

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

BRUNO BOESSIO VIZZOTTO

**Algoritmos para o Módulo de Controle de
Taxa de Codificação de Vídeos Multivistas
do Padrão H.264/MVC**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre em Ciência
da Computação

Prof. Dr. Sergio Bampi
Orientador

Porto Alegre, junho de 2012.

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Vizzotto, Bruno Boessio

Algoritmos para o Módulo de Controle de Taxa de Codificação de Vídeos Multivistas do Padrão H.264/MVC / Bruno Boessio Vizzotto – Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Computação, 2012.

81p.:il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação. Porto Alegre, BR – RS, 2012. Orientador: Sergio Bampi.

1. Vídeos de Múltiplas Vistas 2. Controle de Taxa 3. Controle Preditivo baseado em Modelos 4. Processo de decisão de Markov 5. Aprendizagem por Reforço

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Luís da Cunha Lamb

Coordenador do PPGC: Prof. Álvaro Freitas Moreira

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

*“Lose your dreams
And you might lose your mind.”*
- Michael Philip Jagger

AgradecimentoS

Agradeço ao meu orientador prof. Sergio Bampi pela sua atenção dedicada e confiança. Ao Programa de Pós-Graduação em Computação pela estrutura e a CAPES pelo apoio financeiro. Deixo expressa minha gratidão ao meu colega e amigo Bruno Zatt pela iniciativa e apoio no projeto que envolveu esta dissertação, incluindo um estágio de seis meses no *Karlsruher Institut für Technologie* – KIT – Karlsruhe, Alemanha. Agradeço ao prof. Jörg Henkel pela confiança e suporte ao meu trabalho e ao Dr. Muhammad Shafique pela contribuição no desenvolvimento do trabalho durante este estágio.

Gostaria de dedicar esse trabalho a minha família, sem eles não poderia estar aqui, agradeço toda a educação, carinho e apoio que me foi concedido desde que ingressei na vida acadêmica. Agradeço as pessoas que dedicaram sua atenção em meu favor, mesmo em momentos que não merecia. Agradeço a compreensão e paciência de todos que me suportaram em momentos de aflição. Obrigado ao meu pai Assis Roque Vizzotto, o filósofo-pedreiro que sempre me deu muito orgulho, pode ter certeza que todos os conselhos são considerados. Obrigado a minha mãe Mariza de Fátima Boessio Vizzotto que nunca me deixou abater nos obstáculos e com apoio e cobrança fez-me entender o valor do esforço, e, muito mais do que isso, pelo amor. Obrigado ao meu irmão Cassiano pela companhia. Agradeço a minha irmã, Mariana, por ter dividido seu abrigo (do Biro e da Nina) comigo e ter me passado conselhos para que melhor pudesse aproveitar o curso de mestrado. A todos os meus tios e tias, professores dessa família, que dedicam sua vida a difundir o ensino, eu espero assim retribuir um pouco de tudo que me passaram. As minhas avós Célia e Carmen, por todo carinho que me deram durante esse período.

Ao meu amor Daniela, por ter me dado apoio e tranquilidade para conseguir suportar a distância durante um ano inteiro e conseguir trabalhar, pelo segundo ano de mestrado maravilhoso que vivi ao teu lado. Para minha segunda família (Carlos Maria, Sandra, Augusto, Daniel e Saulete) que me receberam como parte dela. Aos meus amigos Guilherme e Wesley, estejam cientes de que fazem falta na minha rotina, espero que possamos em breve morar um pouco mais próximos. A vocês meus amigos, obrigado. Francisco, Luciano, Cibele, vocês também tem minha enorme gratidão.

Em meio a meus devaneios jamais imaginei ter a oportunidade de fazer parte de uma equipe de pesquisa tal qual o grupo do “Lab215”, a eles eu agradeço todo o apoio desde minha chegada ao laboratório onde fui muito bem recebido e tive suporte para desenvolver meu trabalho em conjunto com os estimados colegas.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
.....	12
LISTA DE TABELAS.....	12
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 CODIFICAÇÃO DE VÍDEOS DIGITAIS E DE MÚLTIPLAS VISTAS....	19
2.1 Vídeos Digitais.....	19
2.2 Vídeos digitais de Múltiplas Vistas.....	20
2.3 O núcleo do Padrão H.264/MVC.....	22
2.3.1 Predição.....	22
2.3.2 Transformadas.....	25
2.3.3 Quantização.....	25
2.3.4 Filtro Redutor de Blocagem.....	26
2.3.5 Codificação de Entropia.....	27
2.4 Codificações de Vídeos Multivistas.....	28
2.4.1 Estrutura Hierárquica de Bi-Predição.....	28
2.5 Transmissão e Armazenamento.....	31
2.6 Atuação do Controle de Taxa.....	32
3 CONTROLE DE TAXA.....	35
3.1 Controle de Taxa na Codificação de Vídeo.....	35
3.1.1 Estrutura.....	35
3.1.2 Histórico.....	36

3.2	Camadas de Atuação.....	38
3.2.1	Camada de GOP.....	38
3.2.2	Camada de Quadros.....	39
3.2.3	Camada de Unidades Básicas.....	42
3.3	Estado-da-Arte.....	44
4	EMBASAMENTO TEÓRICO: MÉTODOS DE CONTROLE E PROCESSOS DE DECISÃO.....	47
4.1	Métodos de Controle.....	47
4.1.1	Controle Preditivo baseado em Modelos.....	48
4.2	Heurística e Conceitos Estatísticos.....	49
4.2.1	Processo de Decisão de Markov.....	50
4.2.2	Aprendizagem por Reforço.....	51
5	ALGORITMOS DE CONTROLE DE TAXA PARA O MVC.....	53
5.1	Estudo de Caso.....	54
5.2	Controle de Taxa baseado em Modelo Preditivo para nível de Quadros.....	57
5.2.1	Modelo de distribuição de Taxas.....	59
5.2.2	Parâmetro de Quantização.....	60
5.3	Controle de Taxa Baseado em Processo de Decisão de Markov para o Nível de Unidades Básicas.....	60
5.3.1	Regiões de Interesse.....	62
5.3.2	Processo de Decisão.....	63
5.3.3	Aprendizagem por reforço.....	63
6	RESULTADOS.....	65
6.1	Condições Experimentais.....	65
6.2	Precisão.....	65
6.3	Qualidade Visual.....	66
6.4	Eficiência de Codificação.....	67
6.5	Resultados Detalhados.....	68
6.5.1	Acumulado.....	68
6.5.2	Resultados detalhados para MPRC.....	69
6.5.3	Resultados detalhados para HRC.....	71
7	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77
	APÊNDICE A <ARTIGOS DESENVOLVIDOS DURANTE O MESTRADO>	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três Dimensões
AVC	<i>Advanced Video Coding</i>
B	Bi-Preditivo
BD-BR	<i>Bjøntegaard Delta Bitrate</i>
BD-PSNR	<i>Bjøntegaard Delta PSNR</i>
BU	Unidades Básicas
CABAC	Codificador Aritmético Adaptativo ao Contexto
CAVLC	Codificador de Código Variável Adaptativo ao Contexto
CBR	Taxa de Bits Constantes
DC	<i>Direct Current</i>
DCT	Transformada Discreta do Cosseno
DE	Estimação de Disparidade
FVT	<i>Free Viewpoint Television</i>
GGOP	Grupo de GOP
GOP	Grupo de Quadros
HBP	Hierarquia de Bi-Predição
HRC	Controle de Taxa Hierárquico
HRD	Codificador Hipotético de Referência
I	<i>Inter</i>
IPTV	Televisão sobre Protocolo de Internet
JVT	<i>Joint Video Team</i>
MAD	Média das diferenças Absolutas
MB	Macrobloco
MBEE	<i>Mean Bitrate Estimation Error</i>
MC	Compensação de Movimento
MDP	Processo de Decisão de Markov
ME	Estimação de Movimento

MPC	Controle Preditivo baseado em Modelos
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
MSE	Média de Erro Quadrático
MVC	<i>Multiview Video Coding</i>
MVD	<i>Multiview Video plus Depth</i>
P	Preditivo
PSNR	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i>
QP	Parâmetro de Quantização
Qstep	Passo de Quantização
RC	Controle de Taxa
R-D	Taxa-Distorção
RDO	Otimização Taxa-Distorção
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RL	Aprendizagem por Reforço
RoI	Regiões de Interesse
SE	Elemento Sintático
SMRC	<i>Single Model Rate Control</i>
TMN	<i>Test Model Number</i>
VBR	Taxa de Bits Variáveis
VGA	<i>Video Graphics Array</i>
VM	<i>Verification Model</i>
YCbCr	<i>Yellow, Chroma Blue, Chroma Red</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 – Sequência de quadros de um vídeo digital.</i>	19
<i>Figura 2.2 – Sequência de quadros de um vídeo digital de múltiplas vistas.</i>	21
<i>Figura 2.3 – Quadros iniciais de duas vistas de uma sequência de vídeo: (a) primeira vista e (b) segunda vista. Fonte: (SAMPAIO, 2011).</i>	21
<i>Figura 2.4 – Diagrama com as principais ferramentas do padrão H.264/MVC. Fonte: (ZATT, 2008).</i> ...	22
<i>Figura 2.5 – Blocos de coeficientes para aplicação das transformadas componentes de cor. Fonte: (AGOSTINI, 2007).</i>	25
<i>Figura 2.6 – Organização interna do bloco de codificação de entropia conforme padrão H.264/AVC.</i>	Erro! Indicador não definido.
<i>Figura 2.7 – Estrutura Hierárquica de Bi-Predição – HBP.</i>	29
<i>Figura 2.8 – Hierarquia de Quadros B com um GOP.</i>	30
<i>Figura 2.9 – Quadros vizinhos considerados como referência pela DE. Fonte: (MERKLE, 2007).</i>	30
<i>Figura 2.10 – Sistema de transmissão de vídeos de múltiplas vistas. Fonte: (CHEN, 2009).</i>	31
<i>Figura 2.11 – (a) aumento da distorção gera diminuição da qualidade. (b) variação de acordo com o aumento da complexidade pela fonte.</i>	33
<i>Figura 2.12 – Controle de Taxa e o Codificador.</i>	33
<i>Figura 3.1 – Núcleo de um controle de taxa e suas interfaces.</i>	36
<i>Figura 3.2 – Etapas do processo de execução de um controle de taxa.</i>	37
<i>Figura 4.1 – Controle Preditivo baseado em Modelo</i>	49
<i>Figura 5.1 – Diagrama do esquema de controle de taxa Hierárquico proposto.</i>	53
<i>Figura 5.2 – Distribuição da taxa de bits na camada de vistas (Flamenco2, QP=34).</i>	55
<i>Figura 5.3 – Distribuição de bits para dois GGOPS (Flamenco2, QP=34).</i>	56
<i>Figura 5.4 – Distribuição de bitrate para camada de BU (Flamenco2, QP=34).</i>	56
<i>Figura 5.5 – Horizontes de controle baseado em MPC.</i>	57
<i>Figura 5.6 – Diagrama de controle de taxa na camada de quadros.</i>	58
<i>Figura 5.7 – Diagrama de bloco na camada de unidades básicas.</i>	61
<i>Figura 5.8 – Regiões de Interesses baseado em Mapa de variância (Flamenco2).</i>	62
<i>Figura 6.1 – Resultados de Taxa distorção.</i>	67
<i>Figura 6.2 – Acumulo de Bits pela sequência “Ballroom” (1024 kbps).</i>	68
<i>Figura 6.3 – Acumulo de Bits pela sequência “flamenco2” (1024 kbps)</i>	69
<i>Figura 6.4 – Distribuição de bits (a) e qualidade visual (b) ao longo dos quadros. Detalhe da distribuição de bits (c) e qualidade (d) para GGOPS #3 e #8.</i>	70
<i>Figura 6.5 – Comportamento do bitrate (a) e qualidade do vídeo (b) ao longo do tempo.</i>	71
<i>Figura 6.6 – Distribuição de bits a nível de vistas (flamenco2).</i>	71
<i>Figura 6.7 – Distribuição de Bits e PSNR para o nível de quadros (GOP #8).</i>	72
<i>Figura 6.8 – Distribuição de Bits para unidades básicas (GOP #8).</i>	73

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 - Relação entre QP e Qstep.</i>	26
<i>Tabela 2.2 – Análise da correlação temporal e de disparidade. Fonte: (MERKLE, 2007).</i>	30
<i>Tabela 5.1 – Descrição das variáveis utilizadas no esquema de controle.</i>	58
<i>Tabela 6.1 – Comparação de Precisão do Bitrate para RC.</i>	66
<i>Tabela 6.2 – Comparação de eficiência do MPRC de Controle de Taxa.</i>	67
<i>Tabela 6.3 – Comparação de eficiência do HRC de Controle de Taxa.</i>	68

RESUMO

Esta dissertação de mestrado apresenta um novo esquema de controle de taxa hierárquico – HRC – para o padrão MVC – extensão para vídeos de múltiplas vistas do padrão H.264 – com objetivo de melhorar o aproveitamento da largura de banda oferecida por um canal entregando o vídeo comprimido com a melhor qualidade possível. Este esquema de controle de taxa hierárquico foi concebido para controlar de forma conjunta os níveis de quadro e de unidades básicas (BU).

O esquema proposto explora a correlação existente entre as distribuições das taxas de bits em quadros vizinhos para prever de forma eficiente o comportamento dos futuras *bitrates* através da aplicação de um controle preditivo baseado em modelos – MPC – que define uma ação de controle apropriada sobre as ações de adaptação do parâmetro de quantização (QP). Para prover um ajuste em granularidade fina, o QP é adicionalmente adaptado internamente para cada quadro por um processo de decisão de Markov (MDP) implementado em nível de BU capaz de considerar mapas com Regiões de Interesse (RoI). Um retorno acoplado aos dois níveis supracitados é realizado para garantir a consistência do sistema. Aprendizagem por Reforço é utilizada para atualizar os parâmetros do Controle Preditivo baseado em Modelos e do processo de decisão de Markov.

Resultados experimentais mostram a superioridade da utilização do esquema de controle proposto, comparado às soluções estado-da-arte, tanto em termos de precisão na alocação de bits quanto na otimização da razão taxa-distorção, entregando um vídeo de maior qualidade visual nos níveis de quadros e de BUs.

Palavras-Chave: Codificação de Vídeo, *Multiview Video Coding*, Controle de Taxa, Controle Preditivo baseado em Modelos, Processo de decisão de Markov, Aprendizagem por Reforço.

Algorithms for Encoding Rate Control Module for Multiview Videos of H.264/MVC Standard

ABSTRACT

This master thesis presents a novel Hierarchical Rate Control – HRC – for the Multiview Video Coding standard targeting an increased bandwidth usage and high video quality. The HRC is designed to jointly address the rate control at both frame-level and Basic Unit (BU)-level.

This scheme is able to exploit the bitrate distribution correlation with neighboring frames to efficiently predict the future bitrate behavior by employing a Model Predictive Control that defines a proper control action through QP (Quantization Parameter) adaptation. To provide a fine-grained tuning, the QP is further adapted within each frame by a Markov Decision Process implemented at BU-level able to take into consideration a map of the Regions of Interest. A coupled frame/BU-level feedback is performed in order to guarantee the system consistency. A Reinforcement Learning method is responsible for updating the Model Predictive Control and the Markov Decision Process parameters.

Experimental results show the superiority of the Hierarchical Rate Control compared to state-of-the-art solutions, in terms of bitrate allocation accuracy and rate-distortion, while delivering smooth video quality at both frame and Basic Unit levels.

Keywords: Video Encoding, Multiview Video Coding, Rate Control, Model Predictive Control, Markov Decision Process, Reinforcement Learning.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente vídeos digitais tridimensionais (vídeos-3D) ganharam destaque na indústria devido a sua aplicação em serviços tais quais 3D-IPTV, 3DTV em demanda, telemedicina-3D, câmeras de gravação de vídeos pessoais 3D entre outros (ZATT, 2008). Através da popularização de aplicações que utilizam vídeos-3D, um grande estímulo a novas pesquisas acadêmicas nesta área é observado. Para suprir as expectativas geradas pela indústria e academia quanto à padronização de vídeos-3D, o *Joint Video Team* (JVT) lançou o *Multiview Video Coding* (MVC) (INTERNATIONAL, 2009), uma extensão do H.264/AVC (INTERNATIONAL, 2003) – padrão de compressão de vídeos – que permite a codificação de vídeos multivistas, condição essencial para o suporte a vídeos-3D. Em complemento às ferramentas inerentes ao padrão H.264/AVC, a extensão MVC emprega predição entre vistas, habilitando a exploração da correlação entre vistas vizinhas, levando a uma codificação eficiente com ganhos entre 20% e 50% em relação à codificação *simulcast* (codificação de vistas independentes utilizando o H.264/AVC) (MERKLE, 2007).

