi significativamente maior que no VCC e ε -VCC. Este comportamento pode ser explicado pelo modo empregado na construção das curvas de chegada. No caso das curvas VCC e ε -VCC, não há rajada inicial, caso a maior taxa de *bit* por segundo do vídeo se aproxima da taxa de serviço, o atendimento é quase imediato. No NC, a rajada inicial da curva de chegada, influencia a avaliação deste parâmetro impondo atraso. Assim, pela avaliação dos métodos é possível destacar que uma das principais diferenças entre os métodos é o fato que a rajada inicial das curvas de chegada NC tem grande influência na composição dos parâmetros *backlog* e atraso. Os parâmetros atraso e *backlog* quando avaliados com os métodos VCC e ε -VCC aparentam ter uma variação inversamente proporcional ao crescimento da taxa de serviço. Já para o NC, os valores da taxa de rajada e taxa média influenciam diferentemente nos resultados de *backlog* e atraso.

6.3.2 Vídeos com diferentes taxas de compressão

O objetivo desta seção é levantar os ganhos relativos a atraso e *backlog* quando são aplicadas as técnicas de VCC e ε -VCC. São apresentados vídeos do mesmo conteúdo em três níveis de qualidade – alta, média, baixa. A qualidade é diferenciada devido aos níveis de compressão configurados no codificador de vídeo MPEG-4, a duração do vídeos é de 10 minutos e resolução QCIF. O modo de construção das curvas de chegada (VCC e ε -VCC) foi apresentado nas seções anteriores. Os períodos de um segundo que mais exigem do sistema aparecem primeiramente nas curvas de chegada. Na Figura 56 são apresentadas as curvas de chegada (VCC e ε -VCC) e serviço para os vídeos do conteúdo de filme (*Silence*) com diferentes qualidades (alta, média e baixa).

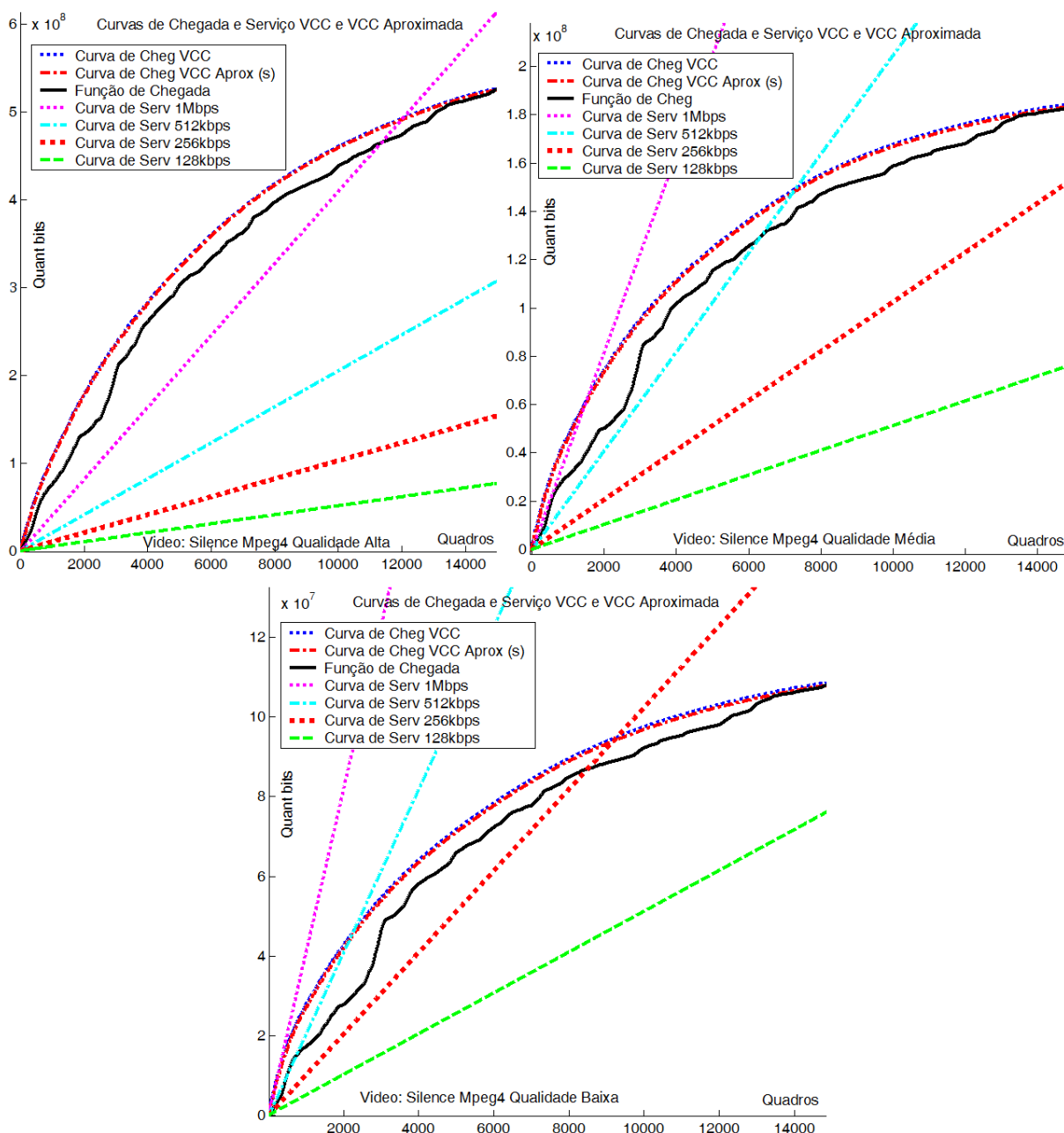


Figura 56 – Função cumulativa, curvas de chegada (VCC e ε -VCC) e curvas de serviço (128kbps, 256kbps, 512kbps e 1Mbps) – vídeos *Silence* (alta, média, baixa)

De acordo com a Figura 56 é possível observar que as curvas de chegada VCC e ε -VCC apresentam formato muito semelhante nos três vídeos, logicamente que o vídeo de qualidade alta tem maior taxa de bit do que os outros, mas é verificado um padrão de proporcionalidade entre os vídeos de diferentes qualidades. Esse características fica evidente, pois é possível perceber que a função cumulativa mantém as mesmas características nos vídeos de alta, média e baixa qualidades. As curvas de chegada aproximada (ε -VCC) têm formato muito próximo às curvas de chegada VCC. As curvas ε -VCC são obtidas através quando se admite a perda de

ε % (neste trabalho assumido 1%) dos períodos com maior taxa de bit por segundo. De acordo com a Figura 57, é possível verificar a percentagem (1%) de perda admitida dos períodos de maior taxa de bit por segundo, ou seja, aqueles na parte direita dos histogramas.

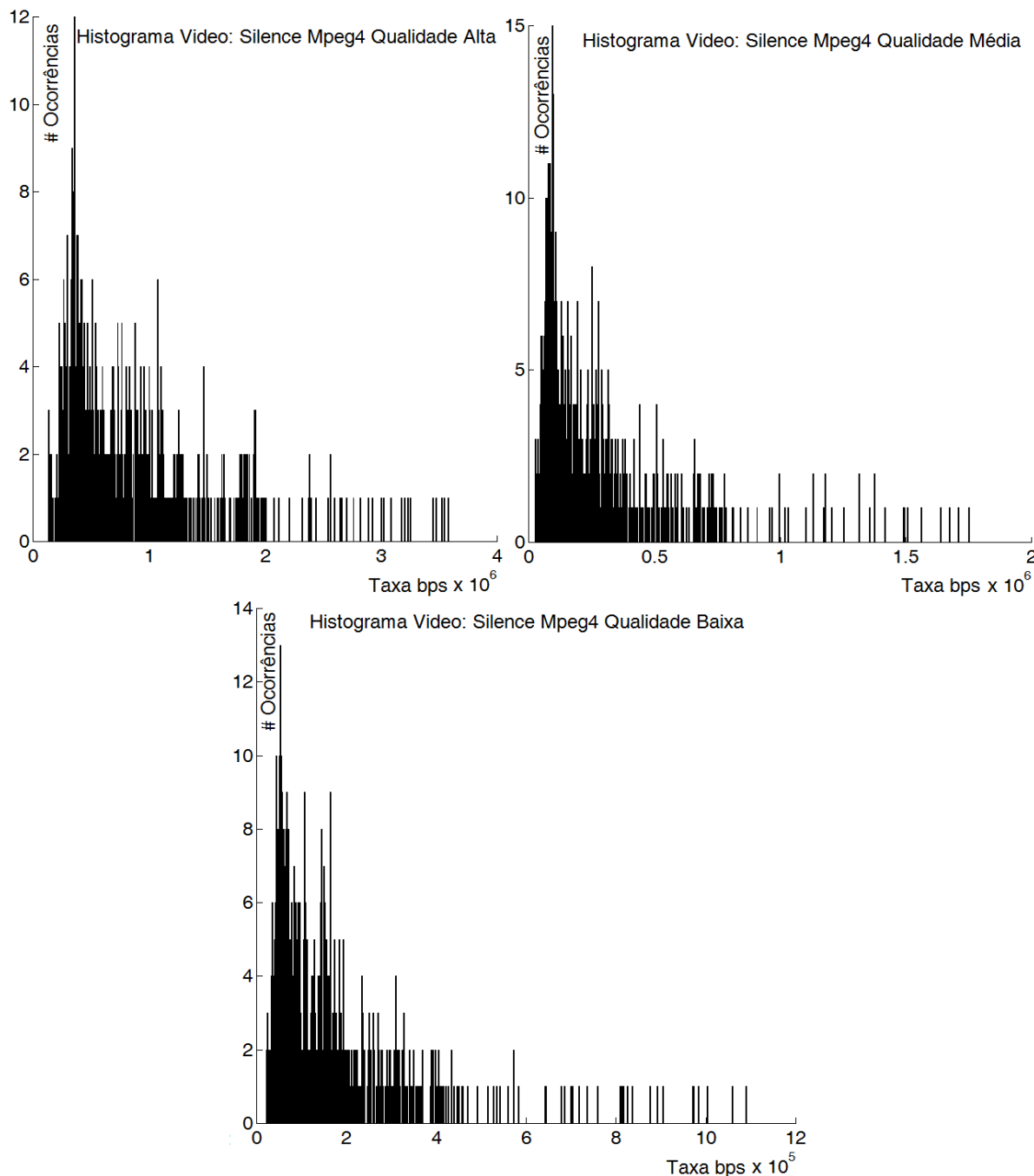


Figura 57 – Histogramas MPEG-4 – vídeos *Silence* (alta, média, baixa)

Ao eliminar da sequência de vídeo os períodos de maior taxa de *bit* por segundo é possível obter as curvas de chegada ε -VCC e assim diminuir as taxas máximas que os vídeos apresentam. A Tabela 20 mostra a taxa de maior valor para os casos de VCC e ε -VCC (período inicial da curva de chegada).

Tabela 20. Curva de chegada (VCC e ε -VCC) - MPEG-4 (alta, média, baixa)

Curva	Período inicial da curva de chegada (Mbps)	Qualidade	Qualidade	Qualidade
		Alta	Média	Baixa
Chegada	VCC	3,6	1,8	1,1
	ε -VCC	3,2	1,5	0,9

As reduções foram de 12%, 17% e 19% para os vídeos de alta, média e baixa qualidades respectivamente. Os valores diferentes mostram que é necessário obter a caracterização de vídeos através de mais propriedades e não simplesmente pela divisão de qualidades alta, média e baixa. Construídas as curvas de chegada VCC e ε -VCC é possível realizar a análise juntamente com as curvas de serviço de 1Mbps, 512kbps, 256kbps e 128kbps e obter o *backlog* e o atraso. O *backlog* é apresentado na Tabela 21 e o atraso na Tabela 22.

Tabela 21. *Backlog* (Mbits) VCC e ε -VCC – MPEG-4 (alta, média, baixa)

Curva de Serviço	Vídeo / Método	Qualidade Alta	Qualidade Média	Qualidade Baixa
128 kbps	VCC	449,1	116,5	48,7
	ε -VCC	447,7	115,6	48
256 kbps	VCC	374,1	75,1	23,9
	ε -VCC	327,7	74,2	23,3
512 kbps	VCC	256,4	34,5	8,2
	ε -VCC	255	33,5	7,5
1 Mbps	VCC	120,1	9,5	1,1
	ε -VCC	118,6	8,5	0,9

Com a aplicação das técnicas de ε -VCC são admitidas perdas no vídeo de 1% objetivando reduzir o *backlog* e o atraso. Na Tabela 21, o *backlog* reduziu menos de 1% em grande parte dos cenários apresentados. A máxima redução foi de 19% na avaliação do vídeo de baixa qualidade com a curva de serviço de 1Mbps. Comparando os três vídeos, foi possível observar que com taxas de serviço maiores, a diferença no *backlog* dos vídeos de alta, média e baixa qualidades tende a aumentar. Por exemplo, a diferença de *backlog* entre os vídeos de alta e baixa qualidades é de 9 vezes na curva de serviço de 128kbps e passa a ser de 110 vezes na taxa de serviço de 1Mbps. O comportamento semelhante ocorre na avaliação do atraso (conforme Tabela 22). A explicação para esse fato é o atendimento quase imediato da curva de chegada do vídeo baixa qualidade quando submetida à curva

de serviço de 1Mbps. Pois como demonstrado na Tabela 20, a taxa de *bit* máxima do vídeo fica próxima da taxa de serviço.

Tabela 22. Atraso (s) VCC e ϵ -VCC – MPEG-4 (alta, média, baixa)

Curva Serviço	Vídeo / Método	Qualidade Alta	Qualidade Média	Qualidade Baixa
128 kbps	VCC	600	600	380,3
	ϵ -VCC	600	600	375,2
256 kbps	VCC	600	293,4	89,8
	ϵ -VCC	600	289,8	86,6
512 kbps	VCC	500,9	61,3	10,4
	ϵ -VCC	498,2	58,6	7,2
1 Mbps	VCC	107,6	4,3	1,2
	ϵ -VCC	105,5	2,5	1

A Figura 58 é composta pelo *backlog* e atraso dos vídeos MPEG-4 de alta, média e baixa qualidades aplicando os métodos VCC, ϵ -VCC e NC. Os valores foram extraídos das tabelas (Tabela 12, Tabela 21 e Tabela 22).

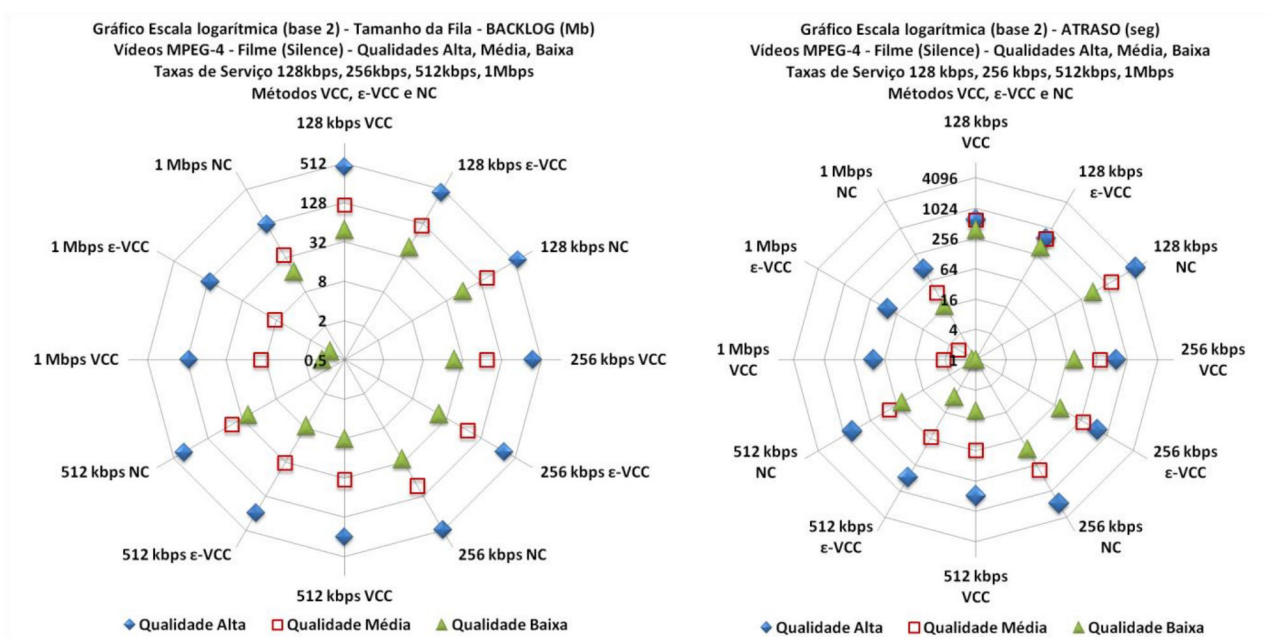


Figura 58 – Backlog e Atraso – MPEG-4 (alta, média, baixa) – VCC, ϵ -VCC e NC

A análise do *backlog* mostra que para as taxas de serviço de 128kbps e 256kbps, o resultado dos três métodos foi bastante próxima. Este comportamento é reflexo da taxa de serviço ser insuficiente para atender as curvas de chegada, como já apresentado na Figura 56. No caso do NC, o valor do atraso foi maior para estas curvas de serviço porque no NC o *backlog* pode ser infinito. Apesar de ter valor

superior aos outros métodos que ficaram limitados aos 600 segundos da análise. No NC, o atraso foi finito, pois a sequência do vídeo era finita. As maiores diferenças entre os métodos foram nos vídeos de baixa e média qualidades com as curvas de serviço de 512kbps e 1Mbps. Neste caso, os valores maiores de atraso e *backlog* para o NC foram fortemente influenciados pela rajada inicial e a taxa média. Essas propriedades que compõem a curva de chegada NC tiveram valores próximos as taxas de serviço para os vídeos de média e baixa qualidade.

6.3.3 Vídeos com diferentes GoP e conteúdo

Nesta seção são comparados vídeos de quatro conteúdos de vídeo: Filme (*Silence*), Documentário (*Tokyo*), Demonstração (*Sony*), Telejornal (*News*). Os padrões de vídeo utilizados são: MPEG-4 e H264 com resolução CIF@30qps e diferentes composições de GoP (G16B1, G16B3, G16B7, G16B15).

6.3.3.1 Vídeos MPEG-4 com diferentes GoP e conteúdo

As curvas de chegada VCC e ε -VCC são compostas da ordenação das máximas taxas de bit por segundo (primeiro instante da curva de chegada tem a taxa máxima). O conjunto de curvas é composto pelas composições de GoP (G16B1, G16B3, G16B7, G16B15) para os conteúdos de vídeo filme (*Silence*), documentário (*Tokyo*), demonstração (*Sony*) e telejornal (*News*). A Figura 59 mostra as reduções comparativas das maiores taxas de bit por segundo com a aplicação de ε -VCC em relação a VCC. A percentagem permite identificar as reduções quando se admite 1% de perda.

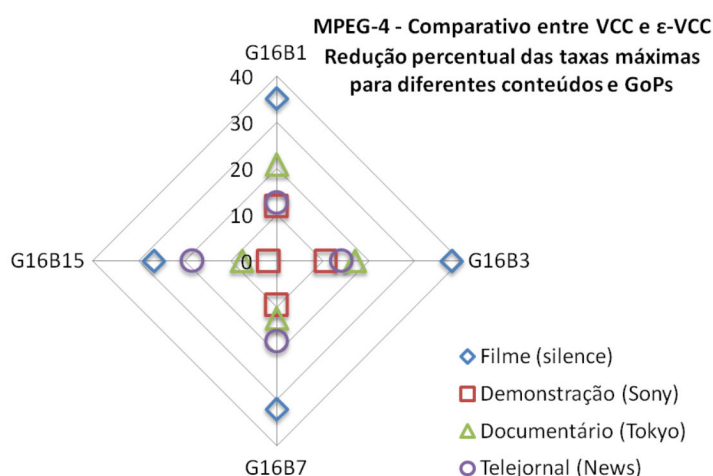


Figura 59 – Reduções comparativas (VCC e ε -VCC) – taxas máximas da sequência MPEG-4 – GoPs (G16B1, G16B3, G16B7, G16B15)

De acordo com a Figura 59, no GoP com composição G16B1, a redução mais significativa foi observada no vídeo com conteúdo de filme, pois admitindo 1% de perdas, a taxa máxima de bit por segundo do vídeo reduz em 35%. As reduções menos significativas estão nos vídeos de telejornal e demonstração, neste caso, 1% de perda representa 12% na diminuição da taxa máxima no vídeo. Os vídeos com conteúdo de filme, documentário e demonstração tendem a ter reduções menos significativas à medida que mais quadros do tipo B são inseridos na sequência.

Através da aplicação das técnicas de VCC e ε -VCC é possível relacionar as curvas de chegada das composições de GoP descritas e as curvas de serviço (128kbps, 256kbps, 512kbps, 1Mbps) a fim de obter *backlog* e atraso. A Figura 60 mostra os resultados do tamanho de fila (*backlog*) para os quatro vídeos em cada formato de GoP.