Em um codificador de vídeo genérico, uma sequência é subdividida em quadros, sendo que por sua vez cada um dos quadros é subdividido em macroblocos (blocos de 16x16 pixels – MB) e por sua vez cada um dos MB é codificado através de uma sequência de passos: predição, transformadas, quantização, codificação de entropia, etc. (RICHARDSON, 2003). Através da aplicação destes passos, resulta-se um fluxo de bits de taxa variável (*bitstream*) na saída do codificador. Considerando as restrições de largura de banda impostas pela tecnologia de transmissão atual, na prática, torna-se necessário um limite máximo na taxa de bits que envolvem a transmissão de um vídeo a partir de um determinado canal de comunicação.

Um bloco de Controle de Taxa (RC – *Rate Control*) se faz necessário para possibilitar que aplicações de vídeos-3D atuem em cenários com restrições de largura de banda ou *buffer* ou ainda em cenários de gravação para taxa de bits fixas ou variáveis. Deste modo, um algoritmo de controle é necessário para vídeos multivistas para alocação adequada de bits em diferentes níveis: Unidades Básicas (BU – conjunto de macroblocos), Quadros (*frames* e/ou *pictures* são sinônimos no escopo deste trabalho), GOP (Grupo de Quadros) e GGOP (Grupo de GOPs). Um bom esquema de RC para vídeos multivistas deve prover suavidade na variação da qualidade visual entre diferentes BUs e quadros de uma vista (ao longo do eixo temporal) e entre múltiplas vistas (ao longo do eixo de vistas) enquanto deve prover a máxima qualidade visual global sobre as restrições de largura de banda de um determinado canal (LI, 2003). Desta forma, um módulo de controle de taxa pode ser dividido em duas funções principais: (i) alocação de bit, o qual deve distribuir o limite da largura de banda para unidades de imagem, tal como GOPs, quadros ou BUs. (ii) Cálculo do QP (parâmetro

de quantização), parâmetro adotado na codificação de vídeo responsável por controlar a intensidade com que a quantização – processo que insere perdas na codificação – será aplicada para cada unidade básica ou quadro a ser codificado. O QP pode ser mantido em um valor fixo, de forma que a largura de banda máxima do canal nunca seja atingida, todavia, utilizando esta técnica, ocorrerá um aproveitamento precário da largura de banda disponível para transmitir o vídeo visto que o QP não será o melhor caso para um determinado quadro ou BU.

O bloco de controle de taxa presente no *software* de referência (SUHRING, 2011) apresenta uma diferença singular frente aos padrões anteriores tais como MPEG-2, MPEG-4 e H.263: a utilização do parâmetro de quantização como entrada para o módulo de otimização taxa-distorção (RDO) (AGOSTINI, 2007). Assim, quando do estudo do módulo de controle de taxa, verifica-se um dilema, pois para efetuar a RDO para MB do quadro atual, um QP deve ser previamente determinado, utilizando a média das diferenças absolutas (MAD) do MB ou do quadro atual. Entretanto a MAD só será disponibilizada após a realização da RDO. Observando esta característica de codificação, qualquer solução de controle de taxa possível deve determinar uma boa predição do QP, para que taxa de saída de bits esteja de acordo com as restrições impostas.

De forma a suprir a carência apresentada pelos trabalhos relatados na literatura (vide seção 3.1.2 e seção 3.3), esta dissertação apresenta um esquema de controle de taxa com suporte em nível de quadros em conjunto a uma solução em nível de unidades básicas, atacando o problema em granularidade grossa e em granularidade fina, respectivamente. Primeiramente, considerando granularidade grossa, um esquema em nível de quadros é proposto, utilizando um Controle Preditivo baseado em Modelos (MPC) para determinar um valor de QP adequado para cada quadro. Posteriormente, um processo de decisão com controle em granularidade fina é apresentado, com o objetivo de ajustar o QP de acordo com a necessidade de cada unidade básica. Neste modelo é utilizado mapa de variância em quadros-âncoras (vide seção 2.4) para determinar espaços dentro de um quadro com maior necessidade de alocação de bits. Para o ajuste e refinamento dos valores de QP de quadros (não âncoras) subsequentes na codificação de um GOP é utilizado como processo de decisão heurística Markoviana. De forma complementar, é utilizada técnica de aprendizagem por reforço (RL – *Reinforcement Learning*).

Esta dissertação está dividida em sete capítulos. No segundo capítulo, serão apresentados os conceitos de codificação de vídeos digitais e os principais elementos componentes do padrão H.264/AVC e de sua extensão, o MVC. Em seguida, no terceiro capítulo, o módulo de controle de taxa e suas aplicações dentro do codificador de vídeo serão abordados. No quarto capítulo será apresentado o embasamento teórico das técnicas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho. No quinto capítulo serão apresentadas as descrições do modelo de controle de taxa proposto. No sexto capítulo serão mostrados os resultados obtidos em comparação com os trabalhos relacionados mais relevantes. Por fim, no sétimo e último capítulo serão apresentadas as conclusões deste trabalho.

2 CODIFICAÇÃO DE VÍDEOS DIGITAIS E DE MÚLTIPLAS VISTAS

Neste capítulo serão introduzidos os conceitos básicos de vídeos digitais e vídeos com múltiplas vistas e suas características. Em seguida, os conceitos de codificação de vídeo seguindo o padrão H.264/AVC são apresentados, com enfoque especial para vídeos de múltiplas vistas em acordo com o padrão H.264/MVC. Finalmente serão abordados conceitos de codificação e transmissão de vídeos multivistas bem como a atuação do controle de taxa (foco desta dissertação) dentro destas aplicações. Estes conceitos servirão como premissas para o restante desta dissertação.

2.1 Vídeos Digitais

Um vídeo digital é definido como uma sequência de quadros – imagens estáticas – capturados a uma determinada taxa de uma cena contínua no tempo que, quando exibidos a certa frequência – quadros por segundo – proporcionam a sensação de movimento para um expectador. A frequência da exibição de quadros está relacionada à suavidade do movimento. Vídeos digitais que são apresentados a uma taxa dentre 24 e 30 quadros por segundo são suficientes para que o olho humano tenha a impressão de movimento suave (RICHARDSON, 2003). Por sua vez, um quadro é definido como uma matriz de pixels, onde cada pixel armazena as informações de cor e de luminosidade de uma determinada posição. Abaixo a Figura 2.1 ilustra uma sequência de imagens capturadas e exibidas de forma subsequentes como ocorre num vídeo digital.

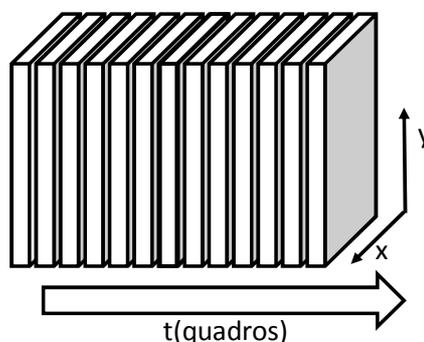


Figura 2.1 – Sequência de quadros de um vídeo digital.

Considerando um quadro uma matriz de pixels, existem inúmeras formas e sistemas para a representação de espaços de cores que visam à representação de um pixel

numericamente. Dentre os sistemas usuais da atualidade, destaca-se o RGB, o mais utilizado sistema de representação de cores o qual categoriza as informações de um pixel em três matrizes de componentes: vermelho, verde e azul. A representação de cores neste espaço é amplamente utilizada em equipamentos como televisores, projetores, monitores de tubo de raios catódicos, câmeras digitais portáteis e câmeras de vídeo. No entanto o sistema RGB não é um bom espaço de cores para ser utilizado por algoritmos de compressão de imagens, pois neste espaço existe uma alta correlação entre os componentes de cores. Desta forma, não seria eficiente a aplicação de algoritmos de compressão para cada um dos componentes (RICHARDSON, 2003).

Devido ao fator supracitado, em detrimento a utilização do sistema RGB, os padrões de codificação de vídeos mais populares como MPEG-2, MPEG-4 e H.264/AVC utilizam o espaço de cores YCbCr. Neste espaço de cores as informações de um pixel estão separadas em matrizes de luminância (Y), croma azul (Cb) e croma vermelha (Cr). O componente de luminância representa a intensidade de luz do quadro. Os componentes de croma tratam das informações de cores propriamente ditas. Neste espaço, não há uma correlação significativa – como no sistema RGB – entre os três componentes. Desta forma, podem ser aplicadas técnicas distintas para cada matriz, explorando características de cada uma de forma apropriada (RICHARDSON, 2003).

Ao realizar uma comparação entre quadros sucessivos de uma sequência de vídeo percebe-se uma clara semelhança entre estes. Esta percepção está estritamente relacionada à taxa de apresentação de 24 a 30 quadros por segundo necessária para que perceba-se a sensação suave de movimento. Na maioria absoluta dos casos, as mudanças são relacionadas a objetos que distinguem de posição entre um par de quadros, ou seja, o objeto ainda está presente neste, mas em regiões diferentes no decorrer do vídeo. Esta forma de semelhança visual descrita, presente na representação de vídeo é denominada redundância temporal. Algoritmos de compressão de vídeo exploram estas redundâncias com técnicas de busca por melhores casamentos entre estas regiões de um ou de mais quadros, buscando identificar a movimentação de blocos da imagem (DEPRÁ, 2009).

Outra característica de importância distinta apresentada em vídeos digitais é a redundância espacial. Ela representa a homogeneidade entre pixels de regiões próximas dentro de um mesmo quadro. Em uma imagem que compõe o vídeo digital, é muito comum a ocorrência de regiões homogêneas. Um exemplo simples deste fato são imagens que apresentam uma paisagem ou um plano de fundo. Esta característica é explorada por algoritmos de codificação/compressão intra-quadros que aplicam filtros simples sobre os pixels de uma determinada vizinhança de modo a inferir o bloco atual.

De acordo com características conhecidas do sistema visual humano, regiões de altas frequências do quadro não são perceptíveis ao sistema visual humano com a mesma precisão que regiões de frequências menores (ROSA, 2010). Desta maneira, algoritmos que excluam estas frequências de percepção menor do vídeo, aumentam de maneira considerável a taxa de compressão, sem a inserção de grandes danos na qualidade visual. Esta forma de redundância é classificada como psico-visual (GONZALEZ, 2003) ou espacial (RICHARDSON, 2003) de acordo com os autores.

2.2 Vídeos digitais de Múltiplas Vistas

A definição de sequências de vídeos de múltiplas vistas remete a um conjunto de vídeos capturados de forma síncrona de uma mesma cena a partir de câmeras dispostas

em pontos distintos de observação (MERKLE, 2007). A Figura 2.2 mostra uma cena sendo capturada por quatro câmeras posicionadas lado a lado. Além das redundâncias já mencionadas, um vídeo de múltiplas vistas adiciona uma nova característica à codificação: as redundâncias existentes entre quadros de vistas distintas.

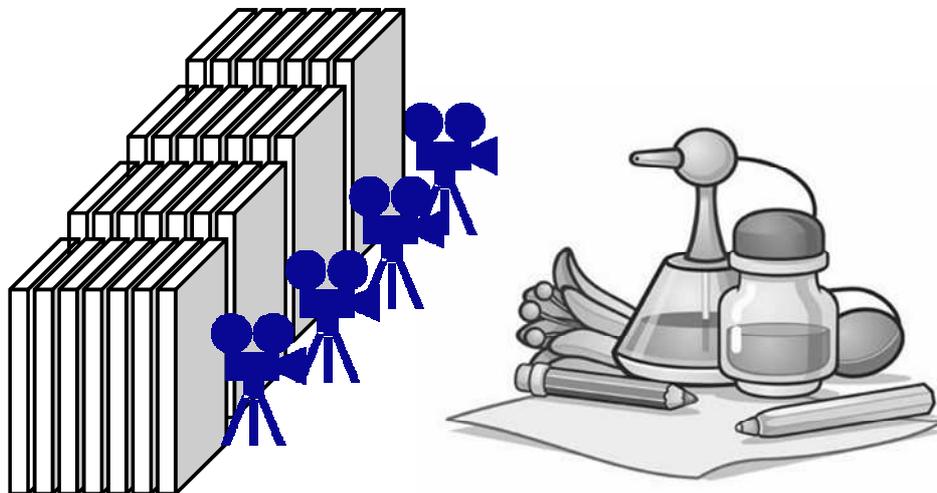


Figura 2.2 – Sequência de quadros de um vídeo digital de múltiplas vistas.

Neste caso, esta redundância não é relacionada ao movimento dos objetos, uma vez que os quadros estão sendo capturados simultaneamente. A redundância se deve ao fato de todas as câmeras observarem a mesma cena ao mesmo tempo, porém em posições distintas. A disparidade entre as vistas, ou seja, o deslocamento da cena entre os diferentes pontos observados é apresentado na figura 2.3.

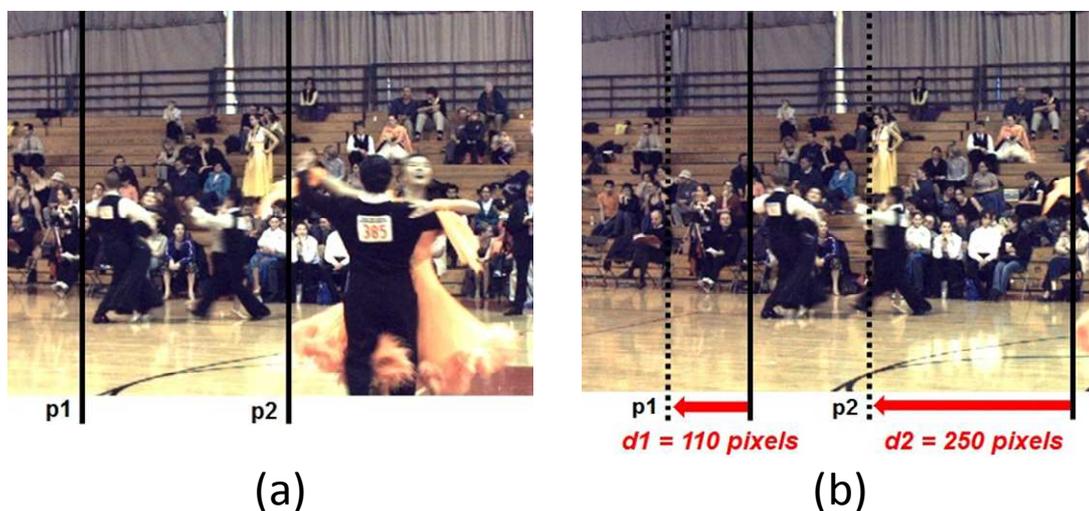


Figura 2.3 – Quadros iniciais de duas vistas de uma sequência de vídeo: (a) primeira vista e (b) segunda vista. Fonte: (SAMPAIO, 2011).

Os quadros apresentados pela Figura 2.3 são exemplos para quantificar a disparidade entre duas vistas. A disparidade deve ser considerada para cada objeto da cena que é observado, ela depende da distância entre as câmeras e da distância das câmeras até o objeto observado. Intuitivamente, para duas câmeras fixas separadas por uma determinada distância, quanto mais próximo o objeto se encontrar das câmeras maior será a disparidade entre as vistas. Este fato pode ser observado nos pontos p1 e p2 da Figura 2.3. Estes pontos marcam as posições do braço do dançarino à esquerda (no

plano de fundo) e do vestido da dançarina à direita (em primeiro plano). Tomando suas posições apresentadas na primeira vista (Figura 2.3a) e suas posições na vista subsequente, observa-se um deslocamento maior do ponto $p1$ do que do ponto $p2$. Isto se deve à distância de cada objeto em relação à câmera. O dançarino está mais afastado da câmera, assim, o deslocamento de pixels da região que o representa é menor do que o apresentado pela dançarina. Esta característica é de grande importância e deve ser levada em conta pelo codificador de vídeo de múltiplas vistas (SAMPAIO, 2011).

2.3 O núcleo do Padrão H.264/MVC

Nesta seção serão apresentados os principais componentes de um codificador compatível com o padrão H.264/MVC. A Figura 2.4 ilustra os principais blocos empregados em um codificador, e o fluxo de dados entre as diferentes etapas. A apresentação desta visão do codificador baseia-se no fato de que o decodificador pode ser interpretado como um subconjunto do codificador. Dessa forma, a apresentação das ferramentas que compõe o codificador também contempla as ferramentas empregadas no processo de decodificação.

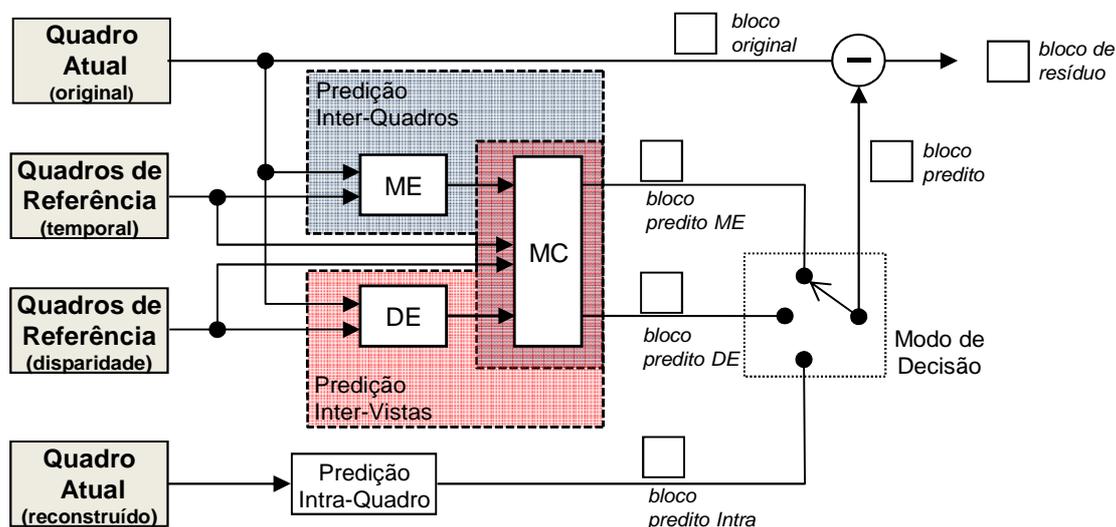


Figura 2.4 – Diagrama com as principais ferramentas do padrão H.264/MVC. Fonte: (ZATT, 2008).

Uma das características mais importante deste padrão é fato de que apenas o decodificador é normatizado (DEPRÁ, 2009). Assim, vários graus de liberdade podem ser explorados no desenvolvimento do codificador, incluindo o controle de taxa (foco deste trabalho). Entretanto o *bitstream* gerado deve ser compatível com as exigências do padrão, porém a forma como este *bitstream* deve ser gerada é parcialmente especificada. As alternativas que podem ser aplicadas ao desenvolvimento do codificador vão desde a inserção de algoritmos mais eficientes, ou mais simples de serem implementados em hardware, até a simples eliminação de algumas possibilidades de codificação previstas pelo padrão. É claro que estas modificações irão gerar impactos na relação taxa-distorção, na taxa de compressão, na velocidade de processamento e/ou na utilização de recursos de hardware pelo codificador.

2.3.1 Predição

O padrão H.264/MVC prevê três formas de predição: inter-quadro, intra-quadro e inter-vistas. A predição inter-quadros visa explorar redundâncias do tipo temporal,

enquanto a predição intra-quadro explora redundâncias espaciais. Nos padrões anteriores, apenas nos macroblocos (MB - *Macroblock*) que utilizavam predição inter-quadros era calculada uma predição com base nos quadros anteriores ou posteriores. Nos MB intra os seus pixels eram transformados e quantizados diretamente. Neste padrão, mesmo nos MB que forem codificados como intra-quadros, é feita uma predição antes da aplicação da transformada. A predição inter-quadros consiste em procurar em quadros de referência um local que seja semelhante ao MB atual que está sendo codificado. A saída desse processo gera um vetor de movimento que aponta para a posição que melhor combina no quadro de referência.

Bloco da Predição Intra-quadros

O bloco de predição intra apresentado no padrão H.264 é responsável por realizar a predição nos MB do tipo I. Esta predição baseia-se nos valores anteriormente codificados do quadro atual dos pixels acima e à esquerda de um bloco. A predição intra para amostras de luminância pode ser utilizada tanto sobre blocos 4x4 quanto por blocos 16x16. Existem nove diferentes modos de predição intra para blocos 4x4 e quatro modos para a predição sobre blocos 16x16 (AGOSTINI, 2007). A inserção de um bloco de predição intra é uma novidade introduzida pelo padrão H.264. Em função da predição intra e considerando também a predição inter, a transformada é sempre aplicada em um sinal de erro de predição. Além desse, existe um modo adicional de codificação para macroblocos do tipo I, chamado I_PCM. Neste caso, as amostras do quadro são transmitidas diretamente, sem predição, transformada e quantização (RICHARDSON, 2003). Já a predição de blocos de crominância é realizada diretamente sobre blocos de 8x8 pixels e utiliza quatro modos diferentes de predição, entretanto, os dois componentes de crominância utilizam sempre o mesmo modo. Os modos de predição para crominância são muito similares aos modos de predição de luminância para blocos 16x16, exceto pela numeração dos modos e o tamanho do bloco ao qual é aplicada (DEPRÁ, 2009).

Os diferentes modos de predição intra para luminância e crominância possibilitam a geração de uma predição para MB do tipo I, que gera uma codificação eficiente para este tipo de MB. A escolha de qual modo de predição deve ser utilizado para a codificação é realizada pelo codificador, que deve indicar o modo escolhido no cabeçalho do macrobloco. Para escolher o melhor modo, o codificador deve gerar a predição sobre todos os modos e escolher qual é o mais adequado considerando a eficiência de codificação. Esta tarefa possui uma complexidade computacional elevada para o codificador (RICHARDSON, 2003).

Bloco da Predição Inter-quadros

A predição inter-quadros no codificador H.264 é composta pelos blocos de Estimção de Movimento (ME) e pelo bloco de Compensação de Movimento (MC). O bloco de ME é o que apresenta a maior complexidade computacional dentre todos os blocos de um codificador H.264 (PURI, 2004). Os blocos da ME e MC são as principais fontes de ganhos do H.264 em relação aos demais padrões de compressão de vídeo (WIEGAND, 2003).

Na estimção de movimento, o bloco deve prover as ferramentas de codificação com condições de localizar nos quadros de referência qual MB mais se assemelha ao MB atual a ser codificado. Assim que encontrado este MB, a ME deve gerar um vetor indicando a posição deste macrobloco no quadro de referência. Este vetor é denominado vetor de movimento e é inserido junto com a codificação do macrobloco. Para a

realização da estimação de movimento é considerado apenas o componente de luminância do macrobloco. Uma das principais inovações do padrão H.264 ao se considerar a ME, é a possibilidade da utilização de tamanhos de blocos variáveis para realização da estimação de movimento. Ao invés de utilizar um MB inteiro na estimação de movimento, este padrão permite o uso de partições de macrobloco e partições de sub-macroblocos. Maiores detalhes sobre a estimação de movimento não serão abordados neste texto, podendo ser encontrados em (AGOSTINI, 2007).

Na etapa de compensação de movimento, deve haver uma adequação às definições da ME. A ME localiza o melhor casamento dentre os quadros de referência e produz um vetor de movimento. É função da MC, a partir deste vetor de movimento gerado na ME, rastrear os blocos de melhor casamento na memória de quadros anteriormente codificados e construir o quadro predito. Este quadro é subtraído do quadro atual para produzir o quadro residual que passará pela etapa de transformada. A compensação de movimento deve sempre atender as exigências da estimação de movimento. Desta forma, a MC deve tratar variados tamanhos de partições de macroblocos, deve também utilizar múltiplos quadros de referência anteriores e posteriores, adicionalmente interpretar corretamente os vetores construídos com base na predição de vetores. Dentre as demais tarefas, deve tratar vetores que apontam para fora da borda do quadro e reconstruir os MB. Por fim, deve reconstruir os MB que utilizam as predições bi-preditiva, ponderada e direta para *slices* do tipo B e reconstruir corretamente os macroblocos do tipo *skip* para *slices* tipos P e B (AGOSTINI, 2007).

Estimação de Disparidade (Predição entre vistas)

A Predição entre vistas ou inter-vistas trata da relação de disparidade entre quadros de vistas distintas. Esta característica foi introduzida com o conceito de múltiplas vistas pelo padrão H.264/MVC. Como módulo principal, a predição inter-vistas traz a Estimação de Disparidade (DE), a qual é uma extrapolação da ME convencional considerando as características específicas das dependências entre quadros de vistas distintas. Semelhante ao módulo de ME, a DE é responsável por buscar o melhor casamento de um bloco do quadro atual em áreas de pesquisa de um ou mais quadros de referência. Entretanto, os quadros usados como alvos de busca são vizinhos de disparidade do quadro atual, e não vizinhos temporais como no caso da ME. Assim como a predição inter-quadros, a compensação de disparidade faz o papel de acessar a memória de quadros de referência do codificador e encontrar o bloco predito pela DE e realizar o processo de geração de resíduos e entrega aos módulos de transformadas e quantização. Existem características implícitas aos vídeos de múltiplas vistas que diferenciam o papel da ME e da DE. Assim como a estimação de movimento, que procura buscar o sentido do movimento de um bloco entre dois quadros espaçados no tempo, a DE tem o objetivo de encontrar o deslocamento do bloco entre duas vistas de modo a prever a disparidade dos objetos da cena com relação às câmeras de captura.

Mesmo que funcionalmente a ME e DE sejam parecidas, seus comportamentos são bastante distintos, em sua grande maioria movimentos são detectados em uma região muito próxima, gerando vetores de módulo pequeno. Entretanto, quando se trata de disparidade, os vetores são maiores, variando com a distância entre câmeras e com os objetos inseridos em determinada cena. Assim, uma busca centrada na mesma posição do bloco atual terá sucesso caso a área de busca seja grande o suficiente. Isso implica em um acréscimo no processamento. Várias técnicas têm sido propostas com objetivo de reduzir o esforço computacional associado à DE. Uma das mais simples utiliza-se de uma informação externa que informa a disparidade média entre duas vistas. Com esta

informação, o algoritmo de busca pode ter uma noção da distância que deve ser seu referencial inicial.

2.3.2 Transformadas

O processamento dos sinais de resíduos resultantes da etapa de predição no padrão H.264/AVC é realizado utilizando dois tipos de transformadas: a transformada discreta do cosseno – DCT e a transformada *Hadamard* (AGOSTINI, 2007). Ambas as transformadas têm por fim converter o sinal de erro original em uma representação similar no domínio das frequências. Esse sinal é dividido em blocos de 8x8 pixels, e todos estes passam pela DCT. As saídas desse processo são coeficientes que representam o sinal erro no domínio da frequência. Essa dimensão e as aproximações inteiras das transformadas diretas e inversas – que evita problemas de descasamento entre o codificador e o decodificador – são inovações inseridas na etapa de transformadas por este padrão. Nos macroblocos em que é realizada a predição intraquadros 16x16, é também aplicada uma transformada Hadamard 4x4 sobre os coeficientes DC dos dezesseis blocos 4x4 de luminância, enquanto que para os blocos de crominância é aplicada uma transformada Hadamard 2x2 sobre os coeficientes DC dos quatro blocos 2x2 de crominância, conforme apresentado pela Figura 2.5.

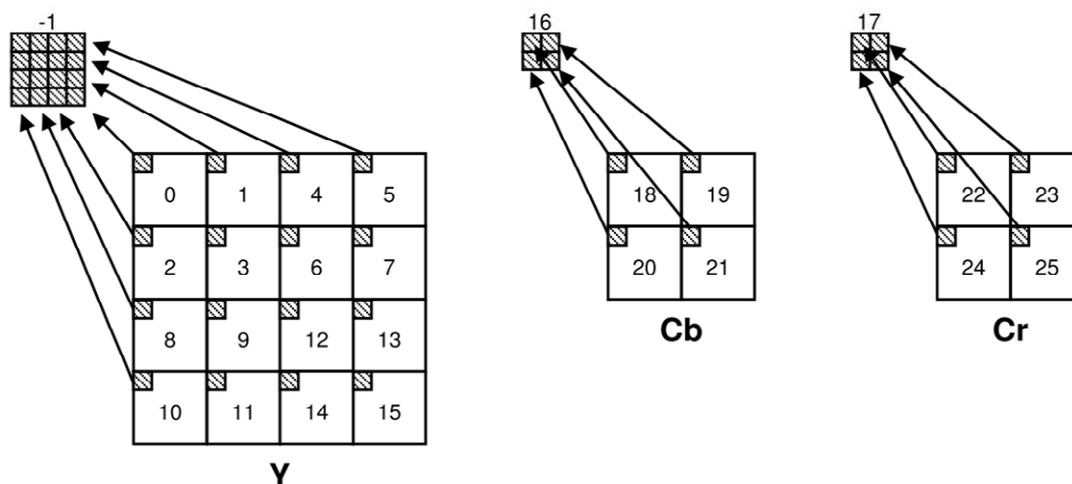


Figura 2.5 – Blocos de coeficientes para aplicação das transformadas. Fonte: (AGOSTINI, 2007).

2.3.3 Quantização

Na etapa de quantização, os coeficientes oriundos da DCT são as entradas. Nestes coeficientes é aplicado um fator de quantização variando a taxa de bits na saída do codificador. O custo direto de diminuir essa taxa de bits é a diminuição da qualidade da imagem. A etapa de quantização é a única ferramenta do padrão que introduz perdas na qualidade da imagem (ZATT, 2008). Este módulo está presente apenas no codificador H.264 e dependendo do modo de predição utilizado, e se o elemento é de crominância ou luminância, os cálculos realizados pelo módulo de quantização são diferentes. Entretanto, de forma geral, as operações realizadas são reduzidas a uma multiplicação da entrada por uma constante, a soma do resultado com outra constante e um deslocamento no resultado da soma controlado por uma terceira constante. Estas constantes são influenciadas diretamente pelo Parâmetro de Quantização (QP – *Quantization Parameter*), que é entrada externa que informa ao módulo qual é o passo de quantização (*Qstep*) que deve ser utilizado. Um QP pode variar de 0 a 51 e para cada

um existe um $Qstep$ associado. Os primeiros seis valores de $Qstep$, relativos aos seis primeiros QP, são definidos pelo padrão como está apresentado pela Tabela 2.1. Os demais podem ser derivados dos seis primeiros, pois o $Qstep$ dobra de valor a cada variação de 6 no QP.

Tabela 2.1 - Relação entre QP e Qstep.

QP	0	1	2	3	4	5	6	...	12
Qstep	0,625	0,6875	0,8125	0,875	1	1,125	1,25	...	2,5

Para elementos de luminância ou crominância que não tenham sido codificados no modo intra-quadro 16x16, ou seja, para os elementos que foram processados no módulo de transformada, a quantização é definida pela Eq. 1.

$$|Z_{(i,j)}| = (|W_{(i,j)}| \cdot MF + f) \gg qbits$$

$$\text{sign}(|Z_{(i,j)}|) = \text{sign}(|W_{(i,j)}|) \quad (1)$$

Na Eq. 1, $W_{(i,j)}$ denota o coeficiente resultado pela DCT, MF denota uma constante produzida a partir do fator de escala e do parâmetro de quantização, enquanto f denota uma constante definida pelo padrão em função da predição ter sido gerada pelo modo inter-quadros ou intra-quadro e do QP utilizado. Por fim, $qbits$ indica o deslocamento que deve ocorrer antes do cálculo ser encerrado. Também é destacado que o sinal do resultado deve ser o mesmo sinal da amostra de entrada e que o cálculo é realizado apenas considerando o módulo da amostra de entrada. O cálculo da constante MF é apresentado na Eq. 2.

$$MF = PF/Qstep \gg qbits \quad (2)$$

Na Eq. 2, PF denota o fator de escala, enquanto $Qstep$ define o passo de quantização e $qbits$ é o mesmo deslocamento apresentado na Eq. 1. O fator de escala PF está de acordo com a posição da amostra no módulo, e são definidos conforme o módulo de transformada. O cálculo de $qbits$ é uma função de QP e é apresentado em Eq. 3.

$$qbits = 15 + [QP/6] \quad (3)$$

Por fim, a constante f é definida em (4).

$$f = 2^{qbits}/6 \quad \text{se predição intra-quadros}$$

$$f = 2^{qbits}/3 \quad \text{se predição inter-quadros} \quad (4)$$

Finalmente, o cálculo para amostras DC de crominância ou para amostras de luminância que foram codificados segundo a predição intra-quadro no modo 16x16 é definida pela Eq. 5 e é similar ao apresentado na Eq. 1, sendo que as constantes MF , $qbits$ e f são definidas de modo idêntico ao descrito pelas Eqs. 2, 3 e 4.

$$|Z_{D(i,j)}| = (|Y_{D(i,j)}| \cdot MF_{(0,0)} + 2f) \gg (qbits+1)$$

$$\text{sign}(|Z_{D(i,j)}|) = \text{sign}(|Y_{D(i,j)}|) \quad (5)$$

2.3.4 Filtro Redutor de Blocagem

A inovação do padrão H.264/AVC frente aos padrões anteriores é que o filtro redutor de blocagem é adaptativo. Assim, ele consegue diferenciar uma aresta real – que não deve ser filtrada – de um artefato gerado por um elevado passo de quantização – que deve ser filtrado. Resumindo, o filtro redutor de blocagem deve ser aplicado em casos que há uma descontinuidade entre os blocos que são grandes o suficiente para ser

vistos e pequeno o suficiente para não caracterizar uma aresta real da imagem. A operação de filtragem é realizada após a transformada inversa, e afeta até três amostras de cada lado na fronteira entre os blocos. A quantidade de filtragem a ser realizada depende da quantização, do modo de decodificação dos blocos vizinhos e do gradiente através da fronteira entre blocos. Ele proporciona um aumento significativo da qualidade subjetiva do vídeo reconstruído, especialmente nos vídeos de baixas taxas de bits.