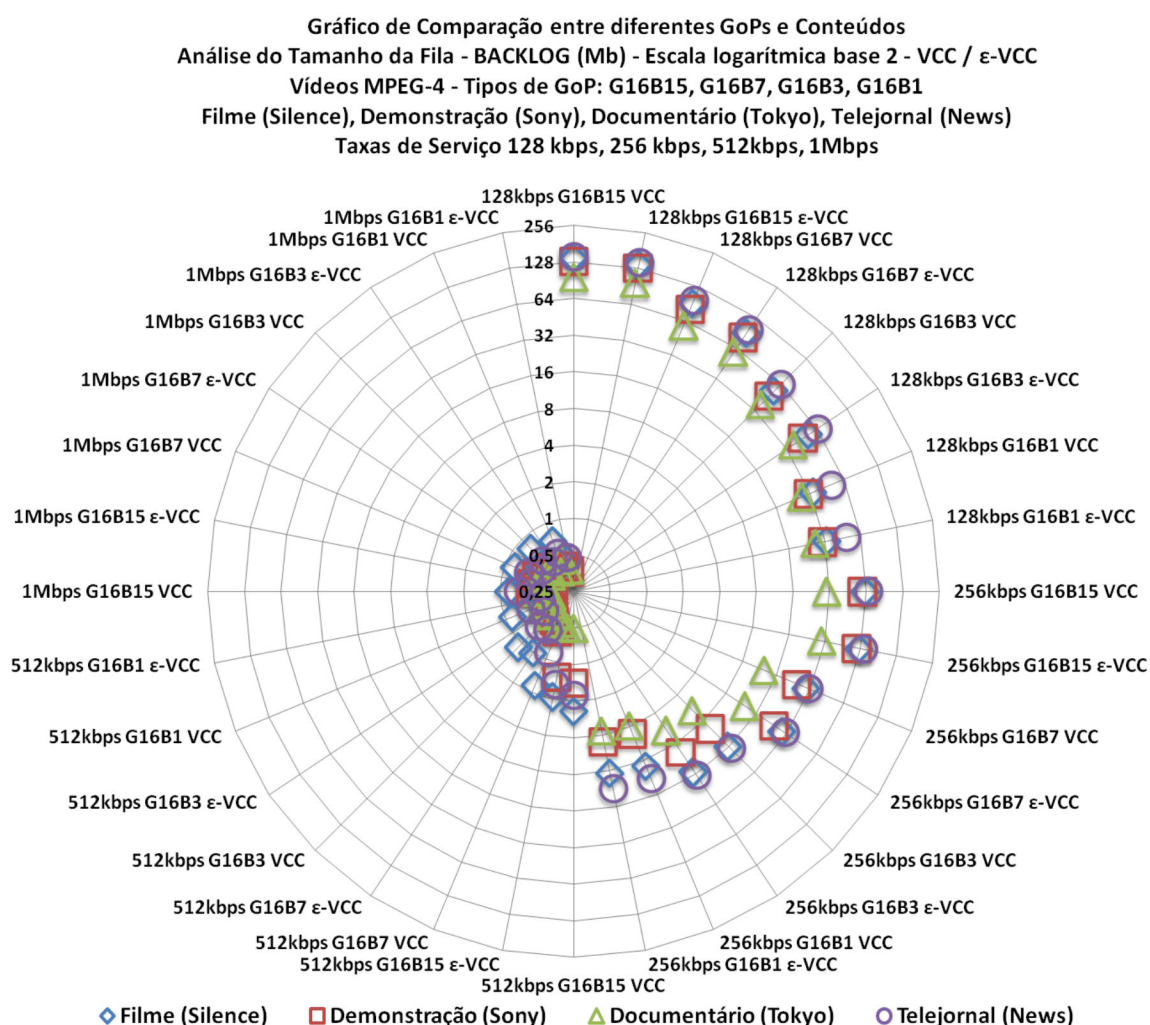


Figura 60 – Backlog (VCC e ε -VCC) – MPEG-4 - GoPs

O *backlog* para os quatro conteúdos tende a ser menor na composição de GoP G16B1. Em relação à aplicação do método ε -VCC, foi evidenciada reduções significativas para as maiores taxas de serviço (512kbps e 1Mbps). No caso das curvas de serviço de 128Kbps e 256kbps, não ficou evidente grande redução do *backlog* com a aplicação de ε -VCC. A análise comparativa de conteúdo demonstrou que para curvas de serviço com taxas menores, o vídeo de documentário teve o menor *backlog*, já os maiores foram para os vídeos de filme e telejornal. Para curvas de taxas de serviço maiores, o vídeo de filme obteve os maiores valores de *backlog*.

A Figura 61 apresenta a avaliação do atraso para os diferentes tipos de vídeos e GoPs no padrão MPEG-4.

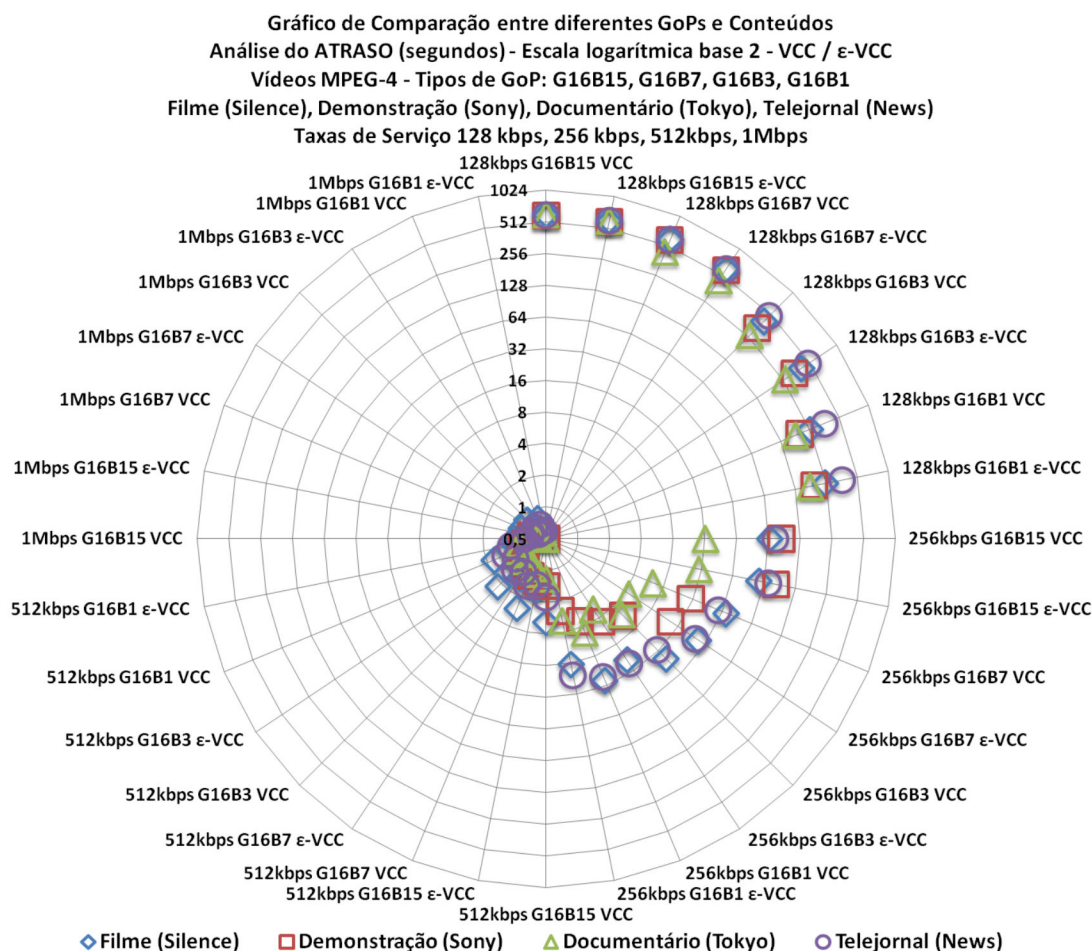


Figura 61 – Atraso (VCC e ε -VCC) – MPEG-4 - GoPs

A avaliação do atraso teve resultados semelhantes ao *backlog*. Em geral os valores para cada composição de conteúdo de vídeo, GoP e curvas de serviço foram bastante próximos. As diferenças mais significativas foram visualizadas na curva de serviço de 256kbps. Neste caso, o vídeo de telejornal e filme tiveram os maiores

atrasos, seguido do vídeo de demonstração. Os menores atrasos foram do vídeo de documentário.

De maneira geral, os vídeos do padrão MPEG-4 apresentaram menores *backlogs* e atrasos para o formato de GoP G16B1. O telejornal e o filme tiveram *backlog* e atraso maiores e o documentário o menor. As reduções comparativas entre VCC e ε -VCC foram pouco significativas.

6.3.3.2 Vídeos H264 com diferentes GoP e conteúdo

Para os vídeos H264 foram levantadas as curvas de chegada VCC e ε -VCC com o mesmo conjunto de vídeos da seção anterior. A Figura 62 apresenta as reduções comparativas entre as taxas máximas das curvas VCC e ε -VCC.

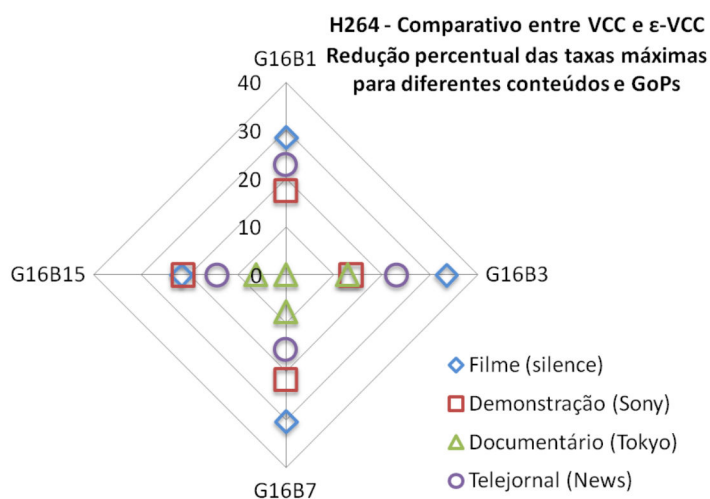


Figura 62 – Reduções comparativas (VCC e ε -VCC) - taxas máximas da sequência H264 – GoPs (G16B1, G16B3, G16B7, G16B15)

Para composição de GoP G16B1 os conteúdos de filme, telejornal e demonstração tiveram as reduções mais significativas quando são admitidas perdas de 1% do vídeo. Para o caso do documentário não houve redução, ou seja, foi perdido 1% do vídeo e não houve diminuição da taxa máxima da sequência de vídeo. A maior redução é do filme no formato G16B3 (33,3%). Em geral, as reduções mais evidentes foram com o formato de GoP G16B3. A Figura 63 mostra a avaliação do *backlog* para os quatro conteúdos de vídeo com formatos de GoP diferentes.

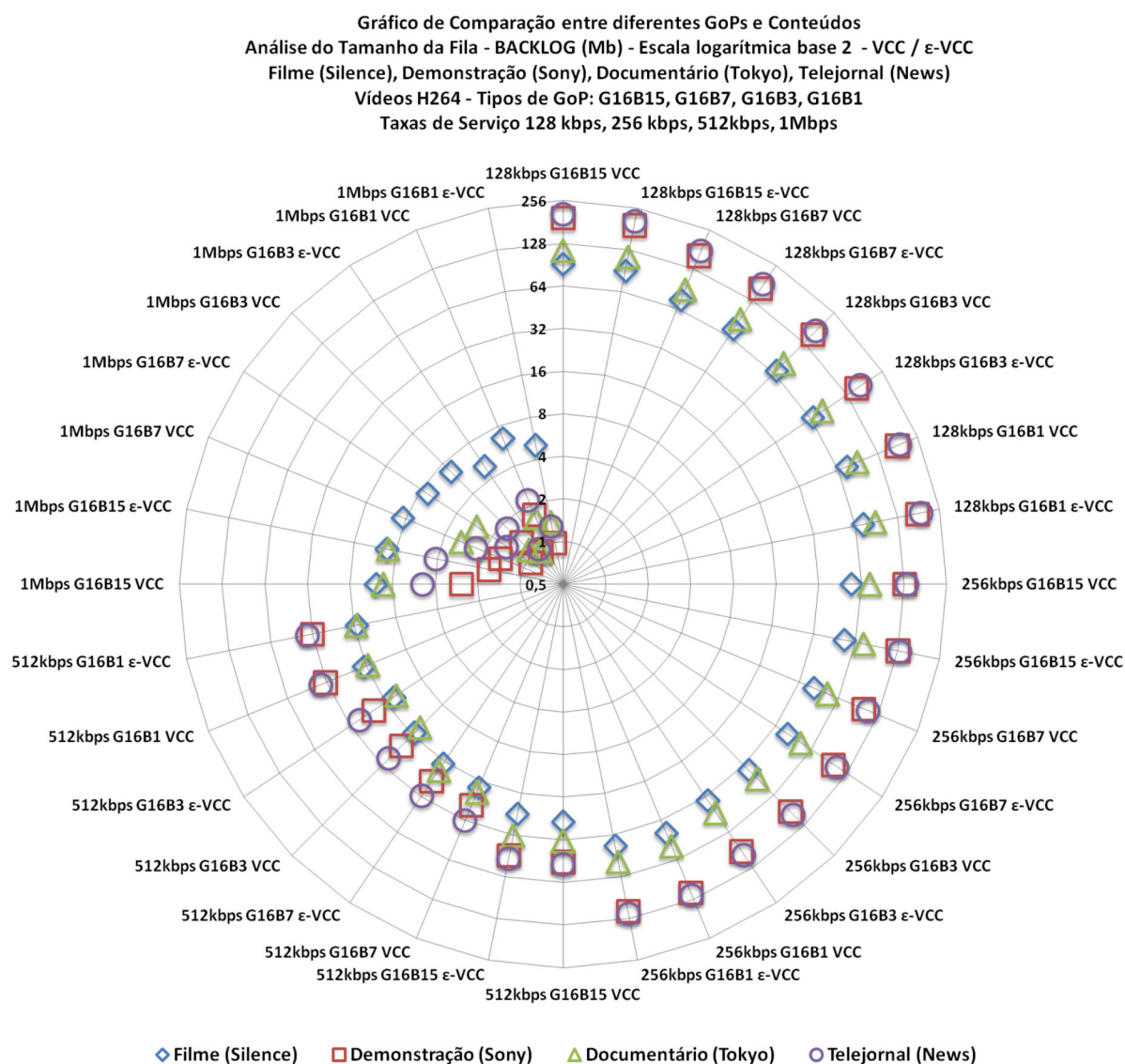


Figura 63 – Backlog - (VCC e ϵ -VCC) – H264 - GoPs

De acordo com a Figura 63, é possível observar que as composições de GoP tiveram menor influência sobre os resultados do *backlog*. Para cada curva de serviço aplicada em cada vídeo, o GoP G16B3 apresentou as séries com menores valores de *backlog*. Na comparação de conteúdo, as curvas de serviço com menores taxas revelaram tamanhos de *backlog* maiores para os vídeos de telejornal, demonstração, documentário e filme. Em contrapartida através da curva de serviço de 1Mbps foi possível observar que o filme teve o maior *backlog*. A avaliação do atraso é apresentada na Figura 64.

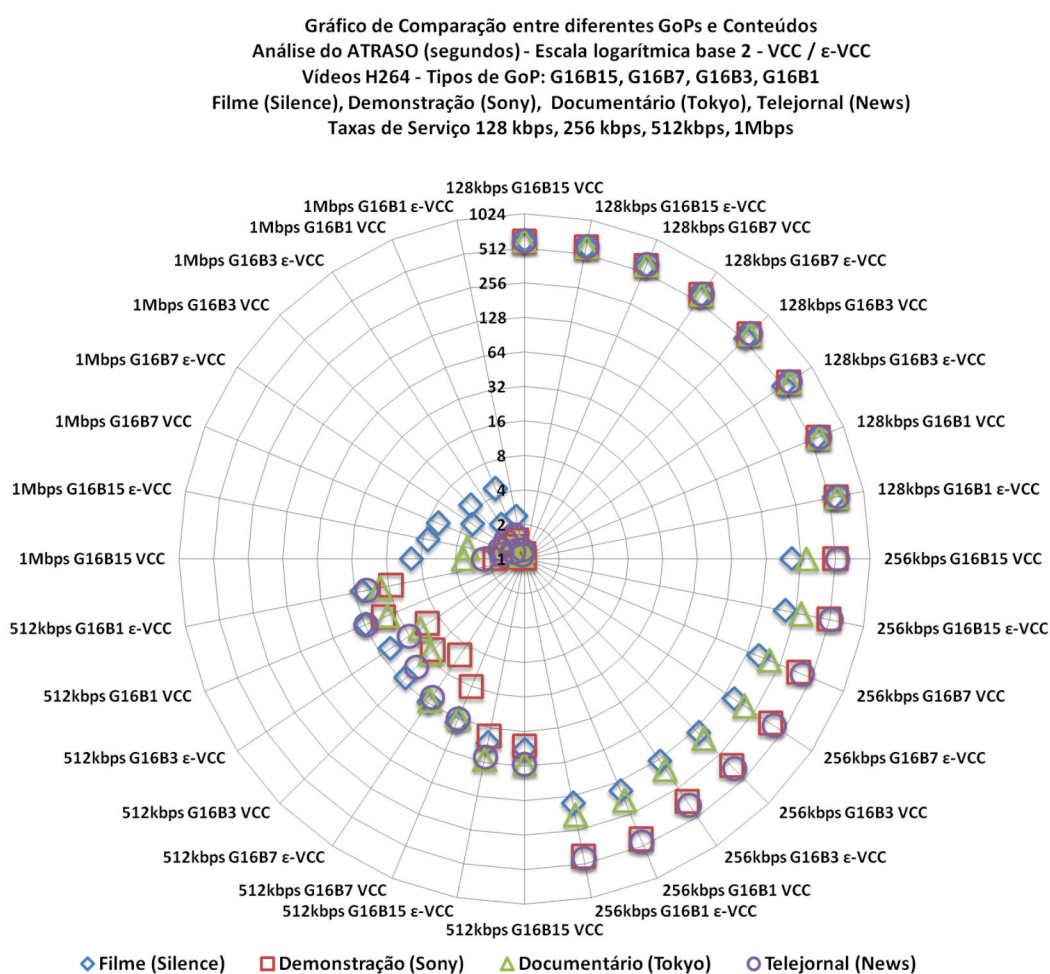


Figura 64 – Atraso - (VCC e ϵ -VCC) – H264 - GoPs

Assim como para o *backlog*, de modo geral, para a mesma curva de serviço, o menor atraso está nos vídeos com formato de GoP G16B3. Para curvas de serviço de 128kbps, os atrasos de todos os vídeos são equivalentes. À medida que as taxas aumentam é possível observar uma diferenciação entre os conteúdos. A maior diferença é observada quando as curvas de chegada são submetidas à curva de serviço de 256kbps. No caso da curva de serviço de 1Mbps, o filme apresentou o maior atraso, o restante dos vídeos obtiveram atrasos próximos a zero. Na comparação das aplicações dos métodos VCC e ϵ -VCC as reduções não foram significativas e ficaram em torno de 1%, valor próximo à perda admitida de ($\epsilon = 1\%$).

6.3.4 Conclusão sobre o uso do VCC e ϵ -VCC

A avaliação das técnicas VCC e ϵ -VCC permite levantar o potencial de redução de atraso e *backlog* quando são admitidas perdas na sequência de vídeo. Através dos testes foi possível verificar que, em algumas situações, as maiores taxas de bit por segundo das sequências de vídeo tiveram reduções de 30%. Esta

redução é de extrema importância para os momentos de congestionamento das redes, ou falta de processamento, pois o vídeo exigiria menos do sistema. Avaliando toda a sequência de vídeo, em geral, as reduções foram menos significativas. Em alguns testes 1% de perda admitida da sequência gerava algo em torno de 1% de redução no *backlog* e atraso.

Os métodos aplicados para obtenção das curvas VCC e ε -VCC fornecem a possibilidade de analisar as reduções que podem ser obtidas quando se admite ε por cento de perdas no vídeo (utilizado $\varepsilon = 1\%$). O objetivo é levantar o comportamento de cada vídeo e de forma comparativa identificar características que classifiquem o vídeo.

As avaliações com MPEG-2 mostraram que as reduções da rajada inicial foram de 31% para o filme, enquanto o vídeo de demonstração ficou em 12%. Os vídeos com maior variabilidade tendem a ter uma diminuição maior.

Nos vídeos H264 com resolução 1080i, as maiores reduções relacionadas ao *backlog* e atraso foram no vídeo de entrevista (30%) contra 10% do vídeo de documentário. Caso as curvas de chegada tenham valores menores que a curva de serviço, o valor do *backlog* VCC passa a ser o valor da taxa máxima do vídeo. Através dos histogramas é possível perceber que as taxas para os vídeos de documentário são bem maiores, enquanto o vídeo de entrevista tem valores mais concentrados em valores menores de taxa de bit por segundo. Mesmo com a aplicação do ε -VCC, as diferenças entre os parâmetros dos conteúdos dos vídeos são mantidas quando comparado com o VCC. O *backlog* e atraso para o vídeo de documentário foram pelo menos duas vezes maiores que no vídeo de entrevista. Em relação à comparação dos métodos NC, VCC e ε -VCC, a diferença do atraso e *backlog* ficam mais evidentes nas taxas de serviço maiores. Nos métodos VCC e ε -VCC os parâmetros atraso e *backlog* tem variação inversamente proporcional ao crescimento da taxa de serviço.

Os vídeos com taxas de compressão diferentes na análise de VCC e ε -VCC apresentam formas de histograma semelhantes nos três vídeos, logicamente que o vídeo de qualidade alta tem maior taxa de *bit* do que os outros, mas é verificado um padrão de proporcionalidade entre os vídeos de diferentes qualidades. O formato dos histogramas também é bastante semelhante. A proporção entre os parâmetros dos três vídeos é mantida mesmo quando o ε -VCC é aplicado. Comparando os

três vídeos, foi possível observar que com taxas de serviço maiores, a diferença no *backlog* dos vídeos de alta, média e baixa qualidades tende a aumentar.

Nos vídeos MPEG-4 de mesmo conteúdo, mas com qualidades diferentes, as reduções referentes à aplicação do VCC aproximado geraram valores entre 10% e 20% de redução na rajada inicial, ou seja, o trecho de maior exigência diminui de intensidade nesses valores percentuais. A redução mais significativa foi encontrada no vídeo de filme, em seguida o documentário e as menores para os vídeos de demonstração e telejornal com a aplicação de ε -VCC. Os vídeos com conteúdo de filme, documentário e demonstração tendem a ter reduções menos significativas à medida que mais quadros do tipo B são inseridos na sequência.

Para o padrão H264, a composição de GoP que obteve as maiores reduções na rajada inicial quando VCC aproximado é aplicado foi o G16B3, o vídeo de filme obteve 33%. À medida que as taxas de serviço aumentam é possível observar uma diferenciação entre os conteúdos. Os conteúdos de filme, telejornal e demonstração tiveram as reduções mais significativas com aplicação do ε -VCC.

A avaliação comparativa entre os padrões de vídeo MPEG e H264 revelou que os vídeos H264 têm mais influência do conteúdo do que do formato de GoP. Através das análises gráficas é possível observar que a variação do GoP influencia no *backlog* e atraso, porém a proporcionalidade entre os conteúdos é mantida. O que permite a comparação entre diferentes conteúdos. Para as menores taxas de serviço, os vídeos de telejornal e demonstração apresentaram os maiores valores de *backlog* e atraso. Nas maiores taxas de serviço, o vídeo de filme teve valores maiores.

O *backlog* e atraso apresentam resultados significativos quando os valores da curva de chegada VCC são um pouco maiores que os valores da curva de serviço. Deste modo, quando são aplicados os métodos de VCC aproximada, e a curva de chegada passa a ser atendida pela curva de serviço, resulta-se em consideráveis diferenças nos quesitos de *backlog* e atraso (aproximadamente zero).

A diferenciação ou classificação dos conteúdos de vídeo ficou mais evidente para avaliações com curvas de serviço com taxas próximas à taxa média da sequência de vídeo. Através dos testes foi possível perceber que os vídeos no padrão H264 tem parâmetros mais influenciados pelo conteúdo do que pelo formato do GoP. A composição de GoP que obteve as maiores reduções na rajada inicial na aplicação do VCC aproximado foi o G16B3.

6.4 Caracterização de Vídeo Aplicando NC Aproximado

Neste trabalho é proposta uma técnica de caracterização, denominada *Network Calculus* aproximado (ε -NC). Esta caracterização de vídeos adota alguns conceitos de *Network Calculus* com a metodologia aplicada no VCC aproximado (ε -VCC). Primeiramente, a curva de chegada aproximada α_ε é montada com base na função cumulativa aproximada $R_\varepsilon(t)$. A função cumulativa aproximada é construída baseada na sequência de vídeo sem os quadros que mais oneram o sistema e representam neste caso 1% do vídeo ($\varepsilon=1\%$). São obtidos os valores de $(r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$ da curva de chegada aproximada α_ε do NC aproximado. O tamanho da fila aproximado b_ε (*backlog*) representado pela equação (5.2) é obtido através das curvas α_ε e β . De modo semelhante, o atraso virtual aproximado $d_\varepsilon(t)$ para $t \geq 0$ e para todo $\tau < d_\varepsilon(t)$ é definido pelas equações (5.3) e (4.12). O conjunto de parâmetros do método NC aproximado fornece resultados para auxiliar na caracterização de vídeos, avaliação da economia de recursos, atraso, *backlog* e o levantamento da curva de chegada de cada vídeo.

6.4.1 Vídeos com conteúdos diferentes

As curvas de chegada α_ε de ε -NC são compostas pelos parâmetros $(r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$. Nesta seção serão feitos dois testes com vídeos de conteúdos diferentes nos padrões de vídeo MPEG-2 e H264.

6.4.1.1 Vídeos com conteúdos diferentes - MPEG-2@720p

As curvas de chegada aproximada α_ε para os vídeos no padrão MPEG-2@720p são obtidas através do conjunto de parâmetros da Tabela 23.

Tabela 23. ε -NC - Taxa média e rajada – Vídeos MPEG-2@720p

Vídeo / Parâmetro	Filme (Terminator)	Demonstração (Sony)
Taxa média NC Aprox. (Mbps)	1,8	1,5
Redução em relação ao NC	4,2%	7,5%
Tam. Rajada [b] (Mb)	96,0	59,6
Redução em relação ao NC	-1,1%	16,5%
Taxa Rajada (Mbps)	7,0	11,0
Redução em relação ao NC	37,7%	16,3%

Tempo Rajada [T] (s)	13,6	5,4
Aumento em relação ao NC	38,4%	-0,3%

A taxa média para o vídeo do filme teve uma redução de 4,2%, um pouco menor que o vídeo de demonstração (7,5%). O tamanho de rajada teve redução no vídeo de demonstração. A taxa de rajada teve uma grande redução no vídeo do filme (37,7%), o dobro que no outro vídeo. A Figura 65 apresenta as curvas de chegada e serviço nas taxas (8Mbps, 4Mbps, 2Mbps, 1Mbps) para os vídeos de conteúdo de filme (*Terminator*) e demonstração (*Sony*).

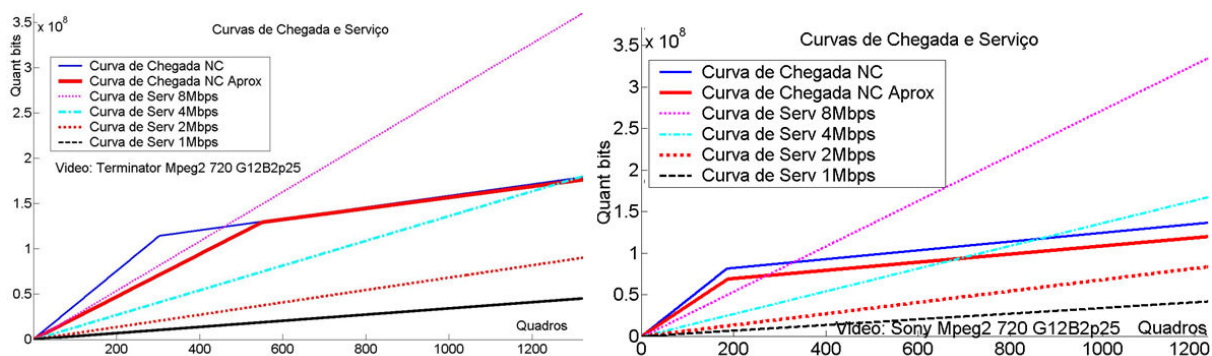


Figura 65 – Curvas de Chegada e Serviço - ε - NC - Vídeos MPEG-2@720p

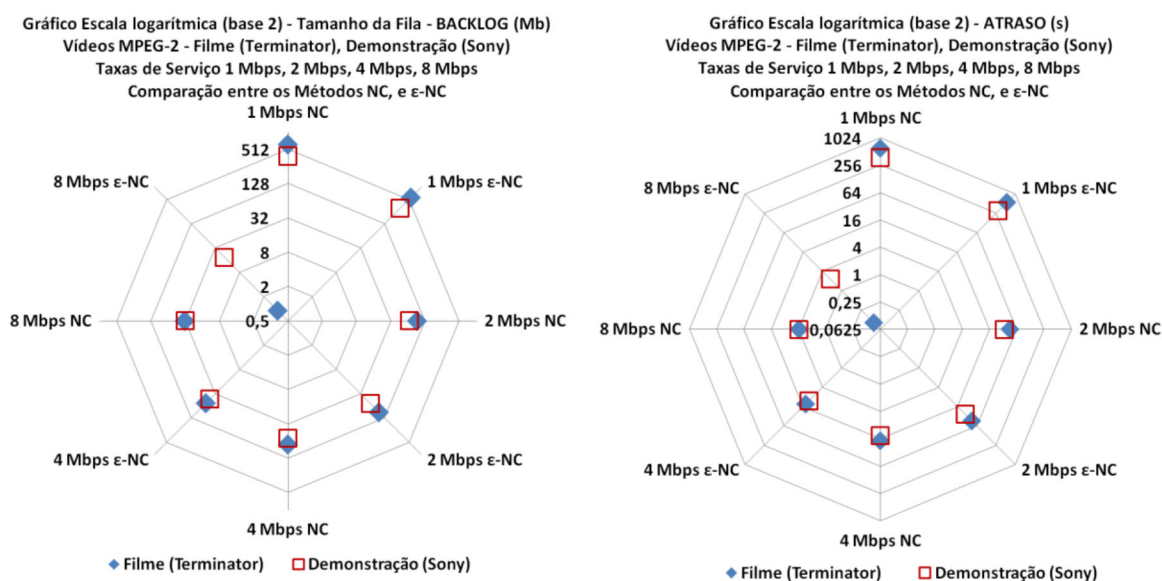
Através da comparação da curva de chegada aproximada do vídeo de filme (*Terminator*) com a curva de serviço de 8Mbps é possível observar que utilizando a curva de chegada NC, a taxa de rajada não é atendida pela taxa de serviço. Porém quando a curva de chegada aproximada é gerada, a taxa de rajada fica abaixo dos 8Mbps e o atendimento aos requisitos do vídeo fica imediato. Este resultado mostra que em alguns cenários a aplicação do ε -NC resulta em ganhos expressivos para o sistema. Nesta situação, 1% de perda de quadros do vídeo, reduziu em 97% o atraso e *backlog* para aquela curva de chegada quando submetida à curva de serviço de 8Mbps. No caso do vídeo de demonstração houve redução do atraso e *backlog*, porém menos significativa que no vídeo *Terminator*.

Para obtenção do atraso (d_ε) e *backlog* (b_ε) para o ε -NC são avaliadas as curvas de chegada de cada vídeo em relação às curvas de serviço propostas (8Mbps, 4Mbps, 2Mbps, 1Mbps) conforme apresentado na Tabela 24.

Tabela 24. Backlog e atraso virtual - $\varepsilon - NC$ - MPEG-2@720p

Curva Serviço	Vídeo / Parâmetro	Filme (Terminator)	Demonstração (Sony)
1 Mbps	Backlog (Mb)	575,9	308,3
	Atraso (s)	562,4	301,1
	Redução NC (%)	7,6%	20,3%
2 Mbps	Backlog (Mb)	92,1	56,3
	Atraso (s)	45,0	27,5
	Redução NC (%)	1,8%	18,3%
4 Mbps	Backlog (Mb)	54,8	43,9
	Atraso (s)	13,4	10,7
	Redução NC (%)	25,3%	22,6%
8 Mbps	Backlog (Mb)	0,9	18,9
	Atraso (s)	0,1	2,3
	Redução NC (%)	97,1%	40,9%

Para as taxas de serviço de 1Mbps e 2Mbps o vídeo de demonstração teve uma redução nos valores de *backlog* e atraso em torno de 20%, o vídeo do filme teve uma redução inferior. Para taxa de serviço de 4Mbps a redução de *backlog* e atraso foi de 25%. As reduções mais significativa de *backlog* e atraso foram na curva de serviço de 8Mbps. No vídeo de demonstração 41% e mais que 97% para o filme. A Figura 66 apresenta o comparativo de NC e $\varepsilon - NC$ para *backlog* e atraso.

Figura 66 – Backlog e atraso – comparação NC e $\varepsilon - NC$ - MPEG-2

De acordo com a Figura 66 as reduções de *backlog* e atraso são mais significativas para grandes taxas de serviço. Neste cenário os parâmetros de

backlog e atraso se aproximam de zero. Este comportamento é motivado pelo valor da taxa de rajada, a qual passa a ter valor próximo à taxa de serviço. A relação do aumento da taxa de serviço e a redução do *backlog* e atraso apresenta um fato interessante. Quando a taxa de serviço aumenta em 8 vezes (1Mbps para 8Mbps), o *backlog* e atraso reduzem o valor em mais de 600 vezes. Deste modo, o ganho de desempenho no sistema é muito significativo. Esta mesma avaliação foi feita para o NC, naquela situação, a Tabela 8 mostra uma redução do *backlog* e atraso de aproximadamente 10 vezes para um aumento da taxa de serviço de 8 vezes. O *backlog* e atraso tiveram redução percentual equivalente pois ambos obtêm os valores relativos a uma mesma curva de serviço.

6.4.1.2 Vídeos com conteúdos diferentes – H264@1080i

Conforme apresentado na seção anterior o padrão de vídeo H264 devido às características de codificação tem alta variabilidade. Através da técnica de NC aproximado é possível levantar a economia de recursos quando são admitidas pequenas perdas, neste caso $\varepsilon = 1\%$. Os vídeos utilizados são de dois tipos de conteúdo (documentário e entrevista), a resolução é 1080i a 30 quadros por segundo. A Tabela 25 apresenta os parâmetros que compõem a curva de chegada dos vídeos e quais as reduções proporcionadas pela aplicação do $\varepsilon - NC$.

Tabela 25. Parâmetros – Curva de Chegada – Vídeos H264@1080i - $\varepsilon - NC$

Vídeo / Parâmetro	Documentário (Mars)	Entrevista (Talkshow)
Taxa média NC Aprox. (Mbps)	2,95	1,4
Redução em relação ao NC	12,5%	10,2%
Tam. Rajada [b] (Mb)	102,4	44,2
Redução em relação ao NC	14,4%	27,2%
Taxa Rajada (Mbps)	26,2	13,9
Redução em relação ao NC	66,6%	39,7%
Tempo Rajada [T] (s)	3,9	3,2
Aumento em relação ao NC	61,0%	17,2%

A redução relacionada à taxa média ficou em torno de 10%, o tamanho da rajada teve a maior redução no vídeo de entrevista (27,2%), praticamente o dobro que no vídeo de documentário. A taxa de rajada teve uma grande redução no vídeo de documentário, quase 70%, mas em contrapartida houve um aumento de 61% no período da rajada, justamente para absorver a queda na taxa da rajada e completar o tamanho da rajada. Houve uma diferença significativa na taxa de rajada do vídeo

documentário, antes da aplicação do método do $\varepsilon - NC$, a taxa era de 78Mbps e passou para 26Mbps. Levando em conta a reserva de recursos em um sistema multimídia é um resultado significativo. Para analisar o impacto da aplicação do $\varepsilon - NC$ em alguns cenários são utilizadas as curvas de serviço com as taxas de 8Mbps, 4Mbps, 2Mbps, 1Mbps juntamente com a curva de chegada aproximada (α_ε) conforme apresentado na Figura 67.

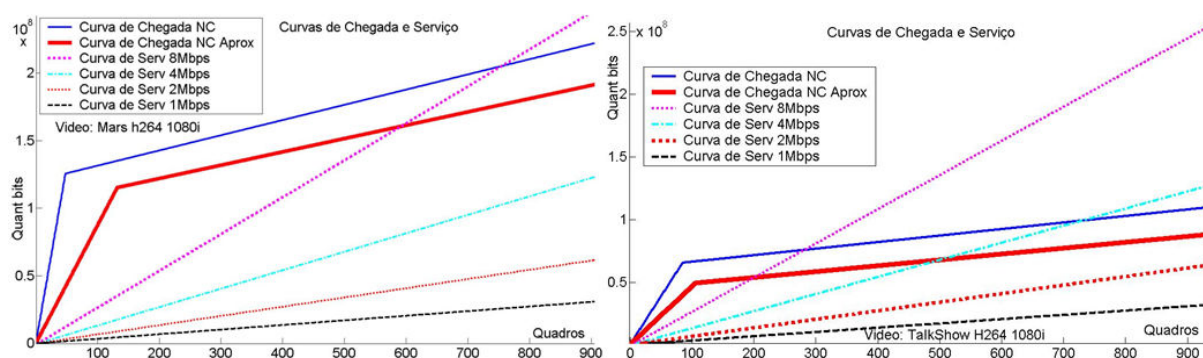


Figura 67 – Curvas de Chegada (α_ε) e Serviço – H264@1080i

Para o vídeo de documentário (*Mars*) é verificado um valor de altas taxas de rajada e média bem como as reduções desta quando é aplicada $\varepsilon - NC$. O vídeo de entrevista tem valores cobertos por taxas de serviço com valores menores. Na Tabela 26 são apresentados os valores de *backlog* e atraso obtidos da relação entre as curvas de chegada e serviço.

Tabela 26. *Backlog* e atraso - Vídeos H264@1080i - $\varepsilon - NC$

Curva Serviço	Vídeo / Parâmetro	Documentário (Mars)	Entrevista (Talkshow)
1 Mbps	<i>Backlog</i> (Mb)	1260,5	273,3
	Atraso (s)	1231	266,9
	Redução NC (%)	17,7%	29,2%
2 Mbps	<i>Backlog</i> (Mb)	646,3	42,2
	Atraso (s)	315,6	20,6
	Redução NC (%)	29,6%	29,5%
4 Mbps	<i>Backlog</i> (Mb)	97,8	35,3
	Atraso (s)	23,9	8,6
	Redução NC (%)	18,1%	35,1%
8 Mbps	<i>Backlog</i> (Mb)	80,4	21,3
	Atraso (s)	9,8	2,6
	Redução NC (%)	29,2%	50,7%

A redução com taxa de serviço de 1Mbps foi de quase 30% no vídeo de entrevista, dobro da redução que no vídeo de documentário (relação semelhante à curva de serviço de 4Mbps). Na curva de serviço de 2Mbps o ganho foi equivalente para os dois vídeos. Com exceção da taxa de serviço de 2Mbps, nas outras curvas, o vídeo de entrevista teve o dobro de redução se comparado ao vídeo de documentário. Avaliando o aumento das taxas de serviço, foi possível observar que quando a taxa aumentou em 8 vezes (1Mbps para 8Mbps), o atraso reduziu em mais de 100 vezes e o *backlog* em mais de 15 vezes para os dois conteúdos de vídeo, reduções maiores que as apresentadas na Tabela 10 na avaliação do NC para estes vídeos. A Figura 68 ilustra a avaliação dos parâmetros *backlog* e atraso com aplicação dos métodos NC e ϵ -NC para os vídeos de documentário (*Mars*) e entrevista (*Talkshow*).

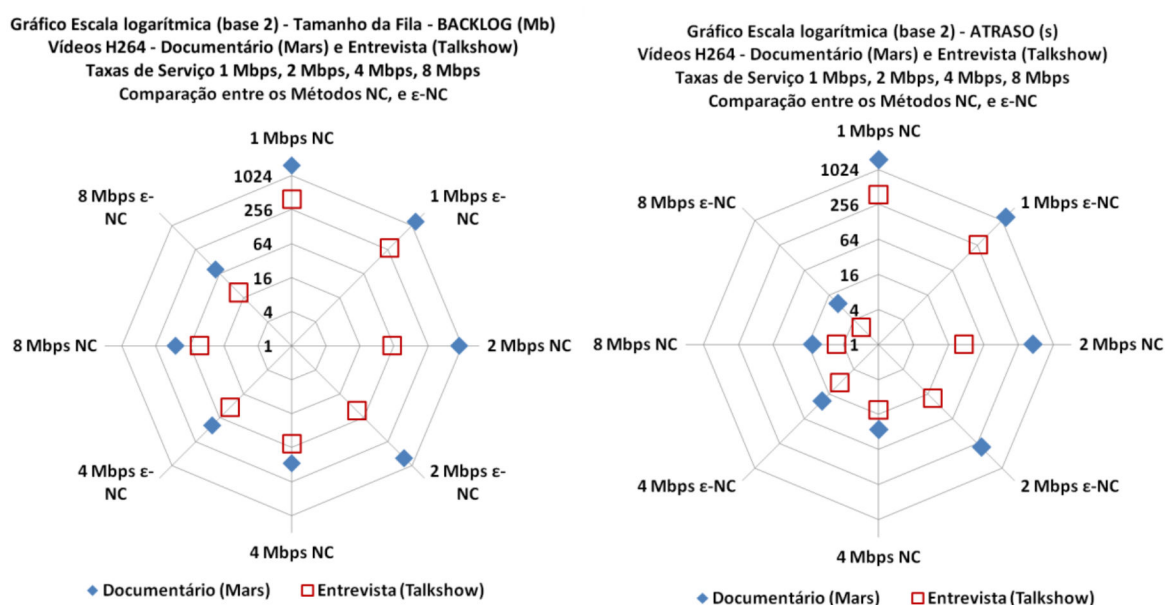


Figura 68 – Backlog e atraso – comparação NC e ϵ -NC - H264

O vídeo de documentário visualmente tem *backlog* e atraso maiores que o vídeo de entrevista. A maior diferença entre os conteúdos de vídeo foi na avaliação com taxa de serviço de 2Mbps. Em relação à aplicação do ϵ -NC, os resultados são mais significativos para taxas de serviço maiores (8Mbps).

6.4.2 Vídeos com diferentes taxas de compressão

Avaliando três vídeos MPEG-4 de mesmo conteúdo e com taxas de compressão diferentes, é possível observar através da Tabela 27 o impacto da

aplicação do NC aproximado ($\varepsilon - NC$) nos valores dos parâmetros que compõem a curva de chegada.

Tabela 27. Taxa média e rajada – Vídeos MPEG-4 - $\varepsilon - NC$

Vídeo / Parâmetro	Qual. Alta	Qual. Média	Qual. Baixa
Taxa média NC Aprox. (Mbps)	0,8	0,29	0,16
Redução em relação ao NC	4,2%	6,3%	9,8%
Tam. Rajada [b] (Mb)	113,0	46,2	22,9
Redução em relação ao NC	11,4%	14,4%	23,0%
Taxa Rajada (Mbps)	3,4	1,7	1,4
Redução em relação ao NC	22,9%	30,2%	39,5%
Tempo Rajada [T] (s)	32,9	27,8	16,8
Aumento em relação ao NC	12,9%	18,5%	21,4%

As reduções da taxa média, tamanho da rajada e taxa de rajada foram mais expressivas no vídeo de baixa qualidade, ou seja, com a perda de $\varepsilon = 1\%$, as reduções chegaram a quase 40% na taxa de rajada. Em contrapartida, o vídeo de alta qualidade teve uma redução inferior àquelas encontradas nos outros vídeos. Com os dados da Tabela 27 é possível montar as curvas de chegada aproximadas (α_ε) de cada vídeo conforme apresentado na Figura 69.

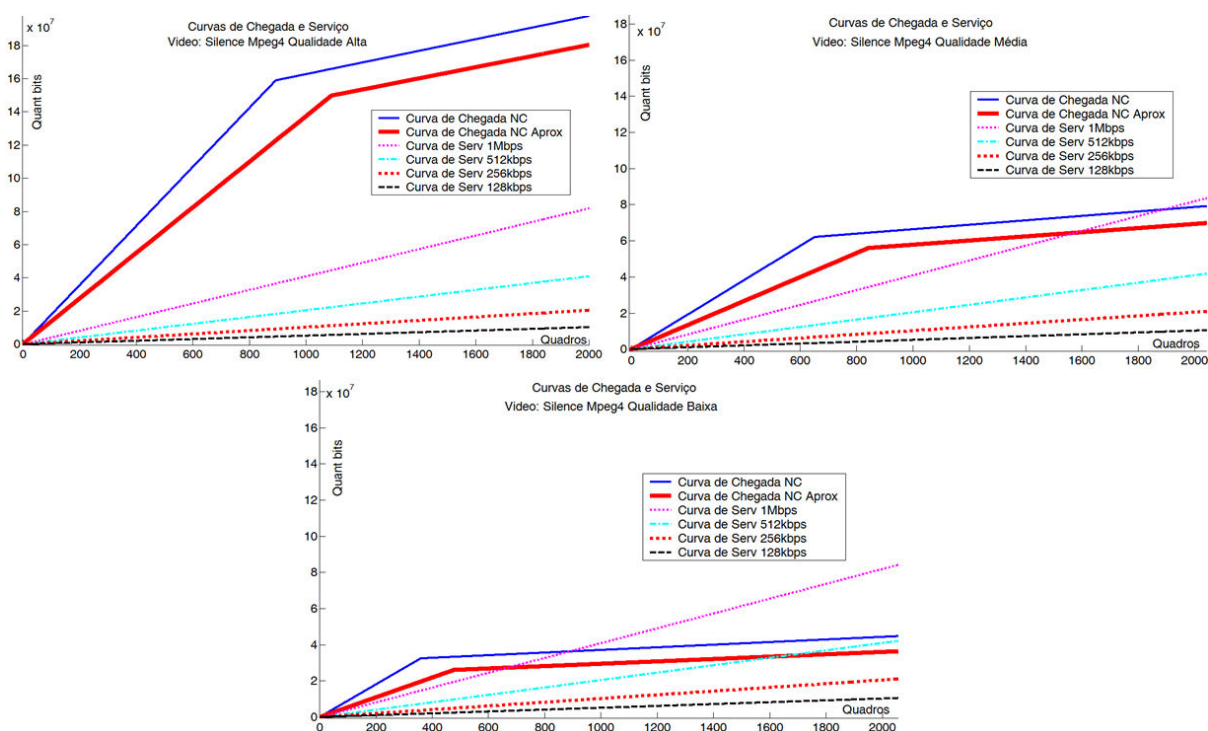


Figura 69 – Curvas de Chegada (α_ε) e Serviço – MPEG-4 – taxas de compressão

A Figura 69 apresenta as curvas de chegada e serviço. O vídeo de alta qualidade tem taxas de rajada superiores às taxas de serviço e a taxa média é

próxima de 1Mbps. No vídeo de qualidade média, as taxas média das curvas são atendidas por mais de uma curva de serviço. Para o vídeo de baixa qualidade, a curva de chegada aproximada tem taxa de rajada com valor próximo a taxa de serviço de 1Mbps. Esta característica influencia fortemente na redução de *backlog* e atraso vista no vídeo de baixa qualidade, quase 63% quando comparado a curva de chegada NC. Avaliando essa curva com as curvas de serviço nas taxas de 1Mbps, 512kbps, 256kbps, 128kbps é possível obter o *backlog* e atraso para cada cenário. A Tabela 28 apresenta as reduções desses parâmetros para cada curva de serviço.