2.3.5 Codificação de Entropia

O bloco de codificação de entropia é responsável pelo tratamento de redundâncias estatísticas encontradas sob o conjunto de informações produzidas por outras ferramentas aplicadas pelo H.264. Cada uma das ferramentas visa tratar um tipo específico de redundância e ao realizar suas tarefas produzem um conjunto de informações de controle as quais são denominadas de elementos sintáticos (SE). A norma de especificação do padrão H.264 (INTERNATIONAL, 2003) define três métodos básicos para codificação de entropia, Exp-Golomb, CAVLC (Codificação Adaptativa por Códigos de Tamanhos Variáveis) e CABAC (Codificação Aritmética Binária Adaptativa ao Contexto). Destes, destacam-se a CAVLC e o CABAC, que são considerados os principais métodos disponíveis para codificação de entropia (ROSA, 2010).

Considerando a estrutura de organização dos vídeos, nos níveis hierárquicos superiores, os elementos sintáticos são codificados utilizando códigos binários fixos ou de comprimento variável. A partir do nível de *slices* ou abaixo (unidades básicas, macroblocos ou blocos), os SE podem ser codificados com o CABAC ou com CAVLC. A seleção do método de codificação de entropia a ser empregado depende do perfil adotado. No perfil *baseline* e *extended* apenas o CAVLC está disponível. Já no perfil *main* os dois métodos estão disponíveis e a escolha por um deles fica a critério do codificador (ROSA, 2010). Nos casos onde o CAVLC é utilizado como método de codificação de entropia, cabe salientar que apenas os elementos sintáticos (SE – *Syntax Element*) de informação residual quantizados são codificados por esse método, enquanto os demais SEs e parâmetros de compressão são codificados através de Exp-Golomb (SALOMON, 2000).

A principal inovação introduzida na codificação de entropia pelo padrão reside na técnica de codificação adaptativa baseada em contextos, a qual é aplicada tanto no CAVLC quanto no CABAC. Com esta técnica a maneira pelo qual os diferentes SEs são codificados depende dos SEs codificados em passos anteriores e da fase em que o algoritmo de codificação se encontra (RICHARDSON, 2003). Essa possibilidade de adaptação dinâmica das probabilidades de ocorrência do SE à fonte de entrada confere um grande diferencial as técnicas de codificação de entropia aplicadas pelo padrão. A Figura 2.6 ilustra a organização interna do bloco de codificação de entropia com cada um dos seus sub-blocos.

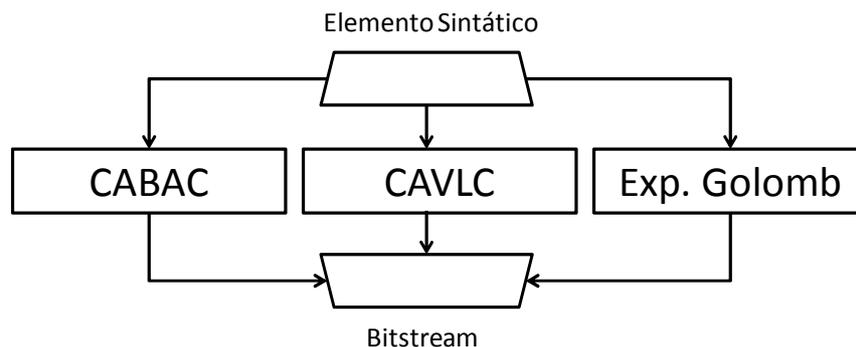


Figura 2.6 – Organização interna do bloco de codificação de entropia conforme padrão H.264/AVC.

2.4 Codificações de Vídeos Multivistas

A codificação de vídeos de múltiplas vistas que seguem o padrão MVC explora redundâncias temporais, espaciais e de disparidade de modo a compor um *bitstream* único de saída integrando todas as vistas do vídeo. O codificador deve reduzir ao máximo o número de bits necessários para sua representação. Neste processo de codificação, uma das vistas é considerada a vista base, sendo a mesma codificada independentemente das demais. Neste caso, o *bitstream* produzido pode ser decodificado por um decodificador H.264/AVC. Entretanto, as demais vistas devem ser codificadas utilizando como referência as demais vistas codificadas (SAMPAIO, 2011).

Existem variadas formas de codificar um vídeo de múltiplas vistas, a maneira mais simples consiste em tratar cada uma das vistas como um vídeo independente, este sistema de codificação é denominado *simulcast*. Neste método, cada *bitstream* produzido por uma vista será armazenado e transmitido simultaneamente, produzindo um volume de dados que é igual à soma do tamanho de cada um dos *bitstream* de cada vista. Considerando efeitos de codificação, este esquema não observa as relações visuais existentes entre as vistas de um dado vídeo, entretanto, as diferentes vistas de um vídeo contêm um alto grau de correlação, visto que representam a mesma cena de diferentes pontos de observação. Sendo que esta correlação entre quadros de diferentes vistas chega a representar até 30% das redundâncias de dados existentes em um vídeo multivistas (MERKLE, 2007).

2.4.1 Estrutura Hierárquica de Bi-Predição

A estrutura utilizada pelos codificadores de vídeo que seguem o padrão H.264 classifica os quadros do vídeo em tipos, de acordo com as predições que são feitas durante a codificação do mesmo. O quadro I é um tipo que é codificado utilizando apenas informações já processadas dentro do mesmo quadro. Os blocos são preditos apenas com a predição intra-quadros (I_PCM). Por sua vez, quadros do tipo P são codificados utilizando predição inter-quadros, usando como referência um quadro I ou P passado ou futuro na ordem de captura, porém passado no processo de codificação. Finalmente, o quadro B é processado utilizando mais de um quadro I, P ou B como referência.

Um GOP é definido como um conjunto de quadros contínuos inseridos no vídeo. Utilizando este conceito, um vídeo pode ser definido como formado por sucessivas instâncias de um GOP. Um GOP é demarcado por quadros distintos, chamados de quadros âncoras. Normalmente estes quadros âncoras são quadros do tipo I ou quadros

do tipo P que utilizam como referências apenas outros quadros âncoras. A codificação de vídeos no padrão H.264/MVC tem uma extrapolação do conceito GOP para a definição de um GGOP. Um GGOP é definido como um grupo de quadros que abrange quadros consecutivos temporalmente, como também os quadros vizinhos de disparidade correlatos das demais vistas. O uso de ambas as informações pela DE é de extrema importância para que se relacione tanto a informação de movimento quanto informação de deslocamento entre as vistas. Internamente a um GOP, os quadros compreendidos entre dois quadros âncoras são chamados de quadros não âncoras. A Figura 2.7 mostra um exemplo de quatro GOPs em um GGOP.

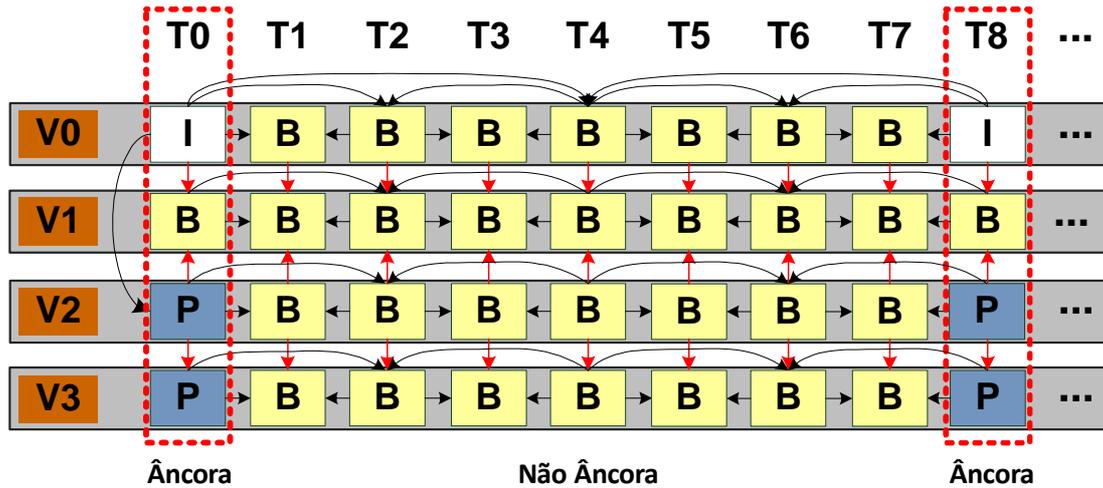


Figura 2.7 – Estrutura Hierárquica de Bi-Predição – HBP.

Os conceitos de GGOP e GOP são importantes para definir a Hierarquia de Bi-Predição (HBP). Neste, um GOP possui referências que são organizadas de maneira hierárquica, ou seja, é possível facilmente identificar níveis de codificação que serão mais profundos ou não de acordo com o tamanho do GOP. A Figura 2.8 apresenta a HBP para um GOP de tamanho 8. As setas indicam o sentido que acontece a referência. A origem da seta representa o quadro de referência enquanto a seta representa o quadro predito. O número de níveis de quadros B na codificação é dado pelo logaritmo do tamanho do GOP. Neste exemplo o número de níveis seria três. Onde inicialmente o primeiro quadro é codificado como quadro I. Posteriormente, seguindo o processo, o quadro 8 é também codificado como I, com os quadros 0 e 8 processados, já se tem referências suficientes para a codificação do primeiro nível de quadros B, composto apenas pelo quadro 4. Com os quadros 0, 4, e 8, o nível 2 de quadros B – quadros 2 e 6 – pode ser processado e assim por diante (MERKLE, 2007).

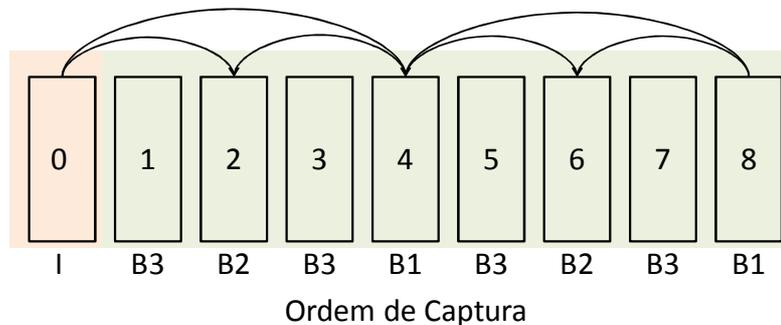


Figura 2.8 – Hierarquia de Quadros B com um GOP.

O uso do GOP e da HBP traz várias vantagens ao processo de codificação, como a possibilidade de um decodificador apenas decodificar os quadros até um determinado nível de quadros B. Por exemplo, um dispositivo embarcado que não necessita uma alta taxa de exibição de quadros pode decodificar um menor número de quadros sem processar o último nível de quadros B. Assim, a taxa de quadros por segundo é reduzida pela metade a cada nível de quadros que não é decodificado. Existem características particulares para cada um dos dois tipos de quadros em um GOP. Considerando estas características é possível fazer um ajuste fino aplicando diferentes técnicas ou parâmetros de codificação para cada um deles. Muitas formas de explorar esta hierarquia podem ser propostas já que esta estrutura não é normatizada, cada um com impactos específicos considerando aspectos de codificação, como maior ou menor perda de qualidade, melhor ou pior eficiência de codificação, entre outros.

O uso das informações de tempo e de disparidade pela DE é de extrema relevância para considerar a informação de movimento em conjunto com a informação de deslocamento entre as vistas. A Figura 2.9 mostra uma série de possibilidades de dependências entre o quadro atual e os quadros vizinhos que podem ser utilizados por ele como referência.

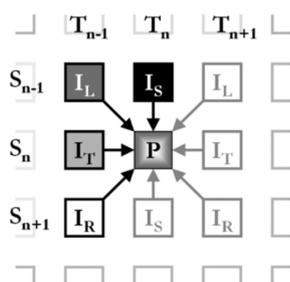


Figura 2.9 – Quadros vizinhos considerados como referência pela DE. Fonte: (MERKLE, 2007).

A Tabela 2.2 mostra os resultados obtidos pelo trabalho de (MERKLE, 2007) onde uma avaliação das escolhas realizadas durante o processo de codificação MVC é realizada (IS, IT, IL e IR). Estes dados demonstram que grande parte das escolhas encontra-se nas referências temporais. Mesmo com baixa taxa de ocorrência, a predição intervistas tem grande impacto no aumento da eficiência de codificação multivista, pois é utilizada quando não é possível encontrar um bom casamento nas referências temporais.

Tabela 2.2 – Análise da correlação temporal e de disparidade. Fonte: (MERKLE, 2007).

Sequência	IT (%)	IS (%)	IL (%)	IR (%)
Ballroom	74,98	12,12	6,86	6,04
Exit	76,96	8,66	7,49	6,9
Uli	93,64	2,23	2,58	2,13
Race1	96,64	1,35	1,06	0,96
Breckdancers	57,95	19,3	12,15	10,6

Vídeos com grandes regiões estáticas (como cenários) tendem a favorecer a predição inter-quadros. Por outro lado, vídeos com alta movimentação dificultam o encontro de

um bom casamento no domínio temporal e utilizam mais frequentemente a predição intervistas. Esse comportamento é verificado pelos resultados da Tabela 2.2 onde sequências de alta movimentação (*Breakdancers* e *Ballroom*). Os resultados demonstram que o uso de referências do tipo IS são aquelas com maior utilização no processo de codificação. Por esta razão, as estruturas de predição intervistas assumem que este utilize apenas quadros do tipo IS como referência.

2.5 Transmissão e Armazenamento

O aprimoramento de tecnologias de captura e de exibição de imagens e o desenvolvimento de técnicas de codificação de vídeos de múltiplas vistas tal como o MVC têm sido uma grande alavanca para que aplicações 3D se tornem uma realidade. Entretanto, a maior parte dos vídeos de testes para o padrão MVC é de resolução VGA (640x480 pixels), e formadas por oito vistas. Um quadro VGA é representado, considerando o formato 4:2:0, por 460.800 amostras divididas em 1.200 blocos 16x16.

A Figura 2.10 apresenta um cenário de transmissão com distintas aplicações finais utilizando um mesmo canal de comunicação e fazendo o uso dele de acordo com suas necessidades. A base de todo o sistema consiste em um vídeo de múltiplas vistas. Do lado do servidor, o vídeo é codificado e as múltiplas vistas são reunidas em um único bitstream, o qual é transmitido por meio de uma infraestrutura de rede. Do lado da aplicação, cada ponto final de recepção pode optar pelo número de vistas a serem decodificadas.

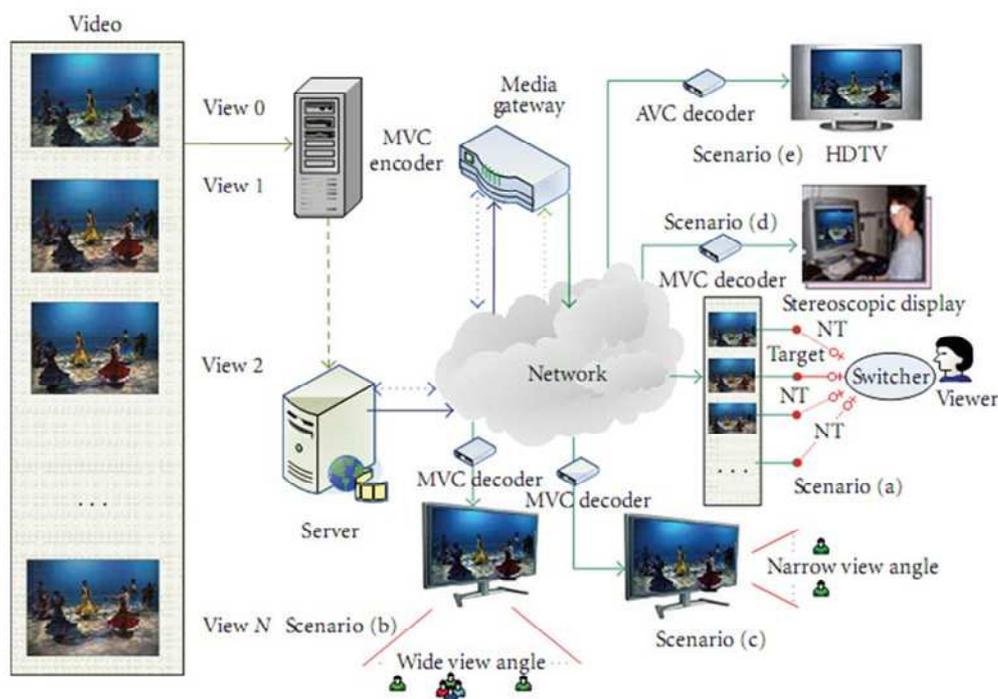


Figura 2.10 – Sistema de transmissão de vídeos de múltiplas vistas. Fonte: (CHEN, 2009).

Uma vez que um dos requisitos da codificação MVC é a manutenção da compatibilidade da compressão de uma das vistas (vista base) com a codificação H.264/AVC usual, pode-se decidir por uma simples decodificação da vista base como se fora um vídeo de vista única. Para aplicações que façam o uso de mais de uma vista para a exibição, um decodificador MVC é utilizado para a decodificação das vistas

disponíveis no bitstream (SAMPAIO 2011). É possível separar as aplicações de múltiplas vistas em três grupos, *Three Dimensional Television*, *Free Viewpoint Television* e *TV Wide View* (CHEN, 2009). Cada uma das aplicações tem seus desafios e características específicas.