Tabela 28. *Backlog* e atraso virtual – MPEG-4 – taxas de compressão - $\varepsilon - NC$

Curva Serviço	Vídeo / Parâmetro	Qualidade Alta	Qualidade Média	Qualidade Baixa
128 kbps	<i>Backlog</i> (Mb)	540,2	142,0	44,0
	Atraso (s)	4220,7	1109,5	344,0
	Redução NC (%)	6,3%	12,1%	28,5%
256 kbps	<i>Backlog</i> (Mb)	463,5	65,2	21,2
	Atraso (s)	1810,4	254,8	82,7
	Redução NC (%)	7,3%	23,0%	26,4%
512 kbps	<i>Backlog</i> (Mb)	309,9	38,8	16,3
	Atraso (s)	605,3	75,7	31,9
	Redução NC (%)	10,5%	20,5%	35,0%
1 Mbps	<i>Backlog</i> (Mb)	105,2	21,6	6,6
	Atraso (s)	102,7	21,1	6,5
	Redução NC (%)	14,1%	39,1%	62,8%

A redução no vídeo de baixa qualidade iniciou em 28,5% para taxa de serviço de 128kbps e obteve quase 63% para a curva de serviço de 1Mbps. As reduções nos vídeos de alta qualidade foram menos significativos, em torno de 10%. O vídeo de qualidade média teve redução de 39,1% na taxa de serviço de 1Mbps. Na Figura 70 é apresentada a análise comparativa do NC e $\varepsilon - NC$ para os vídeos MPEG-4 com taxas de compressão diferentes.

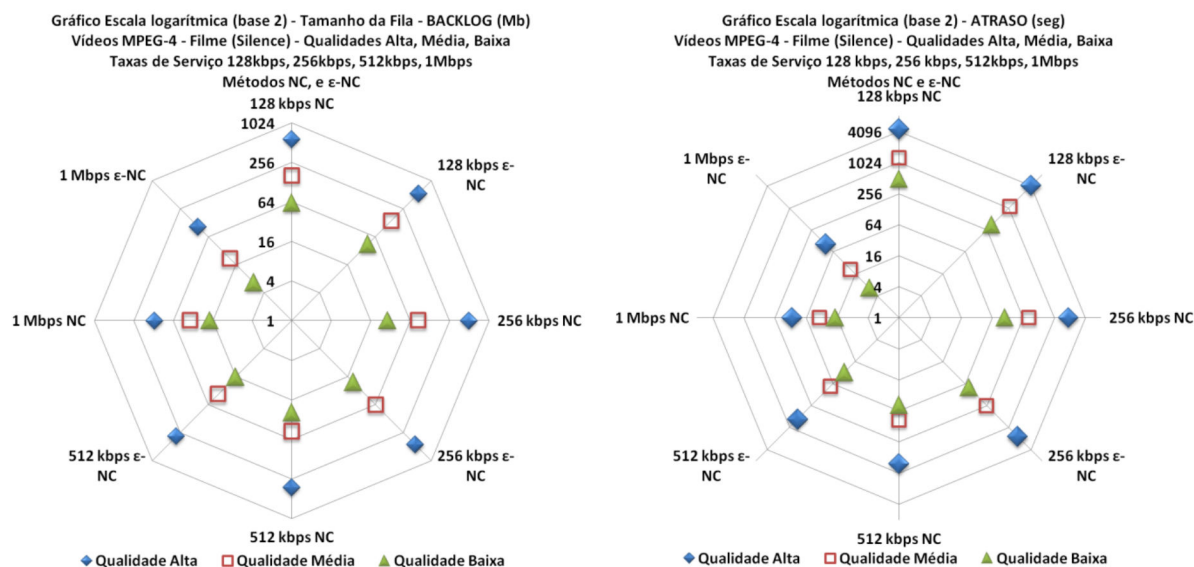


Figura 70 – *Backlog* e atraso – comparação NC e ε -NC - MPEG-4 taxas de compressão

Através da Figura 70 é possível observar que a aplicação do ε -NC fornece maior diferenciação entre os três vídeos de taxas de compressão diferentes. Assim, como nos testes com MPEG-2 e H264, à medida que as taxas de serviço aumentam as reduções de *backlog* e atraso ficam mais evidentes. As reduções mais significativas foram visualizadas no vídeo de baixa qualidade.

6.4.3 Vídeos com diferentes GoP e conteúdo

6.4.3.1 Vídeos com diferentes GoP e conteúdo – MPEG-4

Para composição das curvas de chegada do ε -NC é necessário obter um conjunto de parâmetros $(r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$ para caracterizar o vídeo. A Tabela 29 fornece os parâmetros e a redução comparativa do ε -NC em relação ao *Network Calculus*.

Tabela 29. Taxa média e rajada e reduções do NC em relação ao ε -NC

Vídeo		G16B1		G16B3		G16B7		G16B15	
		ε -NC	% $\frac{NC}{\varepsilon-NC}$	ε -NC	% $\frac{NC}{\varepsilon-NC}$	ε -NC	% $\frac{NC}{\varepsilon-NC}$	ε -NC	% $\frac{NC}{\varepsilon-NC}$
Filme Silence	Taxa média [r_ε] (Mbps)	0,15	6,1	0,2	4,9	0,3	3,7	0,3	2,9
	Tam. Rajada [b_ε] (Mb)	13,7	7,9	14,6	8,0	13,5	10,7	10,1	11,0
	Taxa Rajada (Mbps)	0,81	41,1	0,81	40,5	0,85	38,0	0,8	39,2
	Tempo Rajada [T_ε] (s)	17,0	36,0	17,9	35,2	15,9	30,5	12,2	31,7
Demonstra ção Sony	Taxa média [r_ε] (Mbps)	0,15	7,8	0,19	6,5	0,25	4,9	0,33	3,8
	Tam. Rajada [b_ε] (Mb)	12,5	1,8	14,6	0,7	16,7	-0,3	16,1	-0,6

	Taxa Rajada (Mbps)	1,1	29,5	1,1	29,5	1,1	29,7	1,1	30,3
	Tempo Rajada [T_ε] (s)	10,9	28,2	12,8	28,9	14,7	29,9	14,3	30,7
Documentário Tokyo	Taxa média [r_ε] (Mbps)	0,14	5,5	0,16	4,6	0,21	3,6	0,28	2,7
	Tam. Rajada [b_ε] (Mb)	13,3	14,6	12,8	15,5	11,9	15,8	11,3	15,5
	Taxa Rajada (Mbps)	0,6	44,9	0,7	43,9	0,6	44,7	0,6	47,6
	Tempo Rajada [T_ε] (s)	20,5	35,5	19,4	33,6	18,3	34,3	18,3	38,0
Telejornal News	Taxa média [r_ε] (Mbps)	0,19	5,5	0,22	4,8	0,28	3,8	0,36	3,0
	Tam. Rajada [b_ε] (Mb)	8,6	4,4	8,6	2,8	7,8	2,2	6,0	4,3
	Taxa Rajada (Mbps)	0,9	56,0	0,9	57,2	0,9	57,8	0,9	57,5
	Tempo Rajada [T_ε] (s)	9,6	54,0	9,6	55,9	8,7	56,9	6,9	55,6

Como obtenção dos valores dos parâmetros ($r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon$) é possível construir as curvas de chegada de cada vídeo. De acordo com a Tabela 29, as menores taxas médias foram encontradas nos vídeos de documentário, demonstração, filme e telejornal respectivamente. Os menores valores de taxa média e respectiva reduções em relação ao NC foram obtidos na composição de GoP G16B1. As reduções ficaram em torno de 5%. As reduções do tamanho de rajada ficaram em torno de 10%. Os maiores tamanhos de rajada foram encontrados no vídeo de filme e os menores no vídeo de telejornal. As taxas de rajada obtiveram as reduções mais significativas, 30% para o vídeo de demonstração e mais de 50% para o telejornal. O tempo de rajada em geral teve uma variação de 30%.

A aplicação do NC aproximado ($\varepsilon - NC$) possibilita levantar os ganhos inerentes quando se admitem perdas no trecho de vídeo. Conforme já utilizado, com $\varepsilon = 1\%$ alguns quadros são perdidos, porém muitos recursos são salvos. A Figura 71 apresenta o comparativo percentual de cada parâmetro da curva de chegada com a aplicação do $\varepsilon - NC$.

atraso e *backlog*. A Figura 72 apresenta as reduções obtidas em relação ao *backlog* e atraso do NC.

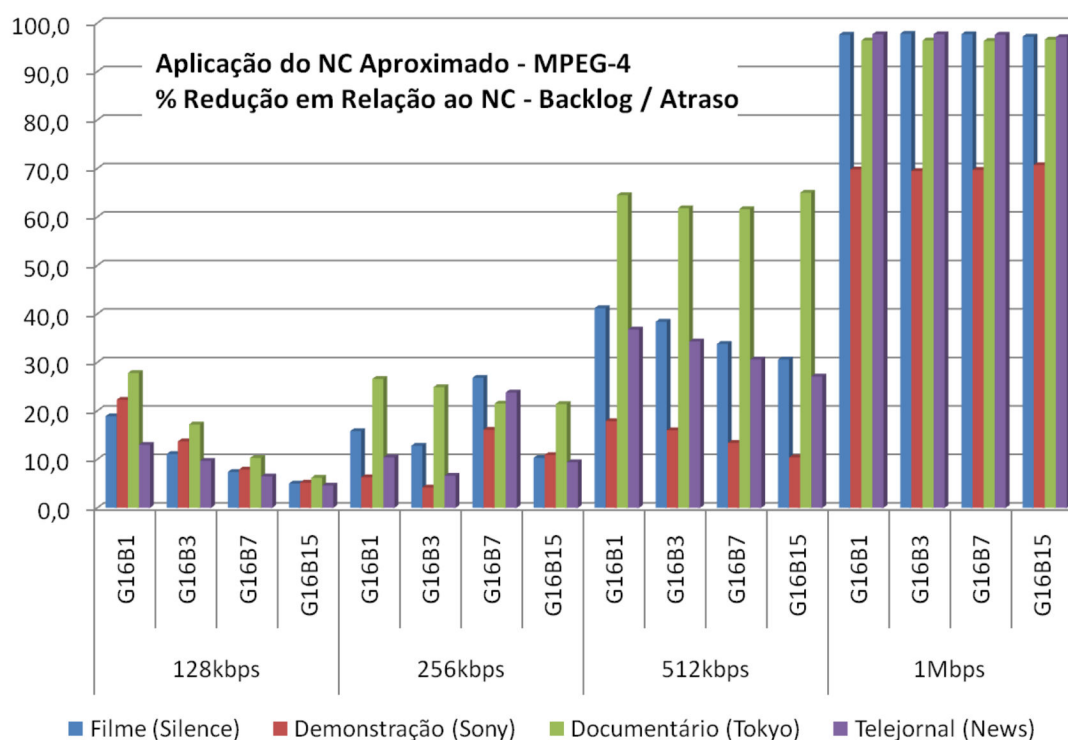


Figura 72 – Percentual de redução - *backlog* e atraso – MPEG-4

De maneira geral o vídeo de documentário obteve as maiores reduções nas diversas curvas de serviço. Para taxa de serviço de 1Mbps os vídeos de filme, telejornal e documentário obtiveram reduções com valores maiores que 90%. O vídeo de demonstração obteve as menores reduções nos quesitos de atraso e *backlog*. O GoP com formato G16B1 teve na média redução mais significativa.

6.4.3.2 Vídeos com diferentes GoP e conteúdo – H264

O H264 devido às propriedades de codificação apresenta grande variabilidade como característica do vídeo codificado. Este padrão de vídeo tem tratamento avançado das sequências de quadros do tipo B. Deste modo, a estrutura do GoP pode alterar significativamente as características do vídeo H264. Neste teste serão avaliados quatro conteúdos diferentes de vídeos, cada um com composição de GoP diferenciadas (G16B1, G16B3, G16B7, G16B15). A aplicação das técnicas de NC aproximado nesta sequências permite identificar qual a influência dos quadros de maior exigência, qual a representatividade na sequência de vídeo e quanto de economia de recursos ele permite caso seja descartado.

Gráfico - Vídeo H264@30qps CIF - Comparativo relativo (%) - Parâmetros Curvas de Chegada
 Taxa média (kbps), tamanho da rajada (Mbits), Taxa Rajada (Mbps) e tempo de duração da rajada (seg)
 Conteúdo: Telejornal, Demonstração, Documentário, Filme - GoPs G16B1, G16B3, G16B7, G16B15

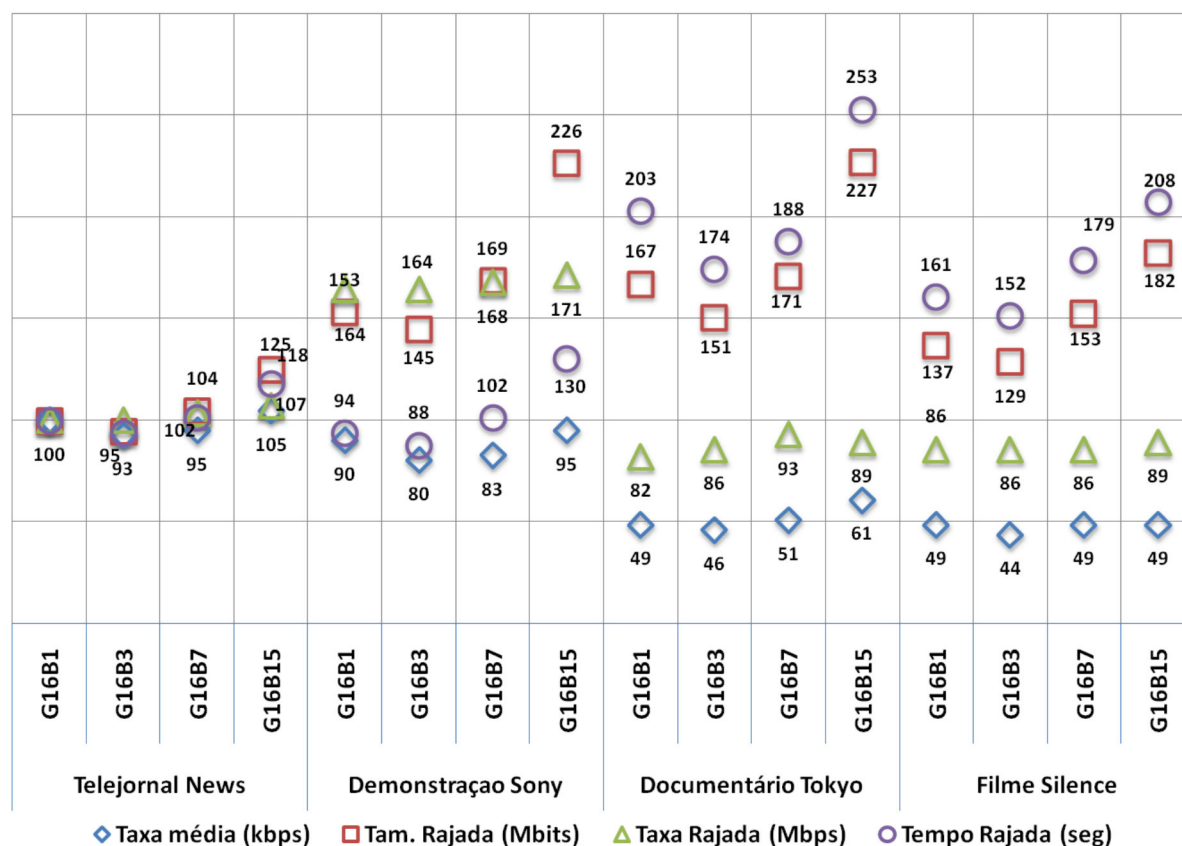


Figura 73 – Comparativo percentual – parâmetros de α_ε – vídeos MPEG-4 - ε -NC

Com a aplicação do ε -NC uma das expectativas é que os parâmetros que compõem a curva de chegada sofram reduções. A Figura 74 mostra o percentual de redução de NC em função de ε -NC para cada um dos parâmetros da curva de chegada.

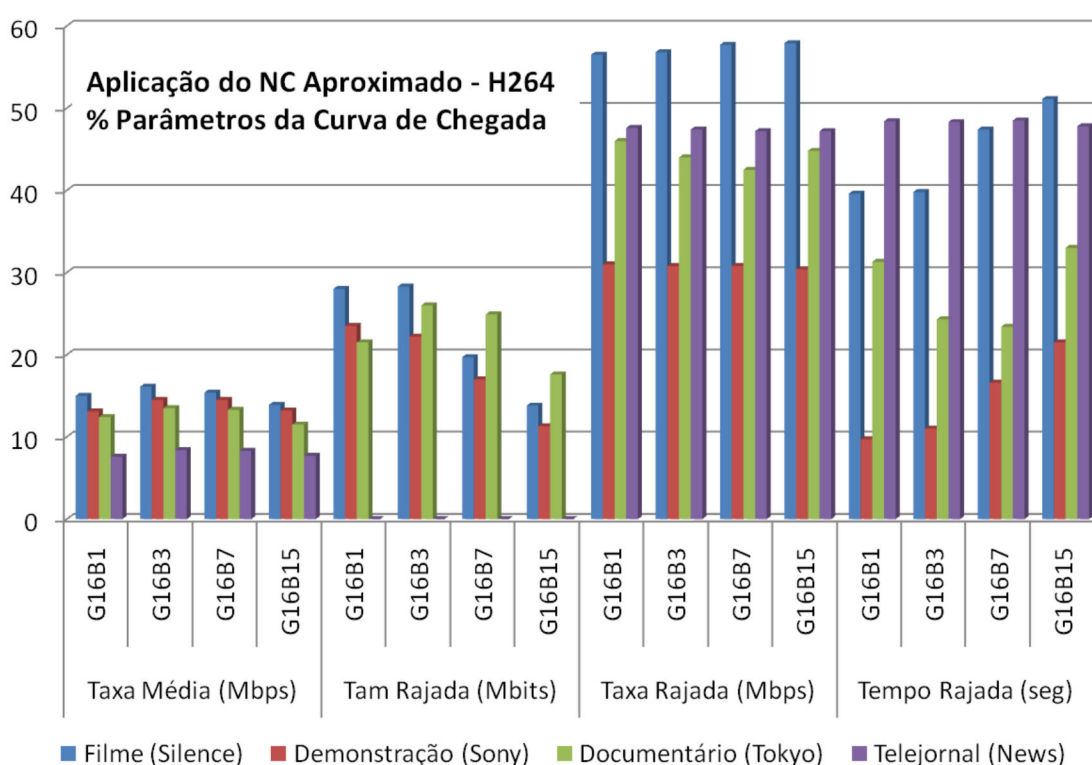


Figura 74 – Curvas de Chegada (α_e) – percentual de redução – H264

A taxa média teve uma redução próxima a 10% para os quatro tipos de vídeo, os valores de cada formato de GoP foram muito próximos. A maior redução em relação à taxa média foi no vídeo de filme. Em relação ao tamanho da rajada, o resultado foi bastante influenciado pelo formato do GoP, no vídeo de filme e demonstração com o aumento dos quadros do tipo B no GoP, a redução do tamanho rajada tende a diminuir, ou seja, a economia de recursos passa a ser menor. No vídeo de telejornal não houve nenhuma redução do tamanho da rajada. A taxa de rajada foi o parâmetro com os melhores resultados. No vídeo de filme, a redução da taxa de rajada chegou quase a 60%, os vídeos de documentário e telejornal tiveram reduções próximas a 50%, o vídeo de demonstração chegou em 30%. O tempo de rajada aumentou em torno de 40% para os vídeos de filme e telejornal. O vídeo de demonstração teve a característica de aumentar o tempo de rajada, à medida que o formato do GoP tem mais quadros do tipo B – este resultado parece estar muito associado ao tamanho da rajada. De maneira geral, as reduções mais representativas foram no vídeo de filme e o formato de GoP que obteve os melhores resultados foi o G16B3. A avaliação das curvas de chegada com as curvas de serviço permite levantar os valores do *backlog* e atraso. A Figura 75 mostra qual foi o percentual de redução do *backlog* e do atraso na análise comparativa de NC e

$\varepsilon - NC$ para cada conjunto de curva de serviço e curva de chegada nos conteúdos de vídeo diferentes. Os percentuais de redução do *backlog* e atraso são os mesmos devido à dependência linear da análise da curva de chegada (α_ε) com as curvas de serviço.