TV Wide View

Conceito de televisão panorâmica que aproveita as várias vistas de uma maneira diferenciada se valendo de uma disposição linear das câmeras. Aplicações deste tipo agrupam os quadros capturados no mesmo instante de modo a estender a resolução do quadro em uma das direções: vertical ou horizontal. Nesta aplicação o usuário tem uma visão mais ampla da cena de modo que possa ter a percepção de um contexto maior, mas ainda está associado ao conceito de vídeo bidimensional.

Three Dimensional Television (3DTV)

Este conceito faz referência à extensão das tradicionais televisões com a possibilidade de exibição 3D (SMOLIC, 2007). Nestas aplicações duas ou mais vistas são decodificadas e exibidas simultaneamente. Um tipo já comum de Televisão 3D existente há algum tempo é aquela que tem como base vídeos estereoscópicos os quais têm relação com a vista humana com a representação de uma cena a partir de dois pontos de observação, explorando o sistema *parallax* através do uso de óculos polarizados (TRUCCO, 1998). Existem ainda aplicações auto-estereoscópicas que eliminam a necessidade de óculos auxiliares (DODGSON, 2005). Recentemente, estão sendo desenvolvidos displays com suporte a mais de duas vistas, permitindo o *head parallax*, associando ao movimento da cabeça do observador. O observador terá diferentes pontos de vista de acordo com o movimento da cabeça.

Free Viewpoint Television (FVT)

Nestas aplicações o usuário pode escolher um ponto de vista qualquer do vídeo 3D de modo a ter a visão da cena a partir de diferentes perspectivas (POURAZAD 2009). A FVT junta realismo com interatividade, onde o usuário pode navegar livremente buscando os melhores ângulos de vista da cena. A FVT é a extensão do conceito de 3DTV com múltiplas vistas, embora seja possível exibição FVT em apenas duas dimensões. Em um sistema FVT é necessária a geração de *view points* intermediários às vistas codificadas, de forma a permitir ao observador uma navegação suave pela cena. Desta forma, espera-se que no futuro sejam disponíveis sistemas com suporte a um grande número de vistas – na ordem de centenas.

2.6 Atuação do Controle de Taxa

Um algoritmo de controle de taxa tem por objetivo ajustar dinamicamente parâmetros do codificador para atingir uma taxa de bits de saída alvo. A tarefa principal do bloco de controle de taxa é de alocar uma quantidade de bits para cada grupo de imagens, quadro individual e/ou unidade básica. O bloco de controle de taxa não está definido como parte do padrão H.264/AVC – visto que este faz parte do codificador – enquanto o padrão define o decodificador. Entretanto, o JVT emitiu uma série de documentos orientando o desenvolvimento para a aplicação de controle de taxa (LI, 2003), incluindo em seu software de referência, o JM (SUHRING, 2011). Ao emitir estes documentos o JVT teve o objetivo de oferecer uma compreensão básica sobre a importância do controle de taxa dentro do codificador além de disponibilizar um

framework comum com terminologias para que outros esquemas de controle de taxas de outros grupos e padrões possam mais facilmente ser entendidos e comparados.

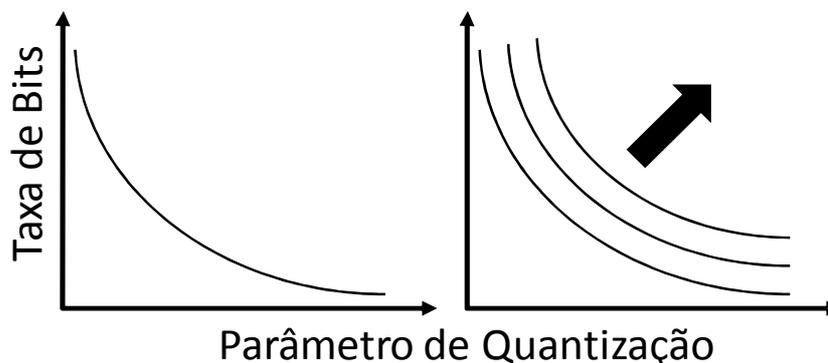


Figura 2.11 – (a) aumento da distorção gera diminuição da qualidade. (b) variação de acordo com o aumento da complexidade pela fonte.

Esquemas de codificação de vídeo baseados em blocos híbridos como MPEG-2 e a família H.26* são inerentemente processos com perdas. Estes codificadores atingem compressão não apenas por remover informações realmente redundantes do *bitstream*, mas também por inserir uma determinada perda de qualidade que seja minimamente perceptível pelo espectador. O parâmetro responsável por determinar a quantidade de perda inserida é o QP, em outras palavras, ele regula qual será o nível perceptível de qualidade visual que será salvo no quadro. Quando um QP for muito baixo a maioria dos detalhes serão perceptíveis. Entretanto, quando o QP for ampliado, alguns detalhes serão perdidos ao passo que a taxa de bits diminuirá (ao preço de aumento da distorção e alguma perda de qualidade visual). A Figura 2.11 (a) sugere o relacionamento para um quadro de entrada percebe-se que ao aumentar o QP, a taxa de bits diminui, entretanto a distorção aumentará. A Figura 2.11 (b) sugere que a fonte de complexidade varia durante uma sequência movendo-se de uma curva para outra.

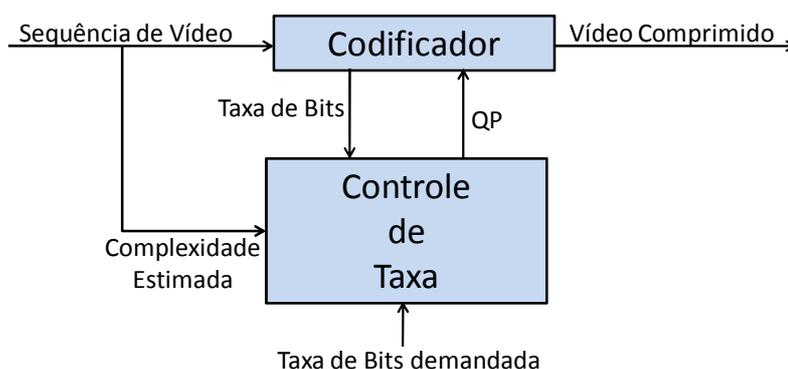


Figura 2.12 – Controle de Taxa e o Codificador.

A Figura 2.12 ilustra uma operação de codificação de vídeo com um controle de taxa inserido. O controle de taxa pode ser classificado em duas categorias de aplicação: a) Taxa de Bits variável (VBR) e b) Taxa de Bits constante (CBR). No processo de VBR, o bloco de controle terá duas entradas - o vídeo original e o valor de QP. Neste processo, com o progresso da sequência na entrada, a saída do vídeo terá uma qualidade bastante constante, entretanto a taxa de bits pode variar drasticamente. Devido a alta variação da complexidade entre imagens dentro de uma sequência de vídeo, escolher um QP adequado para esta não é uma tarefa simples. Por exemplo: Se você fixar um QP para uma sequência baseado na constatação de possuir pouca movimentação e com

áreas uniformes, ao entrar em uma cena com maior complexidade (maior movimentação) a taxa de bits aumentará drasticamente.

De fato, as restrições são impostas pelo decodificador tal como tamanho do buffer e a largura de banda. Estas restrições acabam por forçar a codificação de vídeo com taxa de bits mais próximo do constante. Para tentar atingir uma taxa de bits constante o codificador deve variar dinamicamente o QP baseado na estimação da complexidade do vídeo de entrada, assim cada quadro (ou grupo de quadros) será alocado a uma determinada quantidade de bits desejada. Nesta atuação o usuário não informará o QP como entrada, mas sim o limite da taxa de bits do canal de transmissão.

Neste aspecto o JVT concentrou esforços no modelo VBR, mesmo que o esquema CBR tenha obtido performances igualmente boas. Um *buffer* virtual é utilizado no esquema para ajudar o ajuste do processo e codificação de acordo com a dinâmica da largura de banda do canal. Este buffer não sofre com *underflow* ou *overflow*. Como o modelo de controle de taxa proposto é semelhante ao modelo *leaky bucket*, ele está de acordo com o decodificador hipotético de referência (HRD) (LI, 2003).

3 CONTROLE DE TAXA

Neste capítulo serão abordados os principais desafios encontrados no desenvolvimento de um esquema de controle de taxa para codificadores de vídeos. Um pequeno histórico dos controladores desenvolvidos para os padrões de codificação de vídeo recentes serão apresentados e discutidos. Adicionalmente, será abordado de forma mais detalhada o esquema de controle de taxa recomendado pelo padrão H.264.

3.1 Controle de Taxa na Codificação de Vídeo

Um codificador de vídeo utiliza o Bloco de Controle de Taxa como forma de regular a variação das características do *bitrate* através da variação da taxa de bits no *bitstream*, a fim de obter a mais alta qualidade de codificação em uma determinada taxa de bits. Portanto, o controle da taxa é um desafio importante dentro de um codificador de vídeo e têm sido amplamente estudado em padrões de codificação de vídeo tal como MPEG-2, MPEG-4, H.263 e H.264. Nas linhas que decorrem este texto eles serão abordados e descritos para melhor entendimento das escolhas feitas neste trabalho.

3.1.1 Estrutura

A Figura 3.1 apresenta os elementos de um controlador de taxa genérico baseado na descrição de um decodificador hipotético de referência e suas interações com o codificador e com o usuário. Desta forma, o modelo é dividido em três estágios. (i) Primeiro é apresentada uma Interface do Codificador, no qual, encontram-se os *Bits Atuais* que podem ser distinguidos em *Bits Totais*, que são entradas para o *Buffer Virtual* e os *Bits Residuais*, que são entradas para o modelo de *Taxa-Quantização*. Como saída, é dado o QP. Do outro lado do bloco, na (ii) Interface do Usuário, são definidos a capacidade do Buffer, sua ocupação inicial e o *bitrate* demandado. (iii) O esquema de Controle de Taxa tem em seu foco sete módulos teóricos que são descritos como segue:

- a) Inicializador de QP – Define como saída o parâmetro de quantização inicial para quadros do tipo I, e primeiro quadro do tipo P;
- b) Limitador ΔQP – É o bloco que define o QP que será utilizado pela unidade básica (BU – *Basic Unit*) Atual. Recebe como entrada a Demanda de QP e o QP inicial e a partir destes e do limite pré-definido de variação, calcula a saída;
- c) Modelo Taxa-Quantização – Este é o bloco mais complexo computacionalmente. A partir dos Bits Residuais, dos Bits Alvos alocados no módulo alocador de Bits de BUs e da Média das Diferenças Absolutas

(MAD) gerada pelo estimador de complexidade, é calculada a demanda de QP;

- d) Estimador de complexidade – Este bloco recebe como entrada os Resíduos da unidade básica e a partir dela, calcula a média das diferenças absolutas;
- e) Modelo de Buffer Virtual – Este bloco tem por função repassar os Bits a serem alocados assim que for demandado;
- f) Alocador de Bits de GOPs – A partir do *bitrate* demandado e dos dados recebidos do *buffer*, gera os bits alvos do GOP (*Group of Picture*) que serão alocados de acordo com cada BU;
- g) Alocador de Bits de BUs – A partir dos dados recebidos do buffer e dos bits alvos do GOP, calcula os Bits Alvos a serem passados para o bloco de quantização.

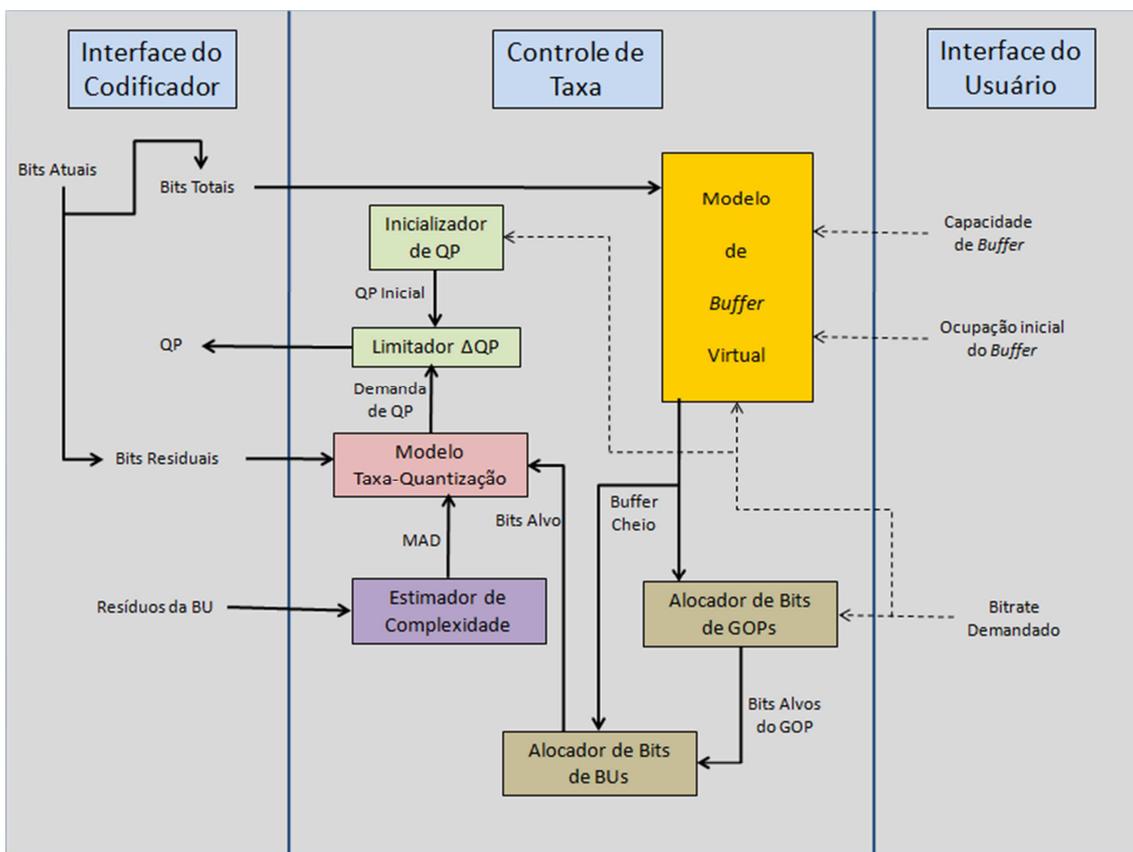


Figura 3.1 – Núcleo de um controle de taxa e suas interfaces.

3.1.2 Histórico

Dentre os modelos de controle de taxas recentes, o primeiro a destacar-se foi o apresentado pela ISO/IEC para o padrão MPEG-2, o *Test Model Number 5* (TMN-5) (ITU-T, 1995). Este esquema de controle de taxa (RC) basicamente consiste em três passos definidos: alocação de bits, controle de taxa e modulação. Entretanto, este apresenta dois problemas inerentes. Primeiramente, o QP para um MB é totalmente dependente da quantidade de bits utilizada pelo buffer. Assim, macroblocos de uma imagem serão tratados de formas diferentes de acordo com as variações no buffer, resultando na não uniformidade da qualidade do quadro. Em segundo lugar, o algoritmo do TMN-5 não lida com mudanças de cenas propriamente, pois o alvo da taxa de bits de

uma imagem é determinado apenas nas informações obtidas através da última imagem codificada. Outro esquema de controle de taxa relevante utilizado pelo padrão MPEG-4 é o *Verification Model 7 (VM7)* (CHIANG, 1997). Neste esquema, o controle de taxa é implementado tanto na camada de quadros quanto na de macroblocos onde um modelo de taxa-distorção de segunda ordem é aplicado para alocação da taxa de bits. Este é o primeiro modelo a adotar análise de regressão linear para garantir a precisão do controle e a suavidade da saída no *bitstream*. Finalmente o modelo *Test Model Number 8 (TMN-8)* (CORBERA, 1999) adotou técnicas de baixo *atraso* afim de evitar *underflow* a medida que ocorrer um *frame skip*.

O modelo de controle de taxa recomendado pelo padrão H.264 possui características que o diferenciam dos modelos adotados pelos padrões anteriores, as principais incluem a possibilidade de uma unidade básica variar de tamanho desde um MB até um quadro, algo que não é possível para o controle TMN-8, neste, as diferenças entre quadros I, P e B acontecem na atribuição dos bits alvos, ademais, são tratados de forma semelhante. Além destas, há uma singular diferença entre o bloco de controle de taxa do padrão H.264 frente aos apresentados, a utilização do QP para o bloco de RDO, o que resulta em um dilema quando o controle de taxa é estudado: para efetuar a otimização taxa-distorção para macroblocos do quadro atual, um QP deve ser previamente determinado para cada macrobloco utilizando a MAD do quadro atual ou do MB. Entretanto a MAD do MB ou do quadro atual só será disponibilizada após efetuar a RDO. Para a solução deste problema, a predição de uma MAD ou de um determinado QP deve ser efetuada. Neste caso, a maneira e a precisão com que a predição ocorre determinará a efetividade do controlador de taxa.

O dilema envolvendo o RC e o RDO é resolvido da seguinte forma: a taxa de bits alvo para o quadro atual é calculada a partir de: (i) modelo "*leaky bucket*" (LI, 2003); (ii) a teoria linear de rastreamento (CHEN, 1984); (iii) taxa de quadros pré-definidos; (iv) capacidade do buffer atual; (v) nível do buffer de destino e, (vi) largura de banda disponível. Os bits restantes são alocados nas BUs não codificadas do quadro atual, pois as MADs das BUs não codificadas são igualmente desconhecidas. Desta forma, o MAD da BU é predita através do modelo linear (CHEN, 1984) utilizando o MAD atual da BU na posição referente do quadro anterior. Um modelo quadrático de taxa distorção é utilizado para calculo do QP correspondente, que é então utilizado para a RDO de cada MB na BU atual (PURI, 2004). A ordem que o processo é executado é descrito pela Figura 3.2.



Figura 3.2 – Etapas do processo de execução de um controle de taxa.

Considerando que os parâmetros de quantização são estabelecidos tanto para RC quanto para RDO, salienta-se um problema a ser enfrentado quando da comunicação destes módulos. Este desafio consiste em efetuar a RDO para um MB, onde um QP deve ser previamente determinado utilizando a MAD do MB. Entretanto, a MAD do MB só estará disponível após a execução da RDO. Além disso, deve-se calcular um *bitrate* alvo para o MB atual e determinar o número de MB contíguos que compartilharão o mesmo QP (JIANG, 2006). De modo a resolver os problemas mencionados, será apresentado nas seções subsequentes o modelo de fluxo de tráfego, introduzindo como é realizado o cálculo do número total de bits e a definição do QP inicial para cada GOP, quadro e MB no modelo do padrão H.264.

3.2 Camadas de Atuação

Um esquema de controle de taxa é composto por pelo menos duas camadas de atuação: camada de GOP e camada de quadros. Outra camada comumente encontrada é a de BU, que determina um parâmetro de quantização para uma unidade básica, que pode variar de tamanho, tendo no mínimo o tamanho de um MB e no máximo o tamanho da resolução do quadro. Considerando vídeos de múltiplas vistas – foco deste trabalho – é também considerada a camada de GGOP, que é inserida de forma inerente ao processo de controle. Estas camadas definem o nível de atuação do controle e serão apresentadas em detalhes nas seções subsequentes.

3.2.1 Camada de GOP

Nesta camada, independente das características do vídeo a ser codificado (vista única, escalável ou múltiplas vistas), há duas tarefas básicas, primeiramente, computar o número total de bits restantes para todos os quadros não codificados em cada GOP (Alocação de Bits) e por fim determinar o QP inicial do mesmo. Considerando vídeos de múltiplas vistas os conceitos desta camada de GOP são extrapolados para a camada de GGOP.

Alocação de Bits:

Ao início do processamento de um i -ésimo GOP, o número total de bits alocados para o mesmo deve ser calculado como segue:

$$T_r = \frac{C_b}{F_r} * N_{gop} - (B_o) \quad (6)$$

Onde T_r denota o total de bits alocado pelo GOP, enquanto C_b denota a largura de banda disponível pelo canal de comunicação e F_r a taxa de quadros por segundos do vídeo a ser codificado. N_{gop} e B_o denotam respectivamente o número do GOP na sequência de codificação e a ocupação atual do *buffer*. Assim mostra-se através de (7) que os resultados da codificação do último GOP dependem dos GOPs anteriores. Para assegurar que todos os GGOPs possuam uma qualidade uniforme, cada GGOP deve usar sua própria predição. Em outras palavras, a capacidade do *buffer* deve ser mantida uniforme após a codificação de cada GOP. Uma vez que a largura de banda do canal pode variar a qualquer momento, T_r , deve ser atualizado quadro a quadro tal como:

$$T_r = T_{r-1} + \frac{u(n_{i,j}) - u(n_{i,j-1})}{F_r} (N_{gop} - j) - A(n_{i,j-1}) \quad (7)$$

Em caso de CBR, por ex. $u(n_{i,j}) = u(n_{i,j-1})$, A Eq. 7 é simplificada como:

$$T_r(n_{i,j}) = T_r(n_{i,j-1}) - A(n_{i,j-1}) \quad (8)$$

Em outras palavras, a Eq. 7 é também aplicável em caso de CBR.

Determinação do QP

Para o QP do primeiro GOP deve ser predefinido um QP_0 . O quadro I e o primeiro quadro P do GOP são codificados com QP_0 . Este é predefinido baseado na largura de banda disponível pelo canal e no comprimento do GOP. Normalmente um QP_0 baixo

será escolhido se a disponibilidade da largura de banda do canal for alta, e um QP_0 alto será escolhido caso contrário. No esquema de controle de taxa recomendado para o padrão H.264/AVC, sobre a mesma largura de banda, QP_0 reduz em 1 se o comprimento do GOP aumentar em 15.

Desta forma o QP inicial dos outros GOPs (QP_{st}) é definido por:

$$QP_{st} = \frac{Sum_{PQP}}{N_p} - 1 - \frac{8T_{r-1}}{T_r} - \frac{N_{gop}}{15} \quad (9)$$

onde N_p é o número total de quadros P no GOP anterior e Sum_{PQP} denota a soma dos QPs de todos os quadros P do GOP anterior. Assim como QP_0 , QP_{st} é adaptado ao comprimento do GOP e a largura de banda do canal. O quadro I e o primeiro quadro P são codificados utilizando o QP_{st} .

3.2.2 Camada de Quadros

O esquema da camada de quadro do controle de taxa é dividido em dois estágios: pré-codificação e pós-codificação. No primeiro estágio, serão calculados os QPs para todos os quadros. Primeiramente será demonstrado método utilizado pelo software de referência JM (SUHRING, 2011) para o cálculo do QP de quadros B, e, em seguida para quadros P.

Cálculo de QP para quadros B:

Desde que o quadro B não seja utilizado para prever nenhum outro quadro, o QP pode ser mais significativo que os seus adjacentes quadros I e P de tal forma que os bits podem ser guardados para quadros I e P. Por outro lado para manter a suavidade da qualidade visual, a diferença de QP entre dois quadros adjacentes não deverá ser maior que 2 (LI, 2003). Baseado em observação, o QP de quadros B são obtidos através da interpolação linear dos seguintes métodos:

Caso o número de quadros B sucessivamente entre quadros P seja L e o QP para os quadros P na ordem de codificação seja QP_1 e QP_2 , respectivamente. O QP do i-ésimo quadro B é calculado de acordo com o seguinte caso:

Se $L=1$ – há apenas um quadro B entre quadros P. O QP é calculado tal como:

$$Q\tilde{B}_1 = \begin{cases} \frac{QP_1 + QP_2 + 2}{2} & \text{se } QP_1 \neq QP_2 \\ QP_1 + 2 & \text{em outro caso} \end{cases} \quad (10)$$

Se $L>1$ – há mais de um quadro B entre dois quadros P. O QP é calculado tal como:

$$Q\tilde{B}_i = QP_1 + \alpha + \max\left\{\min\left\{\frac{(QP_2 - QP_1)}{L-1}, 2(i-1)\right\}, -2(i-1)\right\} \quad (11)$$

onde α é a diferença entre o QP do primeiro quadro B e QP_1 , é dado por

$$\alpha = \begin{cases} -3 & QP_2 - QP_1 \leq -2L - 3 \\ -2 & QP_2 - QP_1 = -2L - 2 \\ -1 & QP_2 - QP_1 = -2L - 1 \\ 0 & QP_2 - QP_1 = -2L \\ 1 & QP_2 - QP_1 = -2L + 1 \\ 2 & \text{Outro} \end{cases} \quad (12)$$

O caso em que $QP_2 - QP_1 < -2L + 1$ só ocorrerá no instante em que a sequência de vídeo trocar de um GOP para outro.

O parâmetro de quantização final QB_i é adicionalmente ajustado por:

$$QB_i = \min\{\max\{Q\tilde{B}_i, 1\}, 51\} \quad (13)$$

Cálculo de QP para quadros P:

O QP para quadros P é calculado através da determinação dos bits alvos para cada quadro P.

Primeiramente ocorre um controle macroscópico, onde ocorre a alocação entre quadros (LI, 2003). A alocação de bits é executada através da predefinição do nível de buffer alvo para cada quadro P. A função do nível de buffer alvo é computar o bit alvo para cada quadro P, que então serão utilizados para calcular o QP. Uma vez que o QP do primeiro quadro P é dado na camada GOP, será necessário definir o nível de buffer alvo para outro quadro P em cada GOP. Após a codificação do primeiro quadro P no i -ésimo GOP, o valor do nível de buffer alvo será recalculado como:

$$T_{bl}(n_{i,2}) = B_o \quad (14)$$

onde B_o é a ocupação atual do buffer após a codificação do primeiro quadro P no i -ésimo GOP. Já o nível de buffer alvo para os quadros P subsequentes é determinado por:

$$T_{bl}(n_{i,j+1}) = T_{bl}(n_{i,j}) - \frac{T_{bl}(n_{i,2}) - B_s / 8}{N_p - 1} + \frac{\tilde{W}_p(n_{i,j})(L+1)u(n_{i,j})}{F_r(\tilde{W}_p(n_{i,j}) + \tilde{W}_b(n_{i,j})L)} - \frac{u(n_{i,j})}{F_r} \quad (15)$$

onde, W_p denota a média da carga de complexidade dos quadros P, W_b é análogo para quadros B, e T_{bl} é o nível de buffer alvo. W_p e W_b são calculados por:

$$\begin{aligned} \tilde{W}_p(n_{i,j}) &= \frac{W_p(n_{i,j})}{8} + \frac{7 * \tilde{W}_p(n_{i,j-1})}{8} \\ \tilde{W}_b(n_{i,j}) &= \frac{W_b(n_{i,j})}{8} + \frac{7 * \tilde{W}_b(n_{i,j-1})}{8} \\ W_p(n_{i,j}) &= S_p(n_{i,j})Q_p(n_{i,j}) \\ W_b(n_{i,j}) &= \frac{S_b(n_{i,j})Q_b(n_{i,j})}{1.3636} \end{aligned} \quad (16)$$

S_p e S_b são o número de bits gerados pela codificação para os correspondentes quadros, e Q_p e Q_b são os correspondentes QPs. No caso de não haver quadro B entre quadros P, A Eq. (15) é simplificada para:

$$T_{bl}(n_{i,j+1}) = T_{bl}(n_{i,j}) - \frac{T_{bl}(n_{i,2}) - B_s / 8}{N_p - 1} \quad (17)$$

Isto mostra que T_{bl} depende de $B_s/8$. Portanto, o volume do buffer atual será exatamente o mesmo que o nível de buffer alvo predefinido. Dessa forma é assegurado que cada GOP está usando seu próprio espaço. No entanto, dado que o modelo R-D e o modelo de predição MAD não são precisos, ou seja, existem diferenças entre o nível do buffer atual e o nível de buffer alvo. É necessário, portanto, calcular o número de bits alvo para cada quadro para reduzir a diferença entre o nível do buffer atual e o nível de buffer alvo. Isto é obtido através do controle microscópico descrito a seguir.

No controle microscópico onde se dá o cálculo da taxa de bits alvo. Usando a teoria do rastreamento linear, os bits alvo alocados para o j -ésimo quadro no i -ésimo GOP é determinado baseado no nível de buffer alvo, controle do quadro, largura de banda disponível no canal e volume atual do buffer, como a seguir:

$$\tilde{f}(n_{i,j}) = \frac{u(n_{i,j})}{F_r} + \gamma(T_{bl}(n_{i,j}) - B_c(n_{i,j})) \quad (18)$$

Onde γ é uma constante e seu valor é tipicamente 0,75 quando não há quadros B e 0,25 em caso contrário. Se o número de bits gerados for próximo do alvo, é fácil demonstrar que:

$$B_c(n_{i,j+1}) - T_{bl}(n_{i,j+1}) \approx (1 - \gamma)(B_c(n_{i,j}) - T_{bl}(n_{i,j})) \quad (19)$$

Então, uma regulação de buffer mais eficiente pode ser alcançada através da escolha de um γ maior. Entretanto, o número de bits restantes também deve ser considerado quando o número de bits alvo é calculado.

$$\hat{f}(n_{i,j}) = \frac{W_p(n_{i,j-1})T_r(n_{i,j})}{W_p(n_{i,j-1})N_{p,r}(j-1) + W_b(n_{i,j-1})N_{b,r}(j-1)} \quad (20)$$

O número de bits alvo é uma combinação ponderada de $\tilde{f}(n_{i,j})$ e $\hat{f}(n_{i,j})$:

$$f(n_{i,j}) = \beta * \hat{f}(n_{i,j}) + (1 - \beta) * \tilde{f}(n_{i,j}) \quad (21)$$

em que β é uma constante e seu valor típico é 0,5 quando não há quadros B e 0,9 caso contrário.

Por fim, deve-se calcular o QP e efetuar a RDO. Para isso, a MAD do quadro P atual é predita pela Eq. 20 usufruindo do MAD do quadro P anterior. O parâmetro de quantização Q_{pc} corresponde ao bit alvo que será computado usando o modelo quadrático referenciado em (LEE, 2000). Para manter a suavidade da qualidade visual entre os quadros sucessivos, o parâmetro de quantização Q_{pc} é ajustado pela Eq. 22.

$$\tilde{Q}_{pc} = \min\{Q_{pp} + 2, \max\{Q_{pp} - 2, \hat{Q}_{pc}\}\} \quad (22)$$

onde Q_{pp} é o parâmetro de quantização do quadro P anterior. O parâmetro de quantização final Q_{pc} é ainda mais limitado por:

$$Q_{pc} = \min\{51, \max\{\tilde{Q}_{pc}, 1\}\} \quad (23)$$

O parâmetro de quantização é então usado para efetuar a RDO para cada MB do quadro atual utilizando os métodos descritos em (JVT, 2002) e (WIEGAND, 2001). O modo de codificação D é selecionado através da minimização do índice de desempenho a seguir:

$$D(s, c, MODE | QP) + \lambda_{\text{mode}} R(s, c, MODE | QP) \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{mode}} &= 0.85 \times 2^{QP/3}, & \text{para imagens I, P;} \\ \lambda_{\text{mode}} &= 4 \times 0.85 \times 2^{QP/3}, & \text{para imagens B.} \end{aligned} \quad (25)$$

Se o quadro for do tipo P ou B e o SAD é adotado como critério, o lambda na estimativa de movimento se dá por:

$$\lambda_{\text{motion}} = \sqrt{\lambda_{\text{mode}}} \quad (26)$$

No estágio pós-codificação existem três tarefas a serem realizadas: atualização de parâmetros a_1 e a_2 da Eq. 5, determinar os QPs do modelo quadrático R-D, e determinar o número de quadros ou blocos necessários a serem ignorados (*skip*). Após codificar uma imagem, os parâmetros da Eq. 5, bem como do modelo quadrático R-D são atualizados. No modelo de controle de taxa recomendado pelo padrão H.264, um método similar ao modelo R-D em (LEE, 2000) e (VETRO, 1999) é utilizado, onde um tamanho de janela é calculado utilizando um método mostrado em (LI, 2002) ao invés do utilizado em (LEE, 2000) e (VETRO, 1999).

Após codificar um quadro, os bits A são gerados de fato e são adicionados ao nível do *buffer*. Para garantir que a capacidade do *buffer* atualizada não seja tão alta, o parâmetro de *skip* do quadro N_{post} é zerado e aumentado até que as condições de buffer abaixo estejam satisfeitas:

$$B_c(n_{i,j+N_{\text{post}}}) < B_s * 0.8 \quad (27)$$

onde a capacidade do *buffer* é atualizada através de:

$$B_c(n_{i,j+l+1}) = B_c(n_{i,j+l}) - u(n_{i,j+l}) / F_r; 1 \leq l < N_{\text{post}} \quad (28)$$

3.2.3 Camada de Unidades Básicas

Para modelos regulares de controle de taxa, se a BU não é selecionada como um quadro, uma camada de BU adicional será incluída no esquema. Assim como na camada de quadros do controle de taxa, os quadros I são codificados por um QP único. Ele é calculado da mesma forma que na camada de quadros. Os quadros do tipo B também são codificados por QP único. Este é calculado semelhante ao da camada de quadro desde que QP_1 e QP_2 sejam substituídos pela média de valores de QPs de todas as BUs do quadro correspondente.

Assim como na camada de quadros, primeiramente o número de bits alvo é determinado para cada quadro P. Para descobrir as MADs das unidades básicas ainda não codificadas, são alocados os bits restantes para todas as BUs não codificadas do quadro atual igualmente. A camada de BU de RC seleciona os valores de QP de todas as BUs de um quadro, então a soma dos bits gerados é fechada para o alvo do quadro f . Seis passos descrevem as tarefas inerentes a camada de unidades básicas.