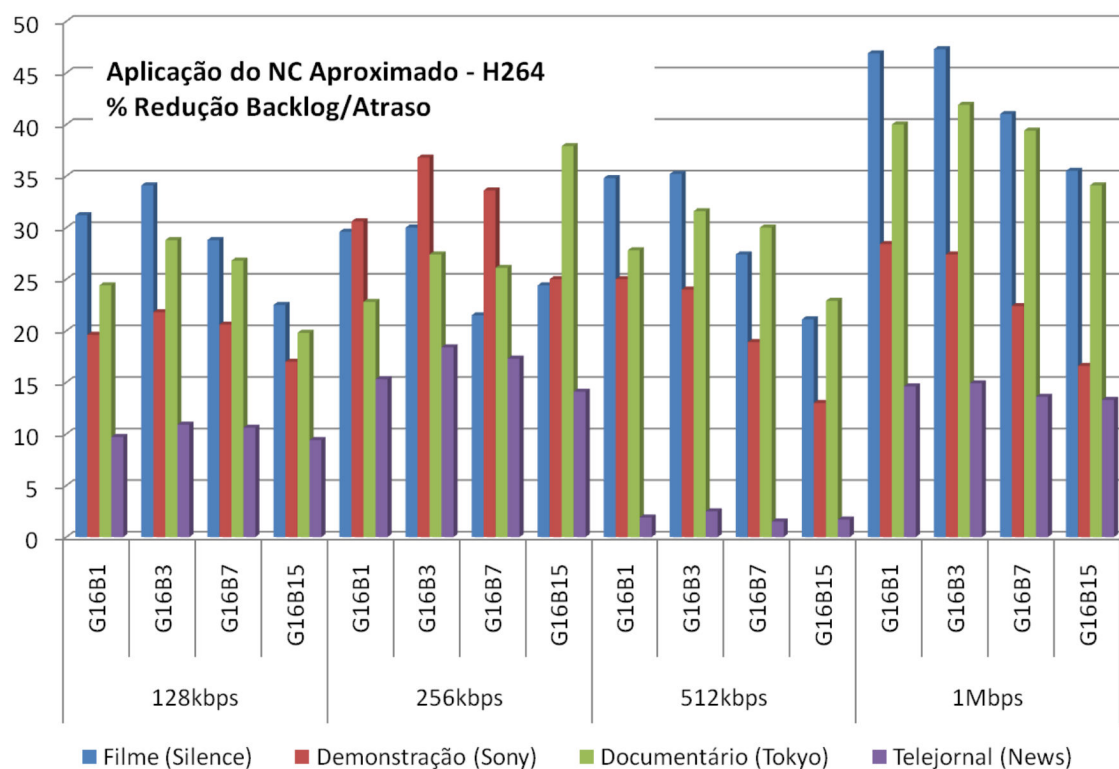


Figura 75 – Percentual de redução – atraso e *backlog* – H264 - $\varepsilon - NC$

Em geral o formato de GoP G16B3 apresentou as reduções mais significativas de *backlog* e atraso. As maiores reduções foram no vídeo de filme, já as menores no vídeo de telejornal. Para o vídeo de demonstração as reduções tendem a diminuir com o aumento de quadros do tipo B na composição do GoP. As reduções percentuais de *backlog* e atraso foram mais representativas na curva de serviço de 1Mbps. Para o vídeo de telejornal quando submetido a uma curva de serviço de taxa 512kbps a redução do *backlog* e atraso foi irrelevante.

6.4.4 Conclusão sobre o uso do $\varepsilon - NC$

Para o vídeo MPEG-2, os resultados da aplicação do $\varepsilon - NC$ foram pouco significativas na redução da taxa média, mas no tamanho de rajada a redução foi de 17% para o vídeo de demonstração e para a taxa de rajada chegaram a 38% no vídeo de filme. O resultado mais expressivo foi relacionado ao atraso e *backlog*, os quais tiveram os valores próximos a zero para curva de serviço com taxa de 8Mbps,

percentualmente a redução foi de 97%. Esse fato aconteceu porque antes da aplicação do $\varepsilon - NC$ a taxa de rajada do vídeo era maior que a taxa de serviço, aplicando a técnica ela ficou abaixo do valor podendo ser atendida rapidamente. Em algumas situações, o aumento da taxa de serviço em 8 vezes (1 Mbps para 8Mbps) proporciona uma redução bastante significativa no atraso e *backlog* em mais de 600 vezes na aplicação de $\varepsilon - NC$, contra 10 vezes na aplicação do NC.

A avaliação do H264 com resolução 1080i mostrou a redução de 10% para taxa média em ambos os vídeos. No vídeo de entrevista, o tamanho da rajada reduziu em quase 30% de redução, o dobro do percentual do vídeo de documentário. A taxa de rajada do documentário teve quase 70% de redução, antes da aplicação do método do NC aproximado, a taxa era de 78Mbps e passou para 26Mbps com $\varepsilon - NC$. As reduções de atraso e *backlog* ficaram em torno de 30%. O atraso e *backlog* tiveram mantida as diferenças para diferentes tipos de conteúdo com a aplicação do $\varepsilon - NC$.

Avaliando o vídeo MPEG-4 com qualidades diferentes e mesmo conteúdo foi possível observar que nos quesitos taxa média, tamanho da rajada e taxa de rajada, os quais compõem a curva de chegada e caracteriza o vídeo, a redução percentual tende a ser duas vezes maior nos vídeos de baixa qualidade do que nos vídeos de alta qualidade. A análise de *backlog* e atraso seguiu a mesma tendência e a redução destes parâmetros para o vídeo de baixa qualidade com curva de serviço de 1Mbps chegou em 63%. A aplicação do $\varepsilon - NC$ fornece maior diferenciação entre os três vídeos de taxas de compressão diferentes. Assim, como nos testes com MPEG-2 e H264, à medida que as taxas de serviço aumentam as reduções de *backlog* e atraso ficam mais evidentes.

Avaliando vários conteúdos de vídeos MPEG-4 com composições de GoPs diferentes, foi verificada uma redução na taxa média menor que 10%. O tamanho de rajada teve uma redução de 15% no vídeo de documentário, porém no vídeo de demonstração ela foi mínima. As taxas de rajadas tiveram reduções de mais de 50% no vídeo de filme, 40% no documentário e 30% no vídeo de demonstração. Analisando o GoP, de modo geral, a maior redução foi para o formato G16B1.

Para vídeos no padrão H264, a expectativa era de uma redução um pouco maior que no MPEG-4. Foi verificado que em todos os formatos de GoP a redução da taxa média foi equivalente. O tamanho de rajada teve uma redução de 20% para os vídeos de filme, demonstração e documentário e foi mínima no telejornal. A

redução na taxa de rajada teve um resultado percentual muito parecido que o encontrado para MPEG-4. As reduções nos valores do atraso e *backlog* foram bem variados, mas o formato de GoP G16B3 teve o resultado mais significativo.

6.5 Conclusão

De acordo com a Tabela 4, os parâmetros propostos para utilização na caracterização de vídeo são: atraso, tamanho da fila – alocação de recursos, processamento, períodos de exigência máxima, economia de recursos e classificação do vídeo. As técnicas que apresentaram as propriedades que mais se aproximaram do propósito de obter esses parâmetros foram NC e ε -NC. Com o *Network Calculus* é possível identificar o atraso, tamanho de fila (*backlog*), processamento (taxa média), períodos de exigência máxima. O *Network Calculus* aproximado fornece para cada parâmetro citado o percentual de redução e sua representatividade. O NC e ε -NC de forma conjunta fornecem um modo de classificação do vídeo. A Tabela 30 apresenta o valores referentes às curvas de chegada dos vídeos nos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264 (a Tabela 5 apresenta maiores detalhes dos vídeos).

Tabela 30. Quadro Resumo da Caracterização de Vídeo com NC e ε -NC

Vídeo (Padrão Res. qps Vídeo)		r (Mbps)	b (Mbits)	T (seg)	b/T (Mbps)	ε (%)	r_ε (Mbps)	b_ε (Mbits)	T_ε (seg)	$b_\varepsilon/T_\varepsilon$ (Mbps)
MPEG-2 720p	<i>Terminator</i>	1,9	94,9	8,4	11,3	1,0	1,8	96,0	13,6	7,0
30qps	<i>Sony</i>	1,6	71,3	5,4	13,2	1,0	1,5	59,6	5,4	11,0
MPEG-4	HQ	0,9	127,6	28,7	4,4	1,0	0,8	113,0	32,9	3,4
QCIF 25qps	MQ	0,3	54,0	22,7	2,4	1,0	0,3	46,2	27,8	1,7
<i>Silence</i>	LQ	0,2	29,8	13,2	2,3	1,0	0,2	22,9	16,8	1,4
	<i>Silence</i>	0,2	14,9	10,9	1,4	1,0	0,2	13,7	17,0	0,8
MPEG-4 CIF	<i>Sony</i>	0,2	12,7	7,9	1,6	1,0	0,2	12,5	10,9	1,1
30qps G16B1	<i>Tokyo</i>	0,1	15,5	13,2	1,2	1,0	0,1	13,3	20,5	0,6
	<i>News</i>	0,2	9,0	4,4	2,0	1,0	0,2	8,6	9,6	0,9
	<i>Silence</i>	0,2	33,4	6,0	5,6	1,0	0,2	24,0	10,0	2,4
H264@CIF 30qps	<i>Sony</i>	0,4	34,7	5,2	6,7	1,0	0,3	27,0	5,8	4,6
G16B3	<i>Tokyo</i>	0,2	37,9	8,7	4,4	1,0	0,2	28,0	11,5	2,4
	<i>News</i>	0,4	17,3	3,2	5,4	1,0	0,4	17,6	6,2	2,8
H264 1080i	<i>Mars</i>	3,4	119,5	1,5	78,4	1,0	3,0	102,4	3,9	26,2
30qps	<i>Talkshow</i>	1,6	60,7	2,6	23,1	1,0	1,4	44,2	3,2	13,9

A tabela apresenta o conjunto de parâmetros necessários na caracterização do vídeo $(r, b, T, \varepsilon, r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$, onde r, b, T representam a taxa média, tamanho da rajada e tempo de rajada do vídeo sem perdas, respectivamente. O percentual de perdas admitidas no sistema é definido em ε . Com essa perda é esperada uma redução nos valores da taxa média, tamanho da rajada e tempo de rajada, definidos em $r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon$. Para obtenção da caracterização proposta, esses valores podem ser relacionados uns com os outros e aplicados a avaliações como no caso da análise com curvas de serviço. Relacionando o tamanho da rajada (b) em Mbits e o tempo de rajada (T) é obtida a taxa de rajada em Mbps. A taxa de rajada (b/T) é uma informação muito importante, pois fornece qual o valor de máxima exigência do vídeo – os valores ficaram abaixo de 10 Mbps para os vídeos com resolução CIF e acima deste valor para os vídeos de alta definição. Quando o NC aproximado é aplicado, alguns vídeos de alta definição têm as taxas de rajada diminuída significativamente e passam a ser menores que 10Mbps. O tamanho da rajada – que pode ser interpretado como o *buffer* em um sistema – tem valores que variam até centenas de Mbits. A Tabela 31 apresenta a análise comparativa do NC e NC aproximado e qual a representatividade dos ganhos quando são admitidas perdas de quadro de $\varepsilon = 1\%$. A tabela apresenta seis colunas relacionando os parâmetros de NC e ε -NC. A relação $(b/T)/r$, chamada neste trabalho de índice de variabilidade, representa a variabilidade da sequência de vídeo, ou seja, o quanto a taxa máxima ou taxa de rajada (b/T) é maior que a taxa média (r).

Tabela 31. Comparativo NC e ε -NC (Relação, Redução, aumento)

Vídeo (Padrão@Res_qps_Vídeo)		Relação $(b/T)/r$	Relação $(b_\varepsilon/T_\varepsilon)/r_\varepsilon$	Redução $r \rightarrow r_\varepsilon$	Redução $b \rightarrow b_\varepsilon$	Aumento $T \rightarrow T_\varepsilon$	Redução $\frac{b}{T} \rightarrow \frac{b_\varepsilon}{T_\varepsilon}$
MPEG-2	<i>Terminator</i>	5,9	3,9	5,3	-11,6	61,9	38,1
720p 30qps	<i>Sony</i>	8,2	7,3	6,3	16,4	0,0	16,7
MPEG-4	HQ	5,0	4,3	9,1	11,4	14,6	22,7
QCIF 25qps	MQ	7,7	5,9	6,5	14,4	22,5	29,2
	<i>Silence</i>	12,8	8,8	11,1	23,2	27,3	39,1
MPEG-4 CIF	<i>Silence</i>	8,2	5,4	11,8	8,1	56,0	42,1
30qps G16B1	<i>Sony</i>	8,6	7,3	11,8	1,6	38,0	31,3
	<i>Tokyo</i>	8,6	4,3	0,0	14,2	55,3	50,0
	<i>News</i>	10,0	4,7	5,0	4,4	118,2	55,0

H264@CIF	<i>Silence</i>	25,4	13,3	18,2	28,1	66,7	57,1
30qps G16B3	<i>Sony</i>	17,6	13,9	13,2	22,2	11,5	31,3
	<i>Tokyo</i>	19,1	12,6	17,4	26,1	32,2	45,5
	<i>News</i>	13,1	7,4	7,3	-1,7	93,8	48,1
H264 1080i	<i>Mars</i>	23,0	8,9	13,2	14,3	160,0	66,6
30qps	<i>Talkshow</i>	14,4	9,9	12,5	27,2	-23,1	39,8

Para os vídeos com o padrão MPEG-2 a relação ficou em torno de 7. Para os vídeos no padrão MPEG-4, os valores ficaram entre 5 e 13, ou seja, em alguns casos a taxa média chega a ser apenas 9% da taxa máxima (taxa de rajada). Nos vídeos H264 a variabilidade é alta, deste modo, os valores foram maiores que nos outros padrões – de 13 a 26 – a taxa média é cerca de 4% da taxa de rajada. Um observação importante pode ser feita em relação aos resultados da relação entre taxa média e taxa de rajada. Os valores da relação aparentemente têm correlação com o conteúdo do vídeo apresentado. Os vídeos com menor mudança de cenas tiveram os menores valores – Telejornal (*News*) 13,1 e Entrevista (*Talkshow*) 14,4. Nos vídeos de movimentação intermediária – Demonstração (*Sony*) 17,6; Documentário (*Tokyo*) 19,1 e Documentário (*Mars*) 23. O vídeo de mais alta variabilidade e de conteúdo de maior movimentação – Filme (*Silence*) ficou em 25,4. Essa característica dos vídeos H264 foi verificada em várias resoluções e não foi identificada nos vídeos dos padrões MPEG-2 e MPEG-4. O H264 teoricamente tem a maior variabilidade entre os três padrões e isso explica os valores maiores na relação.

De forma semelhante, a relação $(b_\varepsilon / T_\varepsilon) / r_\varepsilon$, representa o índice de variabilidade aproximado para o ε -NC. O índice de variabilidade aproximado apresenta valores menores que o índice de variabilidade, justamente porque a taxa de rajada tem uma redução significativa com aplicação do NC aproximado. As reduções percentuais quando se aplicam as técnicas de ε -NC são apresentadas na Tabela 30 através das colunas de redução na taxa média ($r \rightarrow r_\varepsilon$), redução no tamanho da rajada ($b \rightarrow b_\varepsilon$), aumento no tempo da rajada ($T \rightarrow T_\varepsilon$) e a redução na taxa de rajada ($b/T \rightarrow b_\varepsilon/T_\varepsilon$). A redução da taxa média chegou a 18%, a redução do tamanho da rajada a 28%. A taxa de rajada teve reduções que chegaram próximas de 70%. O impacto deste resultado é que os recursos relativos aos momentos de

exigência máxima do vídeo seriam reduzidos em 70% admitindo apenas 1% de perda de quadros.

As análises de curva de chegada e curva de serviço fornecem os valores de atraso e *backlog*. Os resultados obtidos para estes parâmetros são resumidos nos seguintes cenários:

1. A taxa média da curva de chegada tem valor maior que a taxa de serviço – o atraso e *backlog* são fortemente influenciados pela taxa média, o tamanho de rajada e a taxa de rajada influenciam pouco nos parâmetros.
2. A taxa média é atendida pela taxa de serviço e a taxa de rajada ainda está longe de ser atendida – quem mais influencia nos valores de *backlog* e atraso é o tamanho da rajada, quanto maior esse valor, maior os valores dos parâmetros.

A taxa de rajada com os parâmetros *backlog* e atraso – à medida que a taxa de serviço fica mais próxima da taxa de rajada, os valores de *backlog* e atraso vão tendendo a zero. Ou seja, o excesso de recursos descaracteriza a importância dos parâmetros, uma vez que o serviço deixa de impor limites ao processamento do vídeo.

7 FERRAMENTA DE CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VÍDEO DIGITAL

Na área de caracterização de vídeo digital, algumas ferramentas auxiliam na análise de sequências e caracterização de vídeos. No trabalho de Calyam (2005) são apresentadas ferramentas para vários níveis de análise em camadas de redes como ethernet, TCP/IP e UDP/IP. O trabalho de Colace (2003) apresenta uma ferramenta de análise e classificação de vídeo, *MPEG-Lab Movie Tool*. O artigo de Li (1999) traz uma ferramenta de aplicações MPEG, MDC, com classes para desenvolvimento com compatibilidade com vários sistemas operacionais (Unix, Dos, Windows). Algumas pesquisas buscam métodos de comparação entre qualidade de vídeo e ciclos de processador. A redução da qualidade de vídeo além de certo limite não resulta em redução significativa dos requisitos de ciclo de processador. Há diferença nos requisitos de ciclo de processador para vídeos com grande movimentação global nas cenas (YANHONG,2005b). O artigo de Holliman (2003) mostra a análise comparativa do impacto de cada componente do MPEG no desempenho do sistema (frequência da CPU, recurso de execução, *cache* de memória). Uma das conclusões do trabalho é que o padrão de vídeo, a compensação de movimento e subsistema de memória afetam significativamente o desempenho do vídeo.

Neste trabalho o *Matlab* foi utilizado para avaliar e levantar as informações de cada vídeo. Porém, para prosseguir em análises futuras, é preciso propor uma ferramenta que obtenha os dados necessários para aplicação dos métodos propostos e por consequência obter os parâmetros para caracterização. Nesta seção é proposto um pacote de ferramentas que dê apoio aos processos de caracterização e análise do comportamento dos vídeos digitais através dos métodos do capítulo 5.

Das ferramentas disponíveis no mercado e na *Internet*, não se tem conhecimento de que alguma delas tenha suporte para os métodos NC e $\varepsilon - NC$. Deste modo, é proposto um conjunto de ferramentas de avaliação para vídeos MPEG. O conjunto é dividido em duas ferramentas principais;

- Ferramenta "*Mplayer Curves Capturing - MCC*" - ferramenta de captura de curvas, funções cumulativas e análise qualitativa da sequência de vídeo.

- Ferramenta “*Video Analyser - VA*” – ferramenta que tem a função de levantar os limitantes através das curvas de chegada e serviço e apresentar os resultados.

A seguir são descritas as ferramentas MCC e VA. São descritos os módulos de composição de cada ferramenta, a lista de funcionalidades que elas suportam.

7.1 Ferramenta - *Mplayer Curves Capturing* - MCC

A ferramenta *Mplayer Curves Capturing* tem o objetivo de levantar as informações do vídeo em *offline*, supondo que o conteúdo esteja disponível para análise. Seguem algumas características e funções do MCC:

- Apresentação dos vídeos nos padrões: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H264.
- Levantamento da função cumulativa.
- Obtenção da curva de chegada que represente o vídeo sem perdas e a disponibilidade dos dados para uso externo na forma de arquivo.
- Obtenção das curvas de chegada que representem o vídeo quando são admitidas perdas e a disponibilidade dos dados para uso externo na forma de arquivo.
- Exibição do vídeo considerando perdas. Tem por objetivo avaliar qualitativamente (de forma subjetiva) a sequência de vídeo analisada.

A ferramenta que apresentou algumas características que poderiam servir de base para construção ou customização do MCC, foi o *software* conhecido como *MPlayer*. O *MPlayer* é um *software* de código livre amplamente utilizado na tarefa de reprodução de vídeos. Além dos padrões de vídeos apresentados nestes trabalho (família MPEG/H264) ele apresenta suporte a vários outros padrões de vídeo. Outro fato interessante é que a comunidade de desenvolvimento constantemente libera atualizações no código do *software*. A ferramenta originalmente foi concebida para utilização em Sistemas Operacionais *Linux*, mas com a utilização de algumas bibliotecas e compiladores ele pode ser utilizado nos Sistemas Operacionais *Microsoft Windows* (XP, W7).

O MCC foi implementado a partir do código do *MPlayer*, adicionando-se os módulos para captura das informações do vídeo, levantamento das funções cumulativas e curvas de chegada do vídeo analisado, além de um módulo para

emular perdas e avaliar qualitativamente a sequência de vídeo. Para este fim, um novo módulo tem a função de emular as perdas e permitir a análise qualitativa subjetiva da sequência de vídeo. A arquitetura do MCC é apresentada na Figura 76, os blocos representam os módulos da ferramenta. Os blocos na parte superior da figura são de interface com o usuário e na parte inferior está o nível de sistema operacional.

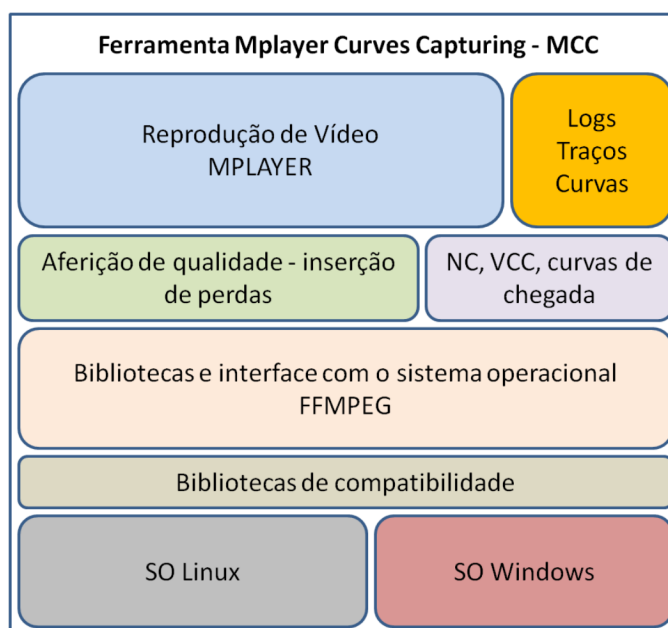


Figura 76 – Módulos da ferramenta MCC

Conforme a Figura 76, a ferramenta MCC é composta dos seguintes módulos:

- **Reprodução de Vídeo MPlayer** – cliente de reprodução do vídeo apresenta ao usuário o vídeo nos padrões MPEG-2, MPEG-4, H264. Ele permite apresentação da sequência intacta e também emula as perdas.
- **Logs, Sequências, Curvas** – Aplicativo que fornece em formato texto os dados capturados do vídeo, características, funções cumulativas e curvas de chegada.
- **Aferição de qualidade - emular perdas** – após a identificação dos quadros que serão removidos quando são admitidas pequenas perdas, este módulo faz a alteração da sequência de vídeo para apresentá-lo com as perdas identificadas e potencializar a análise qualitativa da sequência de vídeo.
- **NC, ϵ -NC, curvas de chegada** - aplicação dos conceitos dos métodos e obtenção das curvas e limitantes.

- Bibliotecas e interface com o sistema operacional – FFMPEG – Codificadores e decodificadores de vídeo para os diversos padrões. Utilização do pacote de bibliotecas FFMPEG (FFMPEG,2010).
- Bibliotecas de compatibilidade – Compiladores e Bibliotecas para utilização do MCC em multiplataformas (sistemas operacionais *Linux* e *Windows*) – *MinGW* e *mSys* (MINGW,2010).

Na Figura 77 é apresentada a interface com o usuário, logs, sequências e curvas obtidas através do MCC.

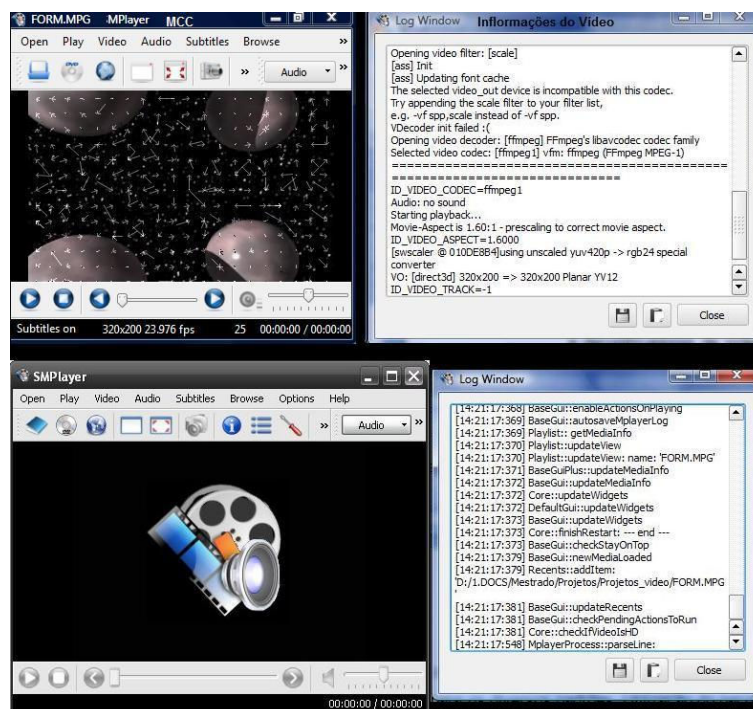


Figura 77 – Ferramenta MCC de captura de dados do vídeo

7.2 Ferramenta - Video Analyser - VA

A ferramenta *Video Analyser* foi concebida para analisar o comportamento do vídeo através da curva de chegada e curva de serviço apresentando a caracterização do vídeo MPEG. O aplicativo foi construído para trabalhar em clientes embarcados e como aplicativo Web. A implementação foi feita na plataforma .NET nas linguagens ASP (*web*) e C# (*embarcado*) (Figura 78). O objetivo é obter as curvas de chegada para cada vídeo. Para levantar a curva de serviço relativa à comunicação de dados, é possível conseguir informações com base nas condições de transmissão de um arquivo, desta forma, a taxa média da rede e o atraso fim-a-fim são obtidos. Este teste representa a condição de transmissão de vídeo numa

arquitetura cliente servidor onde o *Video Analyser* pode representar um servidor de vídeos a partir do qual um cliente pode requisitar um vídeo.

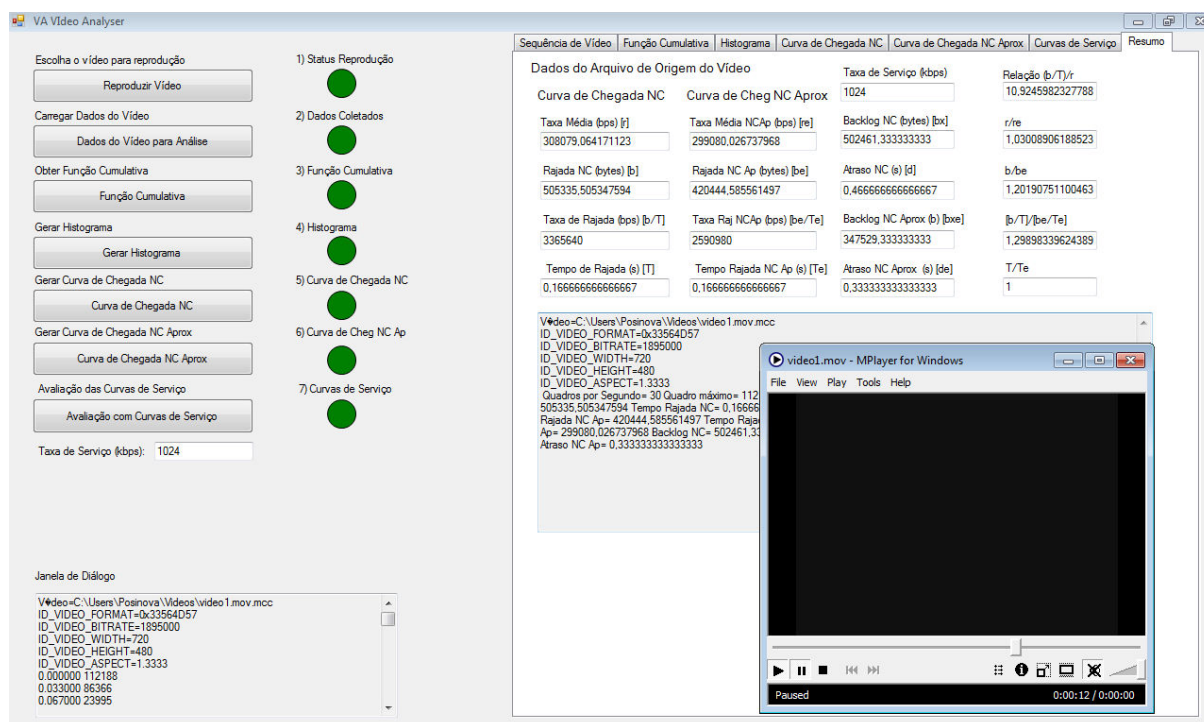


Figura 78 – Ferramenta de avaliação Video Analyser

Na Figura 78 é apresentada a tela inicial do *software* embarcado no sistema operacional *Windows*. Para realizar a análise do vídeo, inicialmente, é necessário clicar no botão “Reproduzir Vídeo”. Esta ação executará a chamada da ferramenta MCC que passará a reproduzir o vídeo escolhido. Após o vídeo, ou parte dele, ser executado, os dados do vídeo são coletados. Assim, através do botão “Dados do vídeo para análise” é possível levantar as principais informações do vídeo. Caso os dados tenham sido coletados com sucesso, os dois primeiros estágios ficam sinalizados como executados com sucesso (sinal verde). As funções relativas à aplicação dos métodos podem ser obtida através dos botões “Função Cumulativa”, “Gerar Histograma”, “Curva de Chegada NC”, “Curva de Chegada NC Aprox” e “Avaliação com Curvas de Serviço”. Ao selecionar a funcionalidade, é apresentada uma seção com o resumo dos parâmetros e a representação gráfica. Um exemplo dos gráficos de cada seção é apresentado na Figura 79.

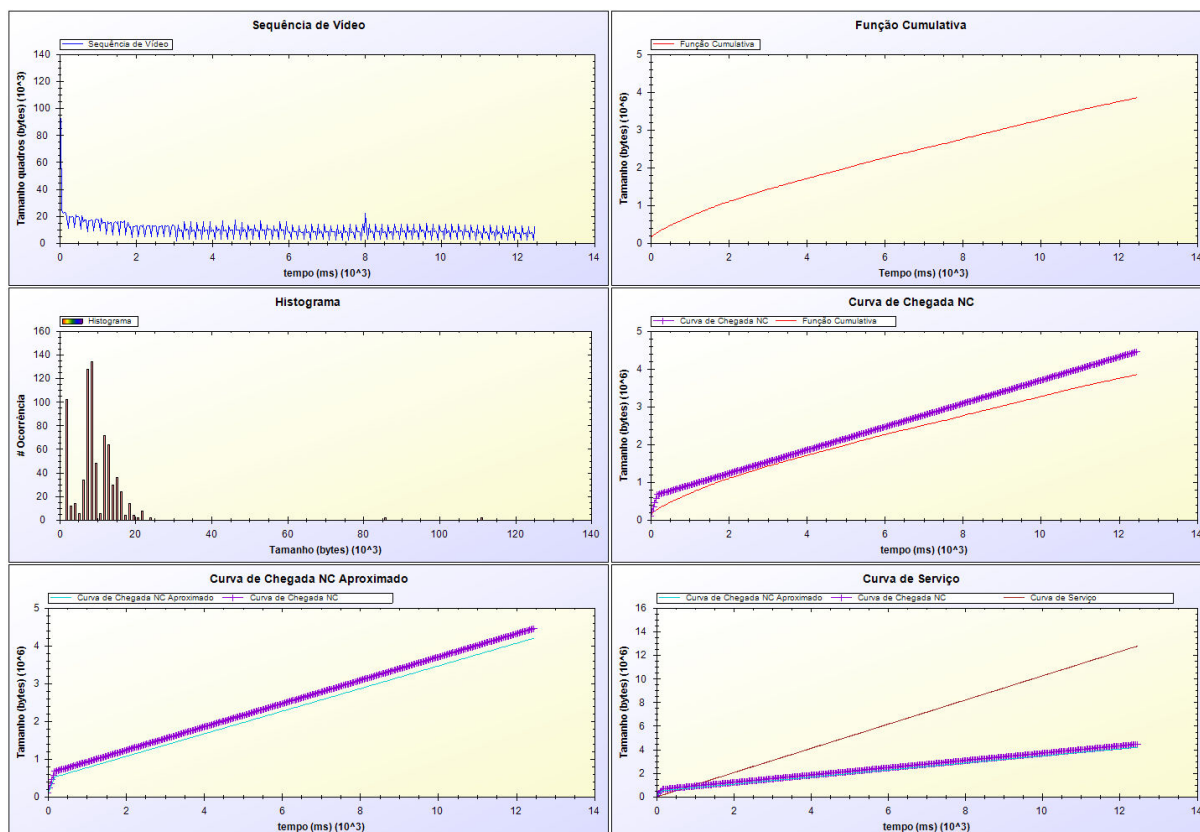


Figura 79 – Ferramenta de avaliação *Video Analyser* - Gráficos

A arquitetura do *Video Analyser* é apresentada na Figura 80. Os blocos na parte superior da figura representam a interface com o usuário que pode ser *web* ou na forma de *software* embarcado. Na parte inferior da figura estão os blocos que coletam as informações do vídeo e os enviam para os blocos intermediários que trata essa informação de acordo com o método aplicado.

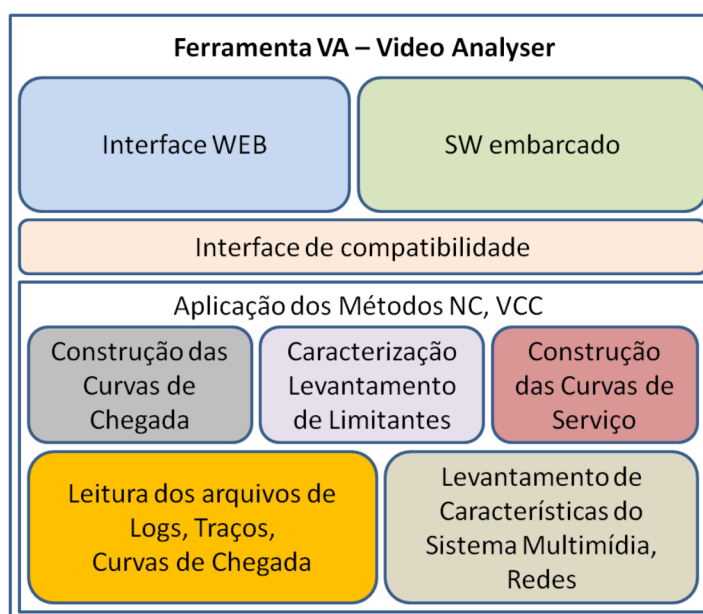


Figura 80 – Módulos da ferramenta *Video Analyser* - VA

De acordo com a Figura 80, num primeiro momento é realizada a leitura dos arquivos relacionados às curvas de chegada. Em seguida são levantados os recursos do sistema de reprodução e transmissão do vídeo. Na sequência são aplicadas as técnicas dos métodos de caracterização de vídeo. Por fim, as informações ficam disponíveis para os módulos que fazem interface com o usuário.

O conjunto das ferramentas MCC e VA por tratar de forma independente a captura das características do vídeo e análise do comportamento apresenta o benefício de permitir a avaliação dos impactos de perda com antecedência e visualizando seus efeitos na qualidade final do vídeo. Como a caracterização do vídeo é realizada posteriormente, com o aplicativo *Web* é possível saber rapidamente qual será o comportamento do vídeo quando transmitido em uma rede. A arquitetura propicia atender o requisito de resposta rápida de caracterização e avaliação do comportamento dos vídeos MPEG.

7.3 Ferramenta – Testes de Captura e Proposta de Caracterização de Vídeo MPEG

Conforme apresentado nos capítulos 4 e 5, a proposta de caracterização de vídeos recomendada consiste na aplicação dos métodos *Network Calculus* (NC) e NC aproximado (método proposto neste trabalho). Para teste da ferramenta proposta neste capítulo será utilizado um vídeo no formato MPEG-2 na resolução 352x240 a 30 quadros por segundo, a duração do vídeo é de 30 segundos (MPEG,2010). Através da instrumentação do *Mplayer* é possível obter os tamanhos dos quadros da sequência de vídeo (Figura 81).



Figura 81 – Captura de Informações do Vídeo MPEG-2

Após a coleta das informações dos tamanhos dos quadros da sequência de vídeo é possível construir a função cumulativa e as curvas de chegada NC (α) e NC

aproximado. A Tabela 32 mostra os parâmetros que compõem a curva de chegada aproximada (α_ε) e sua taxa média (r_ε) não teve alteração em relação a taxa média (r) do NC.

Tabela 32. Parâmetros – Curva de Chegada – Vídeo MPEG-2 - ε – NC

Vídeo / Parâmetro	Vídeo (MPEG,2010)
Taxa média NC Aprox (kbps)	53,7
Redução em relação ao NC	0%
Tam. Rajada (kbits)	61,8
Aumento em relação ao NC	87%
Taxa Rajada (kbps)	207,4
Redução em relação ao NC	10%
Tempo Rajada [T] (s)	0,29
Aumento em relação ao NC	10%

O tamanho da rajada (b_ε) teve aumento. A taxa de rajada ($b_\varepsilon/T_\varepsilon$) teve uma redução de 10% e ficou em cerca de 200kbps. A Figura 82 apresenta as curvas de chegada NC e ε – NC para o vídeo analisado.

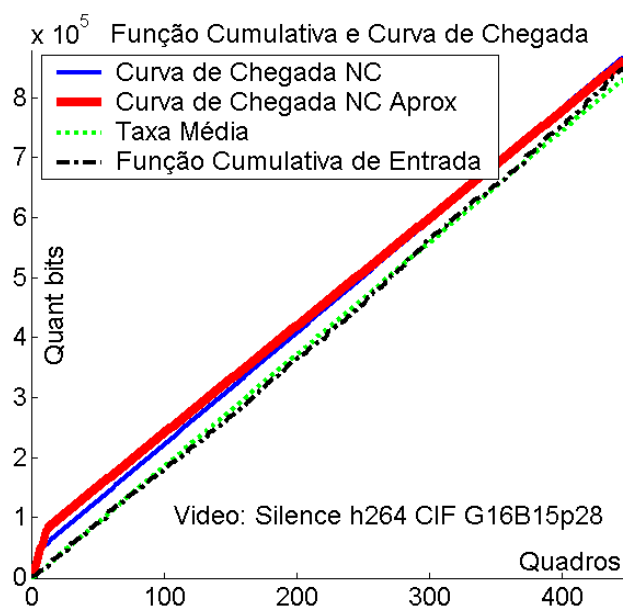


Figura 82 – Curvas de Chegada - Vídeo MPEG-2

No trecho apresentado é possível observar as taxas de rajada e média das duas curvas em relação à função cumulativa. A Tabela 33 mostra os resultados de *backlog* e atraso para o vídeo no padrão MPEG-2, são utilizadas as curvas de chegada com taxas de 128 kbps, 256 kbps, 512 kbps e 1Mbps como é apresentado na Figura 83.

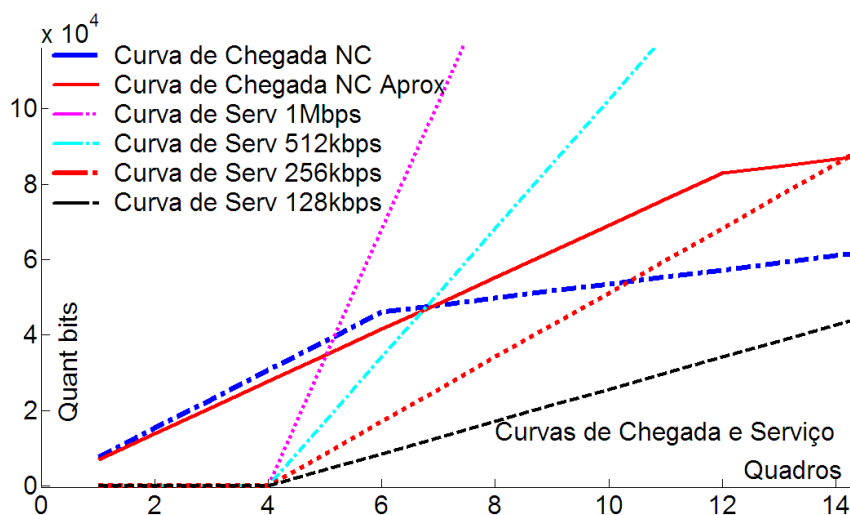


Figura 83 – Curvas de Chegada e Serviço - Vídeo MPEG-2

Tabela 33. Backlog e atraso – Vídeo MPEG-2 - $\varepsilon - NC$

Curva Serviço	Vídeo / Parâmetro	Vídeo (MPEG,2010)
128 kbps	<i>Backlog</i> (kb)	48,8
	Atraso (s)	0,38
	Aumento NC (%)	30%
256 kbps	<i>Backlog</i> (kb)	27,6
	Atraso (s)	0,11
	Redução NC (%)	10%
512 kbps	<i>Backlog</i> (kb)	27,6
	Atraso (s)	0,05
	Redução NC (%)	10%
1 Mbps	<i>Backlog</i> (kb)	27,6
	Atraso (s)	27,0
	Redução NC (%)	10%

Na curva de serviço de 128kbps, o atraso e *backlog* sofreram um aumento decorrente do aumento do tamanho da rajada. Nas análises com as outras curvas de serviço houve uma redução no atraso e *backlog* de 10%. Com os valores de taxas encontrados e a resolução do vídeo, uma das aplicações recomendadas para sua reprodução seria em sistemas de redes celulares.

7.4 Conclusão

As ferramentas apresentadas fornecem a possibilidade de execução de testes com vários tipos de vídeos. Como a fase de captura é realizada através de

uma variação do aplicativo *MPlayer*, inúmeros padrões de vídeos são suportados. Assim, as informações básicas do vídeos são extraídas. Em seguida, a segunda fase consiste em aplicar os métodos propostos para obtenção do conjunto de parâmetros propostos neste trabalho. O resultado é uma série de parâmetros que podem caracterizar o vídeo e disponibilizar informações importantes para composição e avaliação de sistemas multimídia. As ferramentas têm a possibilidade de evolução e aplicação nas áreas de avaliação de recursos do meio de transmissão e da aferição de qualidade de vídeo.

8 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O aumento da popularidade dos sistemas multimídia gera a necessidade de evolução dos aplicativos e melhora da qualidade dos vídeos. Esses fatores demandam sistemas com soluções multimídia robustas e confiáveis. Para melhorar o processo de dimensionamento da solução é preciso ter o conhecimento de seus componentes. Um sistema multimídia pode ser dividido em dois módulos principais: o cliente-decodificador que necessita conhecer informações como perda de quadros, atraso e tamanho do *buffer* para reprodução do vídeo sem interrupções; o outro módulo é o servidor-codificador que precisa ter ciência do tamanho do vídeo, parâmetros de codificação, condição de transmissão dos dados (largura de banda, atraso do meio).

O fator que impacta diretamente a execução de cada módulo é o padrão de vídeo digital reproduzido. O vídeo digital mais difundido é o MPEG. Ele tem como uma das principais características a codificação VBR, que implica em economia de recursos, mas com alta variabilidade. Esta característica dificulta significativamente o projeto e composição de sistemas multimídia. Neste contexto, algumas abordagens foram utilizadas para caracterização de vídeo MPEG e aplicação em sistemas multimídia, conforme apresentado nesta dissertação.

A caracterização de vídeo tem sido tema de vários estudos. Algumas técnicas utilizam informações estatísticas, outras utilizam detecção de objetos e texto e semântica. Inicialmente, com o foco na caracterização de fluxos e modelagem de tráfego, duas técnicas foram utilizadas na caracterização de vídeos MPEG deste trabalho: o *Network Calculus* e o VCC.

O *Network Calculus* oferece a possibilidade de caracterização dos vídeos através da curva de chegada (forma de representação da sequência de vídeo através de rajada e taxa média), esta técnica determinística apresenta as condições para o cenário de pior caso. O VCC apresenta, em sua versão aproximada, a propriedade de identificar a variabilidade da sequência de vídeo e a potencial economia de recursos, mas é de difícil representação. Agregando as propriedades de NC e VCC é proposto um método chamado de NC aproximado. O NC aproximado fornece as propriedades de construção de curvas de chegada por parâmetros do NC e a ideia do processo de obtenção das curvas de VCC

aproximada, onde há economia de recursos quando são admitidas pequenas perdas.

O método de caracterização de vídeos MPEG proposto neste trabalho visa à obtenção de um grupo de parâmetros composto pelo atraso, tamanho da fila (alocação de recursos), processamento (taxas média e de rajada), períodos de exigência máxima, economia de recursos e classificação do vídeo (variabilidade). Deste modo, a aplicação dos métodos e propriedades de NC, VCC e as versões aproximadas fornecem dados para obtenção dos parâmetros propostos para caracterização de vídeos. As curvas VCC apresentam propriedades interessantes, porém, dificuldade na representação. Assim, para obtenção dos parâmetros necessários para caracterização dos vídeos são aplicados os métodos NC e NC aproximado (ε -NC). Os resultados de VCC são utilizados para comparação com os outros métodos.

Para avaliação e análise de cada proposta foram realizadas simulações com os padrões de vídeo MPEG-2, MPEG-4 e H264/AVC em diversas resoluções e composições de GoP de modo que pudessem ser levantados os parâmetros de caracterização com aplicação dos métodos NC, VCC, ε -VCC, ε -NC.