Passo 1: Computar o número de bits destinados para textura R_t para a BU atual.

Para este cálculo, deve-se primeiro computar o número de bits alvo para BU atual e também computar a média de bits de cabeçalho gerados para codificar todas BUs. O cálculo do número de bits alvo para a BU deve-se considerar que f_{rb} e N_{ub} denotam os números de bits restantes para todas as BUs não codificadas no quadro atual e o número de BUs não codificadas respectivamente, os valores iniciais de f_{rb} e N_{ub} são f e N_{unit} respectivamente. O número de bits alvo para a BU atual é dado por f_{rb}/N_{ub} .

O cálculo da média de bits de cabeçalho gerados para codificar todas BUs é apresentado na Eq. 29.

$$\begin{aligned}\tilde{m}_{hdr,l} &= \tilde{m}_{hdr,l-1} \left(1 - \frac{1}{l}\right) + \frac{\hat{m}_{hdr,l}}{l} \\ m_{hdr} &= \tilde{m}_{hdr,l} \frac{l}{N_{unit}} + m_{hdr,1} \left(1 - \frac{l}{N_{unit}}\right)\end{aligned}\quad (29)$$

onde m_{hdr} é o número real de bits de cabeçalho gerados para BU l -ésima no quadro atual, $m_{hdr,l}$ é a estimacão de todas as BUs do quadro anterior. Após estas duas etapas, computa-se o número de bits de textura R_l como descrito pela Eq. 30.

$$R_{t,l} = \frac{f_{rb}}{N_{ub}} - m_{hdr}\quad (30)$$

Passo 2: Predizer o MAD da BU atual do quadro atual através da Eq. 5 utilizando a MAD real da BU que está na mesma posição do quadro anterior.

Passo 3: Calcular o QP da BU atual utilizando o modelo quadrático R-D. Para tal cálculo, é necessário considerar três casos. Primeiramente caso a BU seja a primeira do quadro atual. Dessa forma, deve-se considerar $Q_{cb} = Q_{apf}$ onde Q_{apf} é a média dos QPs de todas as BUs do quadro anterior. Outro caso é se $f_{rb} < 0$, neste caso o QP será maior que o da BU anterior, tal que a soma dos bits gerados é determinada por f .

$$\hat{Q}_{cb} = Q_{pb} + DQuant\quad (31)$$

onde Q_{pb} é o QP da BU anterior. Para redução de efeitos de bloco, $DQuant$ é 1 se N_{unit} é maior que 8, e 2 caso contrário. Para manter a suavidade da qualidade visual, o QP é delimitado por:

$$Q_{cb} = \max\{1, Q_{apf} - \Delta, \min\{51, Q_{apf} + \Delta, \hat{Q}_{cb}\}\}\quad (32)$$

onde Δ é 3 se N_{mbunit} é menor que o que o número total de MBs na linha, e 6 caso contrário.

Finalmente há o caso base, onde será primeiramente calculado o parâmetro de quantização Q_{cb} utilizando o modelo quadrático. Similar ao segundo caso, é dado:

$$\tilde{Q}_{cb} = \max\{Q_{pb} - DQuant, \min\{\hat{Q}_{cb}, Q_{pb} + DQuant\}\}\quad (33)$$

com o objetivo de reduzir os efeitos de bloco. Entretanto para manter a suavidade da qualidade visual, as seguintes delimitações são impostas:

$$Q_{cb} = \max\{1, Q_{apf} - \Delta, \min\{51, Q_{apf} + \Delta, \tilde{Q}_{cb}\}\}\quad (34)$$

Passo 4: Efetuar RDO para todos MBs da BU atual.

Passo 5: Atualizar o número de bits restantes e o número de BUs não codificadas para o quadro atual.

Passo 6: Após a codificação de um quadro completo, Q_{apf} é atualizado.

Para obter um bom compromisso entre a média de PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) e variação de bits é recomendado que N_{mbunit} seja o número de MBs de uma linha para comunicação do vídeo em tempo real, e que N_{unit} seja 9 para outras aplicações.

Finalmente, para reduzir o número de bits usados para a diferença entre os QPs dos MBs, a sintaxe do H.264 pode ser modificada através da inserção de uma *flag* no início do fluxo de bits, para indicar o número exato de MBs na BU. Em seguida, só será necessário codificar a diferença entre os QPs da BU ao invés dos MBs.

3.3 Estado-da-Arte

De forma geral, soluções algorítmicas propostas para o bloco de controle de taxa encontradas na literatura empregam um modelo quadrático baseado em MAD tal como o modelo proposto pelo *software* de referência do padrão H.264/AVC (SUHRING, 2011).

Em sua maioria, são considerados aprimoramentos na predição da MAD tal como em (JIANG, 2004) e (LIU, 2007). Há também propostas que aplicam aprimoramentos do modelo de RDO como (KWON, 2007) ou em conjunto com o módulo de RC (JIANG, 2006) e (MA, 2005). Existem também propostas que utilizam controladores com realimentação (*feedback*) (ZHOU, 2011). Entretanto, estes modelos algorítmicos de controle não são escaláveis para vídeos-3D aplicados às condições impostas pelo MVC, pois eles não exploram a correlação entre vistas vizinhas, efeitos de predição entre vistas (ocorrendo assim variações na taxa de bits em quadros co-allocados nas vistas vizinhas), estrutura de codificação do MVC – HBP. Em (YUAN, 2011) é proposto um esquema de controle de taxa para o padrão MVD (*Multiview Video plus Depth*) que aloca bits de textura ou mapa de textura, entretanto, não endereça a alocação com codificação de textura.

A codificação de textura apresentada por (LIU, 2011) é predita através da atribuição de pesos fixos baseados em análises estatísticas para caracterizar a relação da taxa de bits entre vistas. Entretanto a atribuição destes pesos depende da disposição e distância das câmeras, texturas das vistas e do comportamento do movimento e da disparidade de cada vista. A falta de precisão na determinação destes pesos pode acarretar em variações indesejadas na taxa de saída de bits. Trabalhos recentes apresentam esquema para RC no domínio do MVC focando também em uma extensão do modelo proposto para o H.264/AVC como em (YAN, 2009). Há também modelos propostos utilizando pesos providos pelo usuário para parâmetros utilizando estrutura hierárquica de GOP simples (PARK, 2009). Entretanto, estas técnicas não exploram o comportamento periódico da distribuição de bits em nível de GOP, ou a fase de GOP (conforme seção 5.1), ou, por exemplo, realimentação entre GOPs.

Dentre os trabalhos para MVC que focam em BUs, (PARK, 2009) propõe um esquema similar ao proposto pelo software de referência utilizando predição de MAD em nível de unidades básicas com o objetivo de determinar o QP mais adequado, o que invariavelmente recai no problema de não tratar a disparidade. Além deste, (LEE, 2011) apresenta um esquema de RC para nível de BUs considerando regiões de interesse (RoI)

para o refinamento na determinação do QP, o método proposto aplica uma função de limites diferenciais (*Just-noticeable difference*), teoria derivada da psicologia visual para determinar regiões de maior e menor interesse dentro de um quadro. Entretanto, esta solução não aplica realimentação no controle, e a única entrada do controlador é o quadro de referência. Ademais, a técnica aplicada não explora o comportamento periódico do *bitrate* em nível de GOP, não há realimentação inter-GOP. Resumindo, os trabalhos apresentados não exploram os potenciais providos pelos vídeos de múltiplas vistas, provendo um controle de taxa limitado, com performances abaixo da expectativa.

4 EMBASAMENTO TEÓRICO: MÉTODOS DE CONTROLE E PROCESSOS DE DECISÃO

Neste capítulo serão apresentados os conceitos utilizados no desenvolvimento do controle de taxa para vídeos de múltiplas vistas segundo o padrão MVC. Nesta proposta o esquema será dividido em duas etapas segundo as camadas de atuação. Em um nível de granularidade grossa serão abordadas as camadas de GGOP, GOP e Quadros, e em granularidade fina, a camada de unidades básicas (BUs). Neste capítulo serão apresentadas e discutidas as escolhas das técnicas utilizadas no desenvolvimento de cada grau de atuação. Em princípio serão apresentados os métodos de controles e suas adequações a Hierarquia de Bi-Predição (HBP) e a ordem de codificação. Posteriormente métodos heurísticos para processos estocásticos serão abordados.

4.1 Métodos de Controle

Por definição, um controle tem como objetivo tratar as influências no comportamento de sistemas dinâmicos (GOODWIN, 2001). Diferentes métodos e estratégias de controle foram propostas para diversos tipos de problemas no passar dos anos. A teoria clássica de controle tem sido amplamente utilizada, desde simples aplicações, tal como no controle de temperatura de câmaras refrigeradoras, até em sistemas altamente sofisticados, como em satélites. Essa variedade de controles inclui controladores extremamente genéricos como controles aplicados a uma categoria muito particular de sistemas. Desta forma, um problema de controle deve ter especificações bem definidas para que este seja desenvolvido para garantir a estabilidade do sistema. Uma escolha equivocada no modelo de controle devido a um erro de especificação pode conduzir a desestabilidade do sistema.

Embora vários métodos de controle tenham sido desenvolvidas recentemente, na teoria de controle as abordagens de Controle Estocástico e de Controle Robusto são certamente aquelas mais promissoras e que se destacam no tratamento de problemas de controle de sistemas dinâmicos, sujeitos a incertezas, caso de vídeos de múltiplas vistas. Assim, esta será a abordagem de interesse principal na granularidade grossa desse trabalho, para isso, na próxima subseção serão abordados os conceitos do Controle Preditivo baseado em Modelos.

Vídeos digitais de múltiplas vistas possuem uma estrutura peculiar e bem definida de codificação para atingir máxima compressão. Entretanto, o padrão H.264/MVC não apresenta um esquema para o controle de taxa do codificador. Desta forma, pesquisadores tem liberdade quanto às escolhas sobre esta ferramenta para o desenvolvimento dentro de suas propostas, podendo optar por um controle simples e de

eventual baixa confiabilidade ou de maior eficiência que demande uma complexidade computacional buscando melhor desempenho. Este trabalho descreverá um controle para o máximo aproveitamento da largura de banda, também considerando a qualidade visual do vídeo codificado.

4.1.1 Controle Preditivo baseado em Modelos

Um Controle Preditivo baseado em Modelos é uma técnica de controle desenvolvida em meados da década de 1980 para o ajuste de plantas químicas. É uma técnica de controle avançado que têm tido um impacto significativo na indústria de controle de processos. A principal razão para este êxito deve-se ao fato que esta pode ser aplicada a diversas situações tal como sistemas com entradas e saídas únicas e sistemas com entradas e saídas múltiplas além de permitir a inclusão de ações de realimentação, bem como podem incluir restrições de entrada e saída na formulação da lei de controle (NORMEY-RICO, 2007). O MPC é uma técnica consolidada na indústria para sistemas de múltiplas variáveis com restrições que podem ser representados por modelos lineares (BRAVO, 2009). Apesar da maioria dos sistemas reais apresentarem características não lineares, quando o processo opera em uma pequena faixa – como um GGOP – então seu comportamento pode ser aproximado através de modelos lineares. Isto tem motivado o uso de modelos lineares em muitas técnicas de MPC. A vantagem mais significativa do MPC linear se comparado ao não linear é que o problema de otimização associado é de solução mais simples de resolver. Entretanto, quando os processos têm um grau mediano ou severo de não linearidade ou quando a faixa de operação é variável ou quando os processos experimentam transições contínuas em sua operação, necessariamente deverá ser considerado o modelo não linear no projeto do controle, de forma que permita manter a estabilidade e desempenho desejado para o sistema em malha fechada (CAMACHO, 2004).

O Controle Preditivo baseado em modelos não é considerado uma estratégia de controle, mas sim um conjunto de métodos de controle que foram desenvolvidos considerando o conceito de predição e a obtenção do sinal de controle, através da minimização de uma determinada função objetivo como demonstrado pela Eq. 35. Esta função considera o erro futuro e as restrições nas variáveis de processo e de controle (CAMACHO, 2004).

$$\min_{u[k|k] \dots u[k+p-1|k]} \sum_{i=1}^p w_i (y[k+i|k] - y^{sp})^2 + \sum_{i=1}^m r_i \Delta u[k+i-1|k]^2 \quad (35)$$

O objetivo do controlador é encontrar uma sequência de ações que induza o sistema a alcançar um estado desejado, minimizando os efeitos negativos destas ações e considerando as restrições. A fim de determinar a sequência de ações adequadas, o controlador avalia uma função de desempenho. A Eq. 35 descreve a função de um modelo MPC genérico que minimiza o custo definindo o melhor conjunto de saídas baseado no conjunto de entradas u . $u[k+i-1|k]$. $i = \{1, \dots, m\}$ é o horizonte do controle ou horizonte de entrada, isto é, o conjunto de entradas do processo à qual a otimização é realizada. m denota o comprimento do horizonte de controle ou do horizonte de entrada, isto é, o número de horizontes a serem utilizados para o processo de otimização. Da mesma forma, $y[k+i|k]$, $i = \{1, \dots, P\}$ é definido como o conjunto de saídas, denominados horizonte de predição ou horizonte de saída; p é o comprimento do horizonte de predição ou horizonte de saída, ou seja, o número de horizontes para ser

preditos; k define o índice de horizontes e representa a k -ésima entrada ou saída, como mostrado na Figura 4.1.

O horizonte de controle determina o número de ações passadas considerado para a predição. O horizonte de predição determina a distância que o comportamento do sistema é predito. y^{SP} define o valor de saída que limita o horizonte de predição. Embora horizontes grandes levem a predições mais eficientes, há necessidade de limitar o tamanho do horizonte a fim de evitar o aumento da complexidade computacional. A metodologia de todos os controladores pertencentes à família do MPC é caracterizada pela estrutura mostrada na Eq. 35 (NEGENBORN, 2005) e a estratégia representada na Figura 4.1.

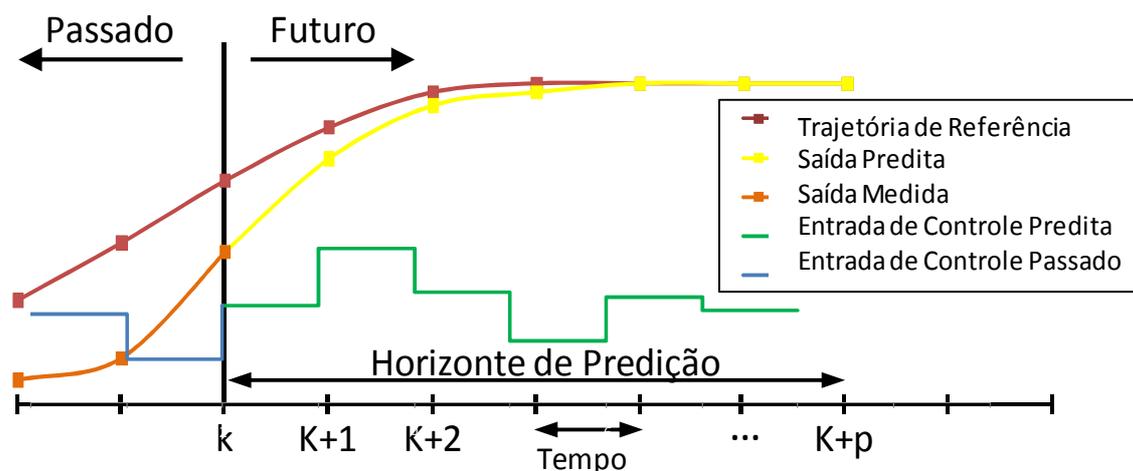


Figura 4.1 – Controle Preditivo baseado em Modelos (NEGENBORN, 2005)

Em cada instante t e fazendo uso do modelo do processo, predizem-se as futuras saídas para um determinado horizonte N , chamado horizonte de predição. Estas saídas preditas, $y(t + k / t)$ (a notação indica o valor predito da variável no instante $t+k$ calculado no instante t), para $k=\{1. . . K+p\}$, dependem dos valores conhecidos até o instante t (entradas e saídas passadas) e dos sinais de controle em $t+k$ calculadas em t , ($u(t + k / t)$) para $k= \{0. . . K+p-1\}$, que se pretende enviar ao sistema e que são as que se desejam calcular.

O critério normalmente considera uma função quadrática dos erros entre a saída predita e a trajetória de referência, incluindo em muitos casos o esforço de controle. Se o critério for quadrático e o modelo linear e não existirem restrições pode-se obter uma solução explícita, em outro caso, deve-se usar um método iterativo de otimização. Adicionalmente faz-se alguma hipótese sobre a estrutura da lei de controle futura, como por exemplo, que vai ser constante a partir de certo instante. O sinal de controle $u(t / t)$ é enviado ao processo enquanto que os seguintes sinais de controle calculados são desprezados, posto que no seguinte instante de amostragem já se conhece $y(t + 1)$ e se repete o passo anterior com este novo valor e todas as sequências atualizadas. Calcula-se, portanto $u(t + 1 / t + 1)$ (que em princípio será diferente a $u(t + 1 / t)$) fazendo uso do conceito de horizonte deslizante.