Na avaliação do *Network Calculus* com vídeos MPEG-2, o vídeo de filme, em comparação com o vídeo de demonstração, exige 20% a mais na taxa média e 30% na rajada. O atraso e *backlog* para o vídeo do filme seguiram a mesma tendência, cerca de 30% a mais que a exigência do vídeo de demonstração. Nos vídeos MPEG-4 com diferentes taxas de compressão, os valores dos parâmetros são proporcionais às taxas de compressão. Na análise comparativa entre formatos de GoP com vídeos MPEG-4 de conteúdos diferentes, o melhor desempenho no quesito compressão foi no formato G16B1. No padrão H264, os melhores resultados foram obtidos no formato de GoP G16B3 (confirmando a característica do H264 de tratamento diferenciado para maiores sequências de quadros B consecutivos). A aplicação de NC nos vídeos com padrão H264 na resolução 1080i forneceu resultados interessantes. A exigência do vídeo de documentário foi cerca de duas vezes maior que o vídeo de entrevista. Neste caso, novamente o vídeo com maior mudança de cenas tem maiores níveis de exigência. Na análise de *backlog* e atraso, as reduções foram expressivas quando as curvas de chegada passam a ser atendidas pela curva de serviço que representa o sistema. Por exemplo, o vídeo de entrevista teve uma redução significativa no atraso, ele diminuiu 13 vezes quando a

taxa de serviço foi dobrada (taxa nominal passou de 1Mbps para 2Mbps). Caso a taxa de serviço seja maior que a taxa de rajada, os vídeos de diferentes conteúdos têm resultados de *backlog* e atraso muito próximos.

Quando aplicada as técnicas de VCC, as avaliações com MPEG-2 mostraram que as reduções da rajada inicial foram de 31% para o filme, enquanto o vídeo de demonstração ficou em 12%. Nos vídeos MPEG-4 de mesmo conteúdo, mas com qualidades diferentes, as reduções referentes à aplicação do VCC aproximado geraram valores entre 10% e 20% de redução na rajada inicial. Para vídeos MPEG-4 com conteúdos diferentes as maiores reduções foram com GoPs de G16B1. Para o padrão H264, a composição de GoP que obteve as maiores reduções na rajada inicial quando VCC aproximado é aplicado foi o G16B3, o vídeo de filme obteve 33%. Nos vídeos H264 com resolução 1080i, as maiores reduções relacionadas a *backlog* e atraso foram no vídeo de entrevista (30%) contra 10% do vídeo de documentário.

O *Network Calculus* aproximado é uma técnica que explora as características de variabilidade da sequência de vídeo. No caso de vídeos VBR como o MPEG essa característica é bastante significativa, a diferença entre a máxima e a média exigência que o vídeo impõe é razoável. Para o vídeo MPEG-2, os resultados da aplicação do $\varepsilon - NC$ foram pouco significativas na redução da taxa média, mas no tamanho de rajada a redução foi de 17% para o vídeo de demonstração e para taxa de rajada chegaram a 38% para o vídeo de filme. O resultado mais significativo foi relacionado à redução do atraso e *backlog* os quais tiveram os valores próximos a zero para curva de serviço com taxa de 8Mbps, percentualmente a redução foi de 97%. Esse fato aconteceu porque antes da aplicação do $\varepsilon - NC$ a taxa de rajada do vídeo era maior que a taxa de serviço, aplicando a técnica ela ficou abaixo do valor podendo ser atendida rapidamente.

Avaliando o vídeo MPEG-4 com qualidades diferentes e mesmo conteúdo foi possível observar que nos quesitos taxa média, tamanho da rajada e taxa de rajada, os quais compõem a curva de chegada e caracteriza o vídeo, a redução percentual tende a ser duas vezes maior nos vídeos de baixa qualidade do que nos vídeos de alta qualidade. A análise de *backlog* e atraso seguiram a mesma tendência e a redução destes parâmetros para o vídeo de baixa qualidade com curva de serviço de 1Mbps chegou em 63%. Avaliando vários conteúdos de vídeos MPEG-4 com composições de GoPs diferentes, foi verificada uma redução na taxa média menor

que 10%. O tamanho de rajada teve uma redução de 15% no vídeo de documentário, porém no vídeo de demonstração ela foi mínima. As taxas de rajadas tiveram reduções de mais de 50% no vídeo de filme, 40% no documentário e 30% no vídeo de demonstração. Analisando o GoP, de modo geral, a maior redução foi para o formato G16B1.

Para vídeos no padrão H264, a expectativa era de uma redução um pouco maior que no MPEG-4. Foi verificado que em todos os formatos de GoP a redução da taxa média foi equivalente. O tamanho de rajada teve uma redução de 20% para os vídeos de filme, demonstração e documentário e foi mínima no telejornal. A redução na taxa de rajada teve um resultado percentual muito parecido que o encontrado para MPEG-4. As reduções nos valores do atraso e *backlog* foram bem variados, mas o formato de GoP G16B3 teve o resultado mais significativo. A avaliação do H264 com resolução 1080i mostrou a redução de 10% para taxa média em ambos os vídeos. No vídeo de entrevista, o tamanho da rajada reduziu em quase 30% de redução, o dobro do percentual do vídeo de documentário. A taxa de rajada do documentário teve quase 70% de redução, antes da aplicação do método do NC aproximado, a taxa era de 78Mbps e passou para 26Mbps com $\varepsilon - NC$. As reduções de atraso e backlog ficaram em torno de 30%.

A utilização do NC aproximado ($\varepsilon - NC$) na avaliação e caracterização dos vídeos nos padrões MPEG-2, MPEG-4 e H264 possibilitou a análise do impacto dos trechos que mais oneram o sistema. Foi possível perceber que quando se admite a perda de 1% dos quadros da sequência é obtida a redução de 70% de exigência de recurso nos momentos de máxima utilização de um sistema multimídia. Na análise de atraso a redução chegou a 97%. A proposta do $\varepsilon - NC$ permite ainda o julgamento dos parâmetros taxa média, tamanho de rajada e taxa de rajada individualmente e avaliar a potencial redução de cada um deles.

Uma observação importante pode ser feita em relação aos resultados da relação entre a taxa de rajada e a taxa média, apresentado como índice de variabilidade. Os valores da relação aparentemente têm correlação com o conteúdo do vídeo apresentado. Os vídeos com menor mudança de cenas tiveram os menores valores – Telejornal (*News*) 13,1 e Entrevista (*Talkshow*) 14,4. Nos vídeos de movimentação intermediária – Demonstração (*Sony*) 17,6; Documentário (*Tokyo*) 19,1 e Documentário (*Mars*) 23. O vídeo de mais alta variabilidade e de conteúdo de maior movimentação – Filme (*Silence*) ficou em 25,4. Essa característica dos vídeos

H264 foi verificada em várias resoluções e não foi identificada nos vídeos dos padrões MPEG-2 e MPEG-4. O H264 teoricamente tem a maior variabilidade entre os três padrões e isso explica os valores maiores na relação. A análise desta característica dos vídeos H264 e sua relação com a classificação de conteúdos de vídeos pode ser mais bem explorada e validada em trabalhos futuros.

Em linhas gerais, quando foram analisadas as curvas de chegada e curvas de serviço a fim de obter o atraso e o *backlog* foram identificados três principais comportamentos e resultados desses parâmetros. Quando a taxa média da curva de chegada tem valor maior que a taxa de serviço, o atraso e backlog são fortemente influenciados pela taxa média, o tamanho de rajada e a taxa de rajada influenciam pouco nos parâmetros. Um segundo cenário é quando a taxa média é atendida pela taxa de serviço e a taxa de rajada ainda está longe de ser atendida. Neste caso, quem mais influencia nos valores de *backlog* e atraso é o tamanho da rajada, quanto maior esse valor, maior os valores dos parâmetros. O terceiro cenário relaciona a taxa de rajada com os parâmetros *backlog* e atraso. À medida que a taxa de serviço fica mais próxima da taxa de rajada, os valores de *backlog* e atraso vão tendendo a zero.

A aplicação dos métodos NC e ε -NC fornece o conjunto de parâmetros $(r, b, T, \varepsilon, r_\varepsilon, b_\varepsilon, T_\varepsilon)$ o qual é usado para levantar os dados utilizados na composição dos quesitos da caracterização de vídeos proposta. Através da relação da curva de chegada e serviço o atraso e tamanho da fila de fila são obtidos. O processamento que representa as taxas exigidas pelo vídeo são concebidas pela taxa média (r) e a taxa de rajada (b/T). O período de exigência máxima é representado pelo tempo de rajada (T). A economia de recursos quando são admitidas perdas de $\varepsilon = 1\%$ de quadros é levantada através da avaliação comparativa dos parâmetros dos métodos NC e ε -NC. São obtidas as reduções para a taxa média ($r \rightarrow r_\varepsilon$), tamanho da rajada ($b \rightarrow b_\varepsilon$), aumento no tempo da rajada ($T \rightarrow T_\varepsilon$) e redução na taxa de rajada ($b/T \rightarrow b_\varepsilon/T_\varepsilon$). O quesito de classificação do vídeo de acordo com a variabilidade é obtida pela relação chamada de índice de variabilidade. Nos vídeos H264 utilizados na simulação foi observado que quanto maior a mudança de cenas (filmes de ação, esportes) o valor da relação tende a ser maior. Logicamente que para classificação de vídeos por conteúdo, outros métodos apresentam propriedades para determinar

com maior exatidão o gênero ou tipo de conteúdo. Mas a relação proposta por NC e $\varepsilon - NC$ fornece um método de pré-classificação em relação ao conteúdo, mas do ponto de vista de variabilidade a classificação pode ser direta, neste caso estendida para os padrões MPEG-2 e MPEG-4.

Os métodos NC e $\varepsilon - NC$ foram avaliados com vídeos MPEG-2, MPEG-4 e H264, mas sua utilização pode ser estendida na avaliação de outros tipos de vídeos. Através da análise pode ser obtido um conjunto de parâmetros úteis para o projeto e composição de sistemas multimídia. Em relação à aplicação do $\varepsilon - NC$ e impacto na qualidade dos vídeos, como trabalhos futuros pode ser sugerido a avaliação qualitativa dos vídeos quando são admitidos $\varepsilon\%$ de perdas. Neste trabalho as perdas ficaram em $\varepsilon = 1\%$, este valor foi usado como forma de análise dos resultados para levantar a potencial economia de recursos. Os resultados foram bastante significativos, em alguns vídeos, admitindo 1% de perda foi possível economizar 70% do valor da taxa de rajada. O caso de atraso foi expressivo para alguns vídeos chegando a uma redução de 97%, neste caso com o descarte de alguns quadros foi possível ter a taxa de rajada menor que a taxa de serviço, o que permitiu o atendimento do vídeo quase que imediato.

Uma das aplicações desta proposta, pode ser no cenário de sistemas de Vídeo sob Demanda (VoD), onde se sabe de antemão o tipo de vídeo que será distribuído. No caso de vídeos transmitidos ao vivo, o conceito poderia ser aplicado dividindo o vídeo em pequenos períodos de análise (janelas de avaliação) ou utilizando as informações já armazenadas sobre aquele gênero de vídeo. Para isto, utiliza-se a análise de vídeos sob demanda forneceria um conjunto de características comuns de vídeos do mesmo tipo de conteúdo. Por exemplo, partidas de futebol poderiam ter características próprias que seriam utilizadas para formatação da transmissão do vídeo ao vivo.

A avaliação de forma qualitativa das perdas pode ser feita futuramente através da ferramenta de avaliação proposta – MCC (seção 7.1). A versão atual do MCC permite obter as informações necessárias para levantamento de parâmetros de classificação, conforme resultados apresentados na seção 7.3. É previsto na arquitetura e em versões futuras do MCC a inserção de um módulo que gera $\varepsilon\%$ perdas na sequência. Assim é possível determinar a percentagem de quadros que

podem ser descartados sem prejudicar a qualidade visual do vídeo. Esse tipo de abordagem pode ser aplicada em servidores de vídeo e portais multimídia.

Algumas aplicações da caracterização de vídeos MPEG podem ser imediatas. Por exemplo, o levantamento de informação para projetos de sistemas multimídia, em políticas de gerenciamento de servidores de vídeos, opção de disponibilidade de vídeos com qualidade máxima e uma versão com perdas porém com exigências de recursos reduzidas. Aplicando os conceitos de curva de chegada e serviço numa ferramenta é possível determinar com exatidão os tamanhos de fila do sistema, o atraso inerente ao preenchimento de *buffers* a fim de evitar interrupções na reprodução do vídeo, entre outros cenários.

A caracterização de vídeos proposta não serve apenas para identificar informações específicas de cada sequência de vídeo, mas também como método de comparação entre sistemas, na avaliação de codificadores, na análise de composição de GoPs, na análise de eficiência de compressão de cada padrão de vídeo, além de outras aplicações.

Existe a possibilidade de evolução das ferramentas apresentadas. Para o MCC se espera agregar o módulo de inserção de perdas de quadros da sequência para avaliação qualitativa. Deste modo é possível identificar quantos quadros do vídeo podem ser perdidos sem afetar a qualidade perceptível do trecho de vídeo. Em relação à ferramenta VA é pretendida a implementação de um módulo de levantamento da curva de serviço do meio em que a ferramenta é executada. Por exemplo, caso ela esteja em um servidor web. A ferramenta VA levanta a capacidade do *link* ADSL, desta forma é possível analisar esta curva de serviço com a curva de chegada já carregada em memória a fim de obter o tamanho de fila e atraso que aquele vídeo apresentaria naquelas condições do meio.

Para futuros estudos, uma linha que pode ser explorada é a correlação entre a variabilidade do vídeo, o conteúdo ou gênero e o valor da relação de taxa média e taxa de rajada. De acordo com os testes foi possível perceber que para vídeos H264 de mais alta movimentação, a variabilidade é maior e o valor da relação também aumenta. Para comprovar este comportamento são necessários testes com inúmeros vídeos com o objetivo de levantar faixas de valores da relação e realizar a classificação dos vídeos.

REFERÊNCIAS

ADAMI, N.; LEONARDI, R.; MIGLIORATI, P. **An overview of multi-modal techniques for the characterization of sport programmes**. Proc. of SPIE-VCIP'03, DEA University of Brescia, Itália, 2003.

AGRAWAL, Sanjay K et al. **Characterization, modeling and multiplexing of real-time MPEG-II Video**. Proc. SPIE, Stanford University, Department of Electrical Engineering, 1997.

AGHAREBPARAST, F.; LEUNG, V.C.M. **Modeling Wireless Link Layer by Network Calculus for Efficient Evaluations of Multimedia QoS**. 2005 IEEE International Conference, Communications, 2005. ICC 2005, Volume: 2, p. 1256-1260, 16-20 de maio de 2005.

AHMED, N. U.; YAN, Hong. **Access control for MPEG Video applications using neural network and simulated annealing**. Engineering, Mathematical Problems, Issue 3, p. 291-304, 2004.

ALVAREZ, M. et al. **A Performance Characterization of High Definition Digital Video Decoding using H.264/AVC**. Workload Characterization Symposium, 2005, Eur. Network of Excellence on High-Performance Embedded Archit. & Compilation, Univ. Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain, Proceedings of the IEEE International, p. 24- 33, 6-8 de outubro de 2005.

ASU – ARIZONA STATE UNIVERSITY. **Video Trace Library**. Disponível em <<http://trace.eas.asu.edu>>. Acesso em 09 de fevereiro de 2010.

BASHFORTH, Byron; WILLIAMSON, Carey. **Statistical Multiplexing of Self-Similar Video Streams: Simulation Study and Performance Results**. IEEE Computer Society Washington, DC, USA, Proceedings of the 6th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems table of contents, p. 119, 1998.

BORTOLETO, Christiane. **Multicast Semi-Confíavel Para Aplicações Multimídia Distribuídas**. Curitiba, 2005. 115 p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005. Disponível em: <<http://www.ppgia.pucpr.br/teses/DissertacaoPPGIa-ChristianeBortoleto-052005.pdf>> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

BOUDEC, J; THIRAN, P. **A short Tutorial On Network Calculus I: Fundamental Bounds In Communication Networks, A short Tutorial On Network Calculus II: Min-Plus System Theory Applied To Communication Networks** – ICA-DSC, 2007. Disponível em: <<http://icawww.epfl.ch>> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

BOUTHEMY, P.; GANANSIA, F. **Video partitioning and camera motion characterization for content-based Video indexing**. Image Processing, 1996. Proceedings, International Conference, Volume: 1, p. 905-908, 16-19 de setembro de 1996.

BREU, Marcel; NIEDERMANN, Remo. **Development of a Simulink Toolbox for the analysis of Real-Time Embedded Systems**. Thesis at institute at the Computer Engineering and Networks Lab of the Swiss Federal - Institute of Technology (ETH) Zurich. January 8, 2008. Disponível em: <<ftp://ftp.tik.ee.ethz.ch/pub/students/2007-HS/SA-2007-52.pdf>> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

BURCHARD, A.; LIEBEHERR, J.; PATEK, S.D. **A Min-Plus Calculus for End-to-end Statistical Service Guarantees**. Information Theory, IEEE Transactions. Volume: 52, Issue: 9, p. 4105-4114. Setembro de 2006.

CACKOV, N. et al. **Wavelet-Based Estimation of Long-Range Dependence in MPEG Video Traces**. Circuits and Systems, 2005. ISCAS 2005. IEEE International Symposium, p. 2068- 2071 Vol. 3, 23-26 de maio de 2005.

CALYAM, Prasad; LEE, Chang-Gun. **Characterizing Voice and Video Traffic Behavior on the Internet**. International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS), Proceedings published by Imperial College Press in a special edition of "Advances in Computer Science and Engineering" series, 2005. Disponível em: <http://www.oar.net/initiatives/research/PDFs/vvoip_iscis05.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

CASILARI, E. et al. **Characterisation and modelling of VBR Video traffic**. Electronics Letters. Volume: 34, Issue: 10, p. 968-969, 14 de maio de 1998.

CAVALCANTE, M.D.: **Modelagem e Determinação de Parâmetros de Desempenho de Redes de Comunicações Através da Álgebra de Dióides**- Tese de doutorado. Depto de Eng. de Computação e Automação Industrial, 2008.

CERNUTO, A. et al. **A Queueing System Model for the Design of Feedback Laws in Rate-Controlled MPEG Video Encoders**. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions, Volume: 12, Issue: 4, p. 238-255, Abril de 2002.

CHANG, Cheng-Shang et al. **A Min, + System Theory for Constrained Traffic Regulation and Dynamic Service Guarantees**. Networking, IEEE/ACM Transactions. Volume: 10, Issue: 6, p. 805- 817, Dezembro de 2002.

CHANGGUI, Shi; BHARGAVA, B. **An Efficient MPEG Video Encryption Algorithm**. Reliable Distributed Systems, 1998, Dept. of Comput. Sci., Purdue Univ., West Lafayette, IN, Proceedings. Seventeenth IEEE Symposium, p. 381-386, 20-23 de outubro de 1998.

CHENGZHI, Li; BURCHARD, A.; LIEBEHERR, J. **A Network Calculus With Effective Bandwidth**. Networking, IEEE/ACM Transactions. Volume: 15, Issue: 6, p. 1442-1453, Dezembro de 2007.

CHODOREK, A.; CHODOREK, R.R. **Characterization of the MPEG-2 Video Traffic Generated by DVD Applications**. Universal Multiservice Networks, 2000. ECUMN 2000. 1st European Conference, p. 62-70, 2000.

_____. **A Fast and Efficient Model of an MPEG-4 Video Traffic Based on Phase Space Linearised Decomposition.** 14th European Simulation Symposium And Exhibition. Dresden, Germany. Simulation in Industry Modeling, Simulation and Optimization, 23-26 de outubro de 2002.

COLACE, F. et al. **MPEG-Lab Movie Tool: An Integrated and Distributed Environment for MPEG Video Analysis.** Information Technology: Research and Education, 2003. Proceedings. ITRE2003. International Conference, p. 251- 252, 11-13 de agosto de 2003.

CRUZ, Rene L. **A Calculus for Network Delay. Part I: Network Elements in Isolation and Part II: Network Analysis.** IEEE Transactions on Information Theory, p. 37(1):114-141, Janeiro de 1991.

DAWOOD, A.M.; GHANBARI, M. **Content-Based MPEG Video Traffic Modeling.** Multimedia, IEEE Transactions. Volume: 1, Issue: 1, p. 77-87, Março de 1999.

DE LA CRUZ, L.; ALINS, J.J.; MATA, J. **Prediction Techniques for VBR MPEG Traffic Shaping.** Global Telecommunications Conference, 1997. Dept. of Appl. Math. & Telematic, Polytech. Univ. of Catalonia, Barcelona, GLOBECOM '97, IEEE. Volume: 3, p. 1434-1439, 3-8 de novembro de 1997.

_____. **Performance of dynamic resources allocation with QoS guarantees for MPEG VBR Video traffic transmission over ATM networks.** Global Telecommunications Conference, 1999. GLOBECOM '99, Volume: 2, p. 1483-1489, 1999.

DE RANGO, F. et al. **Call Admission Control with Statistical Multiplexing for Aggregate MPEG Traffic in a DVB-RCS Satellite Network.** Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE. Volume: 6, p. 3236, 2 de dezembro de 2005.

DIMITROVA, Nevenka et al. **An Architecture for Video Content Filtering in Consumer Domain.** Information Technology: Coding and Computing, International Conference on, pp. 214, The International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'00), 2000.

DOULAMIS, N.D. et AL. **Performance Models for Multiplexed VBR MPEG Video Sources.** Communications, 1997. ICC 97 Montreal, 'Towards the Knowledge Millennium'. 1997 IEEE International Conference. Nat. Tech. Univ. of Athens, Volume: 2, p. 856-861, 8-12 de junho de 1997.

_____. **An Adaptable Neural-Network Model for Recursive Nonlinear Traffic Prediction and Modeling of MPEG Video Sources.** Neural Networks, IEEE Transactions, Volume: 14, Issue: 1, p. 150- 166, Janeiro de 2003.

ECKERT, J. et al. **Worst-Case Workflow Performance Optimization.** Internet and Web Applications and Services, 2008. ICIW '08. Third International Conference, p. 632-637, 8-13 de junho de 2008.

EWERTH, R.; FREISLEBEN, B. **Improving Cut Detection in MPEG Videos by GOP-Oriented Frame Difference Normalization**. Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference. Volume: 2, p. 807- 810, 23-26 de agosto de 2004.

FENIMORE, Charles et al. **Subjective testing methodology in MPEG Video verification**. Applications of Digital Image Processing XXVII. Edited by Tescher, Andrew G. Proceedings of the SPIE, Volume 5558, p. 503-511, 2004.

FERGUTZ, LAURINEI; LÜDERS, RICARDO; FONSECA, KEIKO V. ONO. **Caracterização de Video MPEG-4 Usando Network Calculus**. 27º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. SBRC 2009, p. 980, Maio de 2009.

_____. **MPEG-4 Video Characterization: a Network Calculus Approach and Evaluation Framework**. 11th Brazilian Workshop on Real-Time and Embedded Systems. WRT - SBRC 2009, p. 129-134, Maio de 2009.

_____. **Uma Abordagem de Sistemas a Eventos Discretos Para Caracterização De Video Digital**. *Submetido* no CBA2010, Fevereiro de 2010.

FFMPEG – **Biblioteca de codecs MPEG** – Disponível em: <<http://www.ffmpeg.org/>>
Acesso em: Março 2010.

FIROIU, V. et al. **Theories and Models for Internet Quality of Service**. Proceedings of the IEEE. Volume: 90, Issue: 9, p. 1565- 1591, Date: Setembro 2002.

FIDLER, Markus et al. **Efficient Smoothing of Robust VBR Video Traffic by Explicit Slice-based Mode Type Selection**. Consumer Communications and Networking Conference, 2007. CCNC 2007. 4th IEEE, p. 880-884, Janeiro de 2007.

GAGNON, L. et al. **Toward an Application of Content-Based Video Indexing to Computer-Assisted Descriptive Video**. Canadian conference on Computer & Robot Vision (CRV), Quebec city, Junho de 2006.

GAMPER, Pascal. **A Variability Characterization Curve Editor**. June 30, 2005. Disponível em: <<ftp://ftp.tik.ee.ethz.ch/pub/students/2005-So/SA-2005-27.pdf>>
Acesso em: 26 de outubro de 2009.

GARGI, U.; KASTURI, R.; ANTANI, S. **Performance Characterization and Comparison of Video Indexing Algorithms**. Computer Vision and Pattern Recognition, 1998. Proceedings. 1998 IEEE Computer Society Conference, p. 559-565, 23-25 de junho de 1998.

_____. **Performance Characterization of Video-Shot-Change Detection Methods**. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions. Volume: 10, Issue: 1, p. 1-13, Fevereiro de 2000.

GEORGES, J.; RONDEAU, E.; DIVOUX, T. **Classification of service for entertainment applications in vehicles**. Telecommunications, 2006. AICT-ICIW

'06. International Conference on Internet and Web Applications and Services/Advanced International Conference, p. 116, 19-25 de fevereiro de 2006.

GIACOMAZZI, P.; SADDEMI, G. **Bounded-Variance Network Calculus: Computation of Tight Approximations of End-to-End Delay**. Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference, p. 170-175, 19-23 de maio de 2008.

GRINGERI, S. et al. Traffic Shaping, Bandwidth Allocation, and Quality Assessment for MPEG Video Distribution over Broadband Networks. IEEE Network, 1998.

GRUNENFELDER, R. et al. **Characterization of Video Codecs as Autoregressive Moving Average Processes and Related Queueing System Performance**. Selected Areas in Communications, IEEE Journal, Volume: 9, Issue: 3, p. 284-293, Abril de 1991.

GU, Lifang. **Text Detection and Extraction in MPEG Video Sequences**. CSIRO Mathematical and Information Sciences, 2001.

GULYÁS, A.; BIRO, J.; HESZBERGER, Z. **A Probabilistic Network Calculus for Characterizing Long-run Network Behavior**. Communications, 2006. ICC '06. IEEE International Conference. Volume: 1, p. 465-470, Junho de 2006.

_____. **Network Calculus Based Quantification of Resource Usage in General Buffered Systems**. Dissertation - Budapest University of Technology and Economics Faculty of Electrical, 18 dec 2007. Disponível em: <http://www.omikk.bme.hu/collections/phd/Villamosmernoki_es_Informatikai_Kar/2007/Gulyas_Andras/ertekezes.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

HAORAN, Yi.; DEEPU, Rajan; TIEN, C.L. **A unified approach to detection of shot boundaries and subshots in compressed Video**. Image Processing, 2003. ICIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference, Volume: 2, p. II- 1005-8, 14-17 de setembro de 2003.

HARIT, G.; CHAUDHURY, S. **Video Shot Characterization Using Principles of Perceptual Prominence and Perceptual Grouping in Spatio-Temporal Domain**. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions. Volume 17, Issue 12, p. 1728 – 1741, Dezembro de 2007.

HENRIKSSON, T. et al. **Network Calculus Applied to Verification of Memory Access Performance in SoCs**. Embedded Systems for Real-Time Multimedia, 2007. ESTIMedia 2007. IEEE/ACM/IFIP Workshop, p. 21-26, 4-5 de outubro de 2007.

HOLLIMAN, Matthew J.; LI, Eric Q.; CHEN, Yen-kuang. **MPEG Decoding Workload Characterization**. Proceedings of Workshop on Computer Architecture Evaluation Using Commercial Workloads. 2003.

IBRAHIM, Ayman A. M. **Statistical Rate Control for Efficient Admission Control of MPEG-2 VBR Video Sources**. ATM'98, Fairfax, USA, Maio de 1998.

_____. **Efficient Connection Admission Control for Real Time Video Multiplexing.** ATM, 1998. ICATM-98., 1998 1st IEEE International Conference, p. 66-70, 22-24 de junho de 1998.

IRAQI, Y.; BOUTABA, R.; DSSOULI, R. **Statistical Properties of MPEG Video Traffic and their Impact on Bandwidth Allocation in Wireless ATM Networks.** Wireless Communications and Networking Conference, 1999. WCNC. 1999 IEEE, p. 998-1002 vol.2, 1999.

ITU-T - **The H.264/MPEG-4 Advanced Video Coding (AVC) Standard.** Gary J. Sullivan. ISO / IEC MPEG Video. Disponível em: <www.itu.int/ITU-T/worksem/vica/docs/presentations/S3_P1_Sullivan.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

IYENGAR, G.; LIPPMAN, A.B. **VideoBook: an experiment in characterization of Video.** Image Processing, 1996. Proceedings, International Conference. Volume: 3, p. 855-858 - Media Lab., MIT, Cambridge, MA, 16-19 de setembro de 1996.

JABBARI, B. et al. **Statistical Characterization and Block-Based Modeling of Motion-Adaptive Coded Video.** Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions. Volume: 3, Issue: 3, p. 199-207, Junho de 1993.

JIANG, Yuming. **A Basic Stochastic Network Calculus.** ACM SIGCOMM Computer Communication Review. Proceedings of the 2006 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications. Volume 36, Issue 4, 123 – 134, Outubro de 2006.

KAWASHIMA M. et al. **Adaptation of the MPEG Video-Coding Algorithm to Network Applications.** IEEE transactions on circuits and systems for Video technology. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY. Volume 3, n.4, p. 261-269 (6 ref.), 1993.

KIM, Jae-Gon, et al. **Efficient Camera Motion Characterization for MPEG Video Indexing.** IEEE International Conference on Multimedia and Expo (I), 2000.

_____. **Threshold-Based Camera Motion Characterization of MPEG Video.** ETRI Journal, vol.26, no.3, p.269-272, Junho de 2004.

KIMURA, Jun-ichi et al. **Perceived quality and bandwidth characterization of layered MPEG-2 Video encoding.** Proceedings of the SPIE International Symposium on Voice, Video and Data Communications. Conference No2, Boston MA, vol. 3845, p. 308-319, ETATS-UNIS, 20 de setembro de 1999.

KNIGHTLY, E.W.; MINES, R.F.; ZHANG, Hui. **Deterministic Characterization and Network Utilizations for Several Distributed Real-time Applications.** Object-Oriented Real-Time Dependable Systems, 1994. Proceedings of WORDS 94., First Workshop, p. 63-70, 24-25 de outubro de 1994.

_____. **Fundamental Limits and Tradeoffs of Providing Deterministic Guarantees to VBR Video Traffic.** Joint International Conference on Measurement

and Modeling of Computer Systems archive. Proceedings of the 1995 ACM SIGMETRICS: ACM Special Interest Group on Measurement and Evaluation, p. 98 – 107, 1995.

KRAIMECHE, B. **Multiplexing of MPEG Video Sources Over an ATM LAN.** Computers and Communications, 1997. Proceedings., Second IEEE Symposium, p. 34-37, 1-3 de julho de 1997.

KWEON, S.K.; SHIN, K.G. **Real-Time Transport of MPEG Video with a Statistically Guaranteed Loss Ratio in ATM Networks.** Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions. Volume: 12, Issue: 4, p. 387-403, Abril de 2001.

_____. **Transport of MPEG Video with Statistical Loss and Delay Guarantees in ATM Networks Using a Histogram-Based Source Model.** Real-Time Systems Symposium, 1999. Proceedings. The 20th IEEE, p. 179-189 - Dept. of Electr. Eng. & Comput. Sci., Michigan Univ., Ann Arbor, MI, 1999.

LE BOUDEC, Jean-Yves; THIRAN, Patrick; VERSCHEURE, O. **Optimal Smoothing for Guaranteed Service.** Networking, IEEE/ACM Transactions. Volume: 8, Issue: 6, p. 689-696, Dezembro de 2000.

_____. **A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet.** In: Lecture Notes in Computer Science, 2002. Disponível em: <http://ica1www.epfl.ch/PS_files/netCalBookv4.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

_____. **An introduction to Network Calculus.** CH-1015 Ecublens. ICA, EPFL. Disponível em: <http://lrcwww.epfl.ch/PS_files/netCallIntroSlidesA.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

LI D, Sethi. **MDC: A Software Tool for Developing MPEG Applications.** Proceeding of 1999 IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems. IEEE, Piscataway, p. 445-450, 1999.

LIANG, Qilian; MENDEL, J.M. **MPEG VBR Video Traffic Modeling and Classification Using Fuzzy Technique.** Fuzzy Systems, Dept. of Electr. Eng. Syst., Southern California Edison Co., Los Angeles, CA. IEEE Transactions. Volume: 9, Issue: 1, p. 183-193, Fevereiro de 2001.

LIEBEHERR, Jorg; WREGGE, Dallas E. **An Efficient Solution to Traffic Characterization of VBR Video In Quality Of Service Networks.** Technical Report: CS-96-10 (1996) - University of Virginia Charlottesville, VA, USA, 1996.

_____. **Traffic Characterization Algorithms For VBR Video In Multimedia Networks.** Journal Multimedia Systems – Springer, Berlin / Heidelberg, Issue Volume 6, p. 271-283, Number 4, Julho de 1998.

_____. **A Statistical Network Calculus for Computer Networks.** Computer Science Colloquium, University of Toronto, 20 de abril de 2006.

_____. **A Min-Plus System Interpretation of Bandwidth Estimation.** INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications, p. 1127-1135, 6-12 de maio de 2007.

LOMBARDO, A. et al. **A fast simulation model of MPEG Video traffic.** Global Telecommunications Conference, 1998. GLOBECOM 98. The Bridge to Global Integration. IEEE. Ist. di Inf. e Telecommun., Catania Univ, Volume: 2, p. 702-707, 1998.

_____. **Intra-GoP Modeling of MPEG Video Traffic.** Communications, 1998. ICC 98. Conference Record. 1998 IEEE International Conference, Volume: 1, p. 563-567, 7-11 de junho de 1998.

LOU, Wenjing; CHIA, Liang Tien; LEE, Bu Sung. **Characterization and Source Modeling of MPEG-2 VBR Video Source.** Information, Communications and Signal Processing, 1997. ICICS., Proceedings of 1997 International Conference, Volume: 3, p. 1652-1656, 9-12 de setembro de 1997.

LUI, John C.S. **Introduction to Network Calculus.** Study: Department of Computer Science & Engineering - The Chinese University of Hong Kong - Disponível em: <www.cse.cuhk.edu.hk/~cslui/CSC6480/network_calculus.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

MALANEY, R.A.; ROGERS, G. **Network Calculus and Service Curve Scheduling in Heterogeneous Networks.** Networks, 1999. (ICON '99) Proceedings. IEEE International Conference, p. 250- 254, 28 de setembro – 1 de outubro de 1999.

MANZONI, P.; CREMONESI, P.; SERAZZI, G. **Workload Models of VBR Video Traffic and Their Use in Resource Allocation Policies.** Networking, IEEE/ACM Transactions, Volume: 7, Issue: 3, p. 387-397, Junho de 1999.

MARKOV, P.; MEHRPOUR, H. **Statistical Modeling of MPEG Coded Video.** Networks, 2001. Proceedings. Ninth IEEE International Conference, p. 38- 43, 10-12 de outubro de 2001.

_____. **Dynamic Bandwidth Allocation for Streaming MPEG Coded Video over ATM Networks.** Communications, 2002. ICC 2002. Sch. of Electr. Eng. & Telecommun., New South Wales Univ., Sydney, NSW. IEEE International Conference, Volume: 4, p. 2325- 2329, 2002.

MATA, G; PAGAN, S Sallent. **Multiplexing and Resource Allocation of VBR MPEG Video Traffic on ATM Networks.** Proc. IEEE ICC'96, 1996.

MATLAB, 2010 – **Ferramenta para cálculos matemáticos e numéricos** – Disponível em: <<http://www.mathworks.com/>> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

MAXIAGUINE, A. et al. **Tuning SoC Platforms for Multimedia Processing: Identifying Limits and Tradeoffs.** Hardware/Software Codesign and System Synthesis, 2004. CODES + ISSS 2004. International Conference, p. 128- 133, 8-10 de setembro de 2004.

MAXIAGUINE, A. et al. **Identifying “Representative” Workloads in Designing MpSoC Platforms for Media Processing**. In: Embedded Systems for Real-Time Multimedia, 2004. ESTImedia 2004. 2nd Workshop, p. 41- 46, 6-7 de setembro de 2004.

MERWE, Jacobus Van Der; SEN, Subhabrata; KALMANEK, Charles. **Streaming Video Traffic: Characterization and Network Impact**. In: Proceedings of the Seventh International Web Content Caching and Distribution Workshop - AT&T Labs Research, 2002.

MINGW – **Bibliotecas e compiladores GCC** – Disponível em: <<http://www.mingw.org/>> Acesso em: Março de 2010.

MPEG Video Test. **Test Video**. Disponível em: <http://www-eng-x.lnl.gov/documents/a_movie2.mpeg> Acesso em: Março de 2010.

NAYAK, C.; ILYAS, M. **Characterization of Video conferencing traffic in ATM networks**. Southeastcon '96. 'Bringing Together Education, Science and Technology'. Dept. of Comput. Sci. & Eng., Florida Atlantic Univ., Boca Raton, FL - Proceedings of the IEEE, p. 344-347, 11-14 de abril de 1996.

NGATMAN, M.; NGADI, M.; SHARIF, J. **Comprehensive Study of Transmission Techniques for Reducing Packet Loss and Delay in Multimedia over IP**. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.8 No.3, pg 292-299, Mar 2008. Disponível em: <http://paper.ijcsns.org/07_book/200803/20080342.pdf> Acesso em fevereiro de 2008.

ONSI, Hoda M.; DARWISH, Mohamed G. **Real-time shot transition detection in compressed MPEG video streams**. National Telecommunication Institute, J. Electron. Imaging, Volume 17, Issue 2, 2008.

PANCHA, P.; EL ZARKI, M. **A look at the MPEG Video coding standard for variable bit rate Video transmission**. Dept. of Electr. Eng., Pennsylvania Univ., Philadelphia, PA, INFOCOM '92, Eleventh Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, IEEE, p. 85-94 vol.1, 4-8 de maio de 1992.

_____. **MPEG Coding For Variable Bit Rate Video Transmission**. Dept. of Electr. Eng., Pennsylvania Univ., Philadelphia, PA, Communications Magazine, IEEE, Volume: 32, Issue: 5, p. 54-66, Maio de 1994.

PEKER, K.A.; ALATAN, A.A.; AKANSU, A.N. **Low-level Motion Activity Features for Semantic Characterization of Video**. Multimedia and Expo, 2000. ICME 2000, IEEE International Conference, Volume: 2, p. 801-804, 2000.

QIAN, Yue; LU, Zhonghai; DOU, Wenhua. **Applying Network Calculus for Worst-case Delay Bound Analysis in On-chip Networks**. Design & Technology of

Integrated Systems in Nanoscal Era, 2009. DTIS '09. 4th International Conference, p. 113-118, 6-9 de abril de 2009.

SEMRET, Nemo. **Characterization and Modeling of MPEG Video Traffic on Multiple Timescales.** (1995). Disponível em: <<http://comet.columbia.edu/~nemo/mmn.ps>> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

SEELING P., M. REISSLEIN, AND B. KULAPALA. **Network Performance Evaluation with Frame Size and Quality Traces of Single-Layer and Two-Layer Video: A Tutorial.** IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 6, No. 3, pages 58-78, Third Quarter 2004.

SHAHBAZIAN, John N. **Characterization and Generation of Streaming Video Traces.** Dissertação - University of South Florida, 2003. Disponível em: <http://kong.lib.usf.edu:8881/R/88B98AA6HQL964LMLQMLHTYFNQQ2PDC8TDHFHEBB156QI49LQY-00499?func=dbin-jump-full&object_id=71439&local_base=GEN01&pds_handle=GUEST> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

SMITH, Michael A. **Video Skimming and Characterization through the Combination of Image and Language Understanding Techniques.** IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97), 1997, Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference, p. 775, 1997.

TERRASA, S.; SAEZ, S.; VILA, J. **Comparing the utilization bounds of IntServ and DiffServ.** Universidad Politecnica de Valencia, SPAIN. Disponível em: <<http://www.comp.brad.ac.uk/het-net/HET-NETS04/CameraPapers/P10.pdf>> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

THIELE, Lothar. **Performance Analysis of Distributed Embedded Systems.** International Conference On Embedded Software. Proceedings of the 7th ACM & IEEE international conference on Embedded software. SIGBED: ACM Special Interest Group on Embedded Systems. SIGMICRO: ACM Special Interest Group on Microarchitectural Research and Processing. SIGDA: ACM Special Interest Group on Design Automation p. 10, 2007.

THIRAN, P.; LE BOUDEC, J.-Y.; WORM, F. **Network calculus applied to optimal multimedia smoothing.** INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings, Volume: 3, p. 1474-1483, 2001.

TOWELA, P.R. Nyirenda-Jere. **Impact of Traffic Aggregation on Network Capacity and Quality of Service.** PhD Dissertation, University of Kansas, Oct. 2001. Disponível em: <http://www.ittc.ku.edu/publications/documents/Nyirenda-Jerre2000_SPRINT_13200-11_Impact%20of%20Traffic%20Aggregation_Nyirenda_0002.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

TRYFONAS, Christos; VARMA, Anujan. **Efficient Algorithms for Computation of the Loss Curve of Video Sources**. IEEE Transactions on Multimedia, vol. 5, n.3, p. 416-428, 2003.

_____. **Efficient Algorithms for Computation of the Burstiness Curve of Video Sources**. Multimedia, IEEE Transactions. Volume: 6, Issue: 6, p. 862- 875, Dezembro de 2004.

UNDHEIM, Astrid; LIN, Yuan; EMSTAD, Peder J. **Characterization of Slice-based H.264/AVC Encoded Video Traffic**. Universal Multiservice Networks, 2007. ECUMN '07. Fourth European Conference, p. 263-272, Fevereiro de 2007.

VAN DER AUWERA, G.; DAVID, P.T.; REISSLEIN, M. **Traffic and Quality Characterization of Single-Layer Video Streams Encoded with the H.264/MPEG-4 Advanced Video Coding Standard and Scalable Video Coding Extension**. Dept. of Electr. Eng., Arizona State Univ., Tempe, AZ. Broadcasting, IEEE Transactions, Volume: 54, Issue: 3, Part 2, p. 698-718, Setembro de 2008.

VIEIRA, Sibelius Lellis. **Controle de Admissão em Cálculo Estatístico de Redes**. I Encontro Regional em Modelagem e Análise Computacional de Sistemas (ERMACS). Disponível em: <http://wsmartins.net/ermacs/trabalho_36.pdf> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

WANDELER, Ernesto; THIELE, Lothar. **Real-Time Interfaces for Interface-Based Design of Real-Time Systems with Fixed Priority Scheduling**. International Conference On Embedded Software. Proceedings of the 5th ACM International conference on Embedded software. SIGBED: ACM Special Interest Group on Embedded Systems, p. 80 – 89, 2005.

_____. **Interface-Based Design of Real-Time Systems with Hierarchical Scheduling**. RTAS archive. Proceedings of the 12th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, p. 243 – 252, 2006.

_____. **Modular Performance Analysis and Interface-Based Design for Embedded Real-Time Systems**. Doctoral and Habilitation Theses. Disponível em: <<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:29294/eth-29294-01.pdf>> Acesso em: 26 de outubro de 2009.

WANG, Junyuan; BAI, Guangwei; SHEN, Hang. **Traffic Characterization and Modeling for Video Streaming over Multi-hop WLANs**. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. 4th International Conference, p. 1-5, 12-14 de outubro de 2008.

WENLONG LI, E. et al. **Workload Characterization of a Parallel Video Mining Application on a 16-Way Shared-Memory Multiprocessor System**. IEEE International Symposium on Workload Characterization, 2006, p. 7-16, 2006.

WREGGE, Dallas E. et al. **Deterministic Delay Bounds For VBR Video In Packet-Switching Networks Fundamental Limits And Practical Tradeoff**. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1996.

_____. **Video Traffic Characterization For Multimedia Networks With A Deterministic Service.** INFOCOM '96. Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer Societies. Networking the Next Generation. Proceedings IEEE, Volume: 2, p. 537-544, 24-28 de março de 1996.

XUYONG, Dongying; LIUYAN, Zhanglicui. **Modeling and The Simulation Study of MPEG Video Traffic.** ChangChun Inst. of Posts & Telecommunication, Intelligent Control and Automation, 2000. Proceedings of the 3rd World Congress, Volume: 3, p. 2158-2162, 2000.

YAN, Rong; CHEN, Ming-yu; HAUPTMANN, A. **Mining Relationship Between Video Concepts using Probabilistic Graphical Models.** Multimedia and Expo, 2006, IEEE International Conference, p. 301-304, 9-12 de julho de 2006.

YANHONG, Liu et al. **Workload Characterization and Cost-Quality Tradeoffs in MPEG-4 Decoding on Resource-Constrained Devices.** Embedded Systems for Real-Time Multimedia, 2005. 3rd Workshop on Publication, p. 129-134, 22-23 de setembro de 2005.

_____. **Approximate VCCs: A New Characterization of Multimedia Workloads for System-level MpSoC Design.** Annual ACM IEEE Design Automation Conference. Proceedings of the 42nd annual Design Automation Conference, p. 248-253, 2005.

_____. **Generalized Rate Analysis for Media-Processing Platforms.** Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, 2006. Proceedings, 12th IEEE International Conference, p. 305-314, 2006.

YANG, Sun; DAIGLE, J.N. **A Source Model of Video Traffic Based on Full-Length VBR MPEG4 Video Traces.** Dept. of Electr. Eng., Mississippi Univ., MS, USA. Global Telecommunications Conference, 2005, GLOBECOM '05, IEEE, Volume: 2, p. 5, 28 de novembro – 2 de dezembro de 2005.

ZHANG, Hui; KNIGHTLY, E.W. **Traffic Characterization and Switch Utilization using a Deterministic Bounding Interval Dependent Traffic Model.** INFOCOM '95, Fourteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Bringing Information to People, Proceedings, p. 1137-1145, vol.3, 2-6 de abril de 1995.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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