4.2 Heurística e Conceitos Estatísticos

A heurística visa o desenvolvimento teórico ou descobertas empíricas. Define-se procedimento heurístico como um método de aproximação das soluções ideais dos

problemas, a heurística assume uma solução próxima da ideal baseada em uma função que avalie o resultado. A solução encontrada por uma heurística não necessariamente será a melhor possível. A heurística deve indicar os caminhos e possibilidades a serem aprofundadas na tentativa de torná-la uma teoria progressiva, isto é, capaz de garantir um desenvolvimento empírico, prevendo fatos novos não percebidos no momento da elaboração do núcleo dessa teoria. Como processo heurístico dentro de um controle de granularidade fina este trabalho apresenta o processo de decisão de Markov. Este processo na camada de unidades básicas apresenta um alto grau de incertezas que serão caracterizadas no modelo através de uma cadeia de Markov discreta. Esse tipo de sistema é também conhecido como sistema com saltos Markovianos.

Aprendizagem por reforço (ou *Reinforcement Learning*) incumbe-se da aprendizagem de um agente, por tentativa e erro, tentar atingir um objetivo interagindo com o seu ambiente. O domínio deve ser modelado como um processo de decisão de Markov e o agente e o ambiente interagem em uma sequência discreta de passos no tempo. O estado e a ação em um determinado instante definem a distribuição de probabilidades para o estado seguinte e o reforço. O objetivo do agente normalmente é escolher ações de modo a maximizar uma soma descontada dos reforços subsequentes. Desta forma, os conceitos heurísticos de processos de decisões de Markov e de aprendizagem por reforço utilizados neste trabalho serão apresentados abaixo.

4.2.1 Processo de Decisão de Markov

Um processo de decisão de Markov (MDP) é uma forma de modelar processos, onde transições entre estados são determinadas através de probabilidades. É possível observar em que estado o processo está e também é possível interferir no processo periodicamente através da execução de ações. Podem-se definir recompensas por estado sem que estas dependam da ação executada. São ditos Markovianos porque os processos modelados obedecem à propriedade de Markov, onde o efeito de uma ação em um estado depende apenas da ação e do estado atual do sistema, e não de como o processo chegou a tal estado. São chamados de processos de decisão porque modelam a possibilidade de um agente interferir periodicamente no sistema executando ações de cadeias de Markov, onde não se trata de como interferir no processo (WHITE, 1993). A Eq. 36 (COELHO, 2009) define a probabilidade de uma ação ser tomada em decorrência do estado anterior.

$$P_a = R_s(s_{t+1} = s' | s = s_t, a_t = a) \quad (36)$$

Por definição, um processo de decisão de Markov é uma tupla $(S; A; T; R)$, onde S é definido como um conjunto de estados em que o processo pode assumir. A é uma coleção de ações que podem ser executadas em diferentes passos de tempo, enquanto T define uma função que dá a probabilidade de o sistema passar para algum estado, considerando que o processo estava em outro estado, e o agente decidiu executar uma ação a . Por fim, R define uma função que determina o custo (ou recompensa) devido a tomada da decisão a quando o processo está em um estado s . Pode-se também definir, para cada estado s , um conjunto de ações possíveis internas a este determinado estado.

Em outras palavras, a cada passo de tempo, considerando codificação de vídeo, um quadro, o processo está em algum estado S (dado por faixa de valor QP e bitrate gerado), e o processo de decisão pode determinar uma ação adequada para escolha sobre o estado s , que estará disponível no conjunto de estado S . Este processo corresponderá

ao passo seguinte, movendo para um novo estado s' , devolvendo ao processo de decisão uma correspondente recompensa $R_s (S, S')$.

4.2.2 Aprendizagem por Reforço

O processo de aprendizagem por reforço (RL) é caracterizado por quatro elementos fundamentais: Aprendizado por Interação, Retorno Atrasado, Orientado pelo Objeto Investigação por Exploração. Estes elementos são fundamentados para estender as características de codificação de vídeo ao processo de decisão de Markov (COELHO, 2009).

A aprendizagem por interação é a principal característica que define RL, o agente atua no ambiente aguardando para a definição do valor do reforço que o ambiente retorna em resposta devido a uma determinada ação realizada, deve assimilar através do aprendizado o valor obtido para tomada de futuras decisões. Um valor de reforço alto retornado pelo ambiente ao agente não significa necessariamente que a ação tomada por este é recomendada. Uma ação é produto de uma decisão local no ambiente, sendo seu efeito imediato de natureza local, enquanto que em um sistema de RL o intuito é alcançar objetivos globais. Em outras palavras, a qualidade das ações é vista pelas soluções em longo prazo.

Em RL não é necessário o conhecimento de detalhes da modelagem do ambiente. Existe um agente que atua neste ambiente desconhecido tentando alcançar um objetivo, que geralmente é aperfeiçoar algum detalhe baseado nas características dentro do ambiente. Por fim, a investigação por exploração define quando se deve aprender e quando não se deve aprender sobre o ambiente, mas usar a informação já obtida até o momento. Para que um sistema seja realmente autônomo, esta decisão deve ser tomada por ele próprio. A decisão é fundamentalmente uma escolha entre agir baseado na melhor informação de que o agente dispõe no momento ou agir para obter novas informações sobre o ambiente que possam permitir desempenhos melhores no futuro. Resumindo, o agente deve aprender quais ações elevam os ganhos obtidos, mas também deve agir de forma a atingir esta maximização explorando ações ainda não executadas ou regiões pouco consideradas no espaço de estados. Neste escopo, uma boa estratégia a ser adotada é de adequar ambos os modos de investigação e de exploração.

5 ALGORITMOS DE CONTROLE DE TAXA PARA O MVC

Neste capítulo será apresentado o modelo Hierárquico de Controle de Taxa (HRC) para todas as camadas do padrão de vídeos de múltiplas vistas H.264/MVC. Um diagrama em blocos deste processo é apresentado na Figura 5.1. Este modelo é responsável por controlar a taxa de bits de saída do codificador de acordo com as preferências do usuário e/ou limitações do canal, através do monitoramento do codificador MVC atuando através de parâmetros de quantização (QP) adaptáveis. Este modelo é conceitualmente dividido em dois níveis de atuação: (i) nível de quadros (que engloba também o nível de GOP e de GGOP) em granularidade grossa, e; (ii) nível de unidades básicas, em granularidade fina. O codificador MVC recebe as sequências de vídeo como entrada juntamente com todas as configurações para iniciar o processo de codificação.

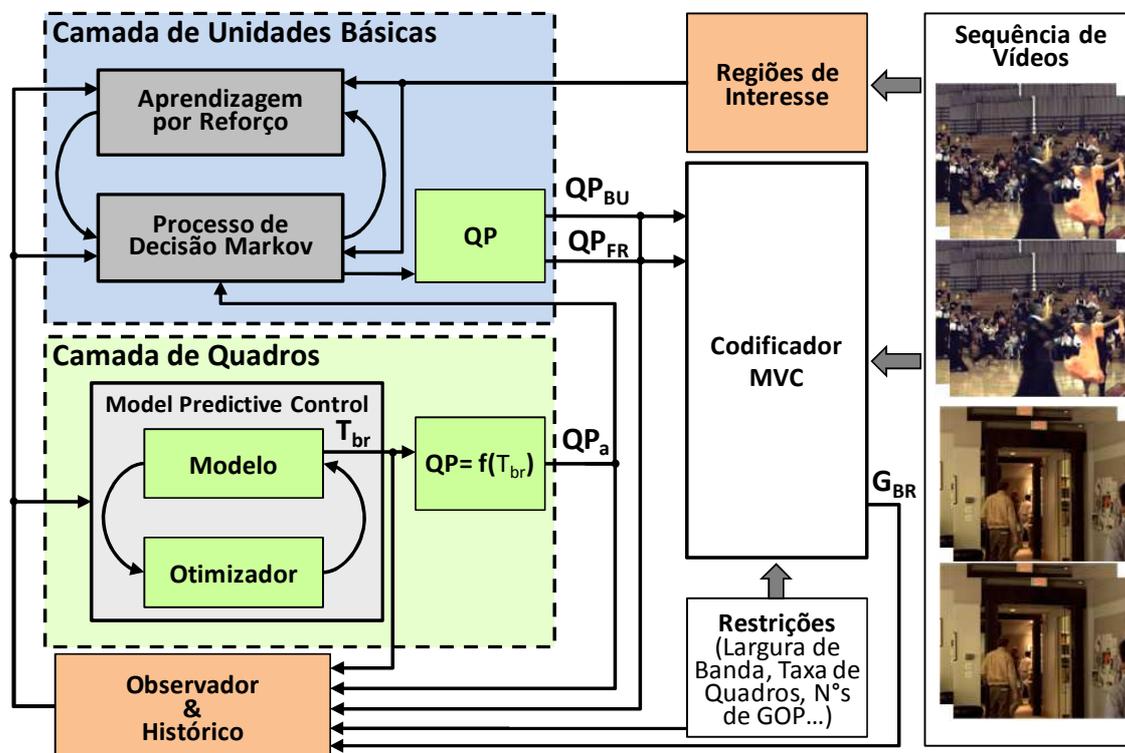


Figura 5.1 – Diagrama do esquema de controle de taxa Hierárquico proposto.

O controle preditivo baseado em modelos em nível de quadro ajusta o comportamento do sistema considerando a hierarquia de codificação e prediz a alocação de taxa de bits no nível de quadros considerando as correlações em nível de vistas,

temporal e de fase (inter-GOP). O esquema define o QP ideal para os quadros preditos como QP base transmitindo este para a camada de unidades básicas junto a uma matriz de processos que serão adequadas ao MDP. Em nível de BU, uma decisão de granularidade fina é adotada para definir as variações de QP considerando as propriedades de imagem em termos de regiões de interesse. Para tomada de decisão de aumentar ou diminuir o QP em relação ao QP base, considera-se o conhecimento prévio através da aplicação do método de aprendizagem por reforço. Para o HRC, o módulo de aprendizagem por reforço realimenta tanto o controle preditivo quando a matriz de estados de processos MDP evitando descasamentos e oscilações indesejáveis. O esquema emprega uma unidade de observador capaz de ler, armazenar e gerenciar o retorno do codificador MVC (bitrate gerado) e as variáveis que definem o estado do sistema de codificação (taxa de bits alvo, QP, as restrições de entrada, etc) a fim de apoiar a predição da taxa de bits e das ações a serem tomadas. Além disso, um extrator de propriedades da imagem é utilizado para construir um mapa das Regiões de Interesse utilizado para nível de BU.

Assim, serão apresentadas as soluções algorítmicas desenvolvidas para o módulo de controle de taxa. Primeiramente, será apresentado um estudo de caso a fim de justificar a necessidade de adotar um esquema de controle de taxa e suas adequações. Na segunda seção será apresentada a solução desenvolvida para a camada de quadros de controle de taxa. Finalmente a terceira seção apresentará a solução para a camada de unidades básicas.

5.1 Estudo de Caso

Nesta seção é apresentada uma análise detalhada da distribuição de *bitrate* para uma melhor compreensão desta no processo de codificação MVC e sua correlação com blocos vizinhos, considerando domínio espacial, temporal e de disparidade. A análise é apresentada em uma abordagem hierarquicamente de cima para baixo começando com a discussão relacionada em nível de vistas, seguindo nível de quadros e concluindo com as considerações em nível de unidades básicas. Para esta análise foram utilizadas 8 vistas da sequência de teste *flamenco2* com resolução VGA codificada com QP fixo, isto é, sem utilizar controle de taxa para uma vista de ordem de codificação IBP em domínio temporal, como representado pela Figura 2.6, neste, uma Unidade Básica é considerado como um MB.

A Figura 5.2 apresenta a distribuição irregular da taxa de bits ao longo das diferentes vistas. Esta distribuição é altamente relacionada com a hierarquia de predição dentro de um GOP. A vista 0 ou vista base é codificada de forma independente, sem estimativa de disparidade ou predição entre vistas. Esse comportamento leva a possibilidades reduzidas de predição e, conseqüentemente, a uma pior predição resultando em mais resíduos e um *bitrate* maior que o esperado. Vistas B (como em 1, 3 e 5) exploram completamente a correlação entre vistas através da realização da estimativa de disparidade (além de predições espaciais e temporais) para as vistas vizinhas superior e inferior. Este aumento no espaço de decisão da predição resulta em uma melhor qualidade de predição e levando a codificação para uma taxa de bits reduzida. Vistas do tipo P (como as vistas 1, 3, 5 e 7) representam o caso intermediário de estimativa de disparidade onde há relação com apenas uma vista vizinha. Vistas P tipicamente apresentam uma taxa de bits na faixa entre Vista Base e Vistas B de *bitrate*. Note que na Figura 5.2, a Vista 7 é uma vista P, mas a sua vista de referência está mais próxima em

relação a outra vista P. Enquanto a Vista 2 está a duas vistas de distância da sua vista de referência, a vista 7 está a apenas uma vista de distância da vista 6. Isso geralmente resulta em uma taxa de bits reduzida para vista 7 devido à melhor previsão de disparidade.

No entanto, as relações de *bitrate* associados com a hierarquia de previsão nem sempre são reais e variam com as propriedades do vídeo de cada sequência. No exemplo fornecido na Figura 5.2, a vista 6 apresenta uma taxa de bits reduzida em relação à Vista 1 e Vista 3 (ambas vistas B). Podemos concluir que mesmo empregando bi-previsão no domínio de disparidade, as Vistas 1 e 3 são mais difíceis de prever do que a Vista 6. Observação semelhante é o aumento da taxa de bits gerada pela Vista 7, se comparado com outras Vistas P quando uma menor taxa de bits seria esperado. Estas observações mostram que, além da relação à estrutura de previsão (como discutido acima), a distribuição da taxa de bits também tem uma forte dependência da natureza de cada conteúdo da vista. Vistas difíceis de codificar normalmente apresentam alta textura e/ou muita movimentação de objetos que exigem mais bits para alcançar uma qualidade desejada.

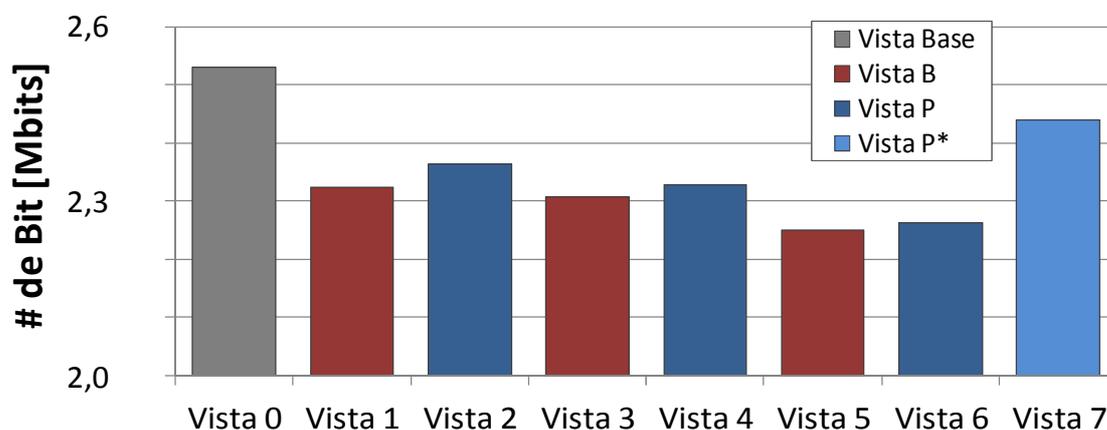


Figura 5.2 – Distribuição da taxa de bits na camada de vistas (Flamenco2, QP=34).

A distribuição do *bitrate* em nível de quadros apresentado na Figura 5.3 mostra que dentro de cada GOP os quadros que apresentam maior taxa de bits estão localizados em níveis hierárquicos mais baixos de previsão. Isto está relacionado com a distância das referências temporais, o mais distante da referência, mais difícil é de encontrar uma boa previsão. Portanto, o maior o erro inserido resulta em taxas de bits mais altas. Nas vistas B, esse efeito é atenuado uma vez que esta vista é menos dependente de referências temporais devido à maior disponibilidade de referências de disparidade. A Figura 5.3 mostra que, para GGOPs vizinhos temporais os mesmos quadros em posição relativa exibem propriedades de taxa similares, isto é, em nível de GOP a distribuição de taxa apresenta padrão de distribuição semelhante e periódico, a chamada fase de GOP.

Dentro de cada quadro o número de bits gerados em cada BU também está relacionado com o conteúdo do vídeo. A Figura 5.4 mostra que a homogênea e baixa movimentação e disparidade do background requer uma taxa de bits menor, se comparada com a região com dançarinas e o chão texturizado para uma qualidade semelhante. No entanto, o sistema visual humano requer um maior nível de detalhes para regiões texturizadas e para margens para melhor percepção de qualidade (MERKLE, 2007), por conseguinte, estas regiões merecem uma maior qualidade e requerem um número ainda maior de bits. Portanto, as regiões texturizadas devem ser

detectadas e receber mais bits durante o processo de codificação através da redução do QP.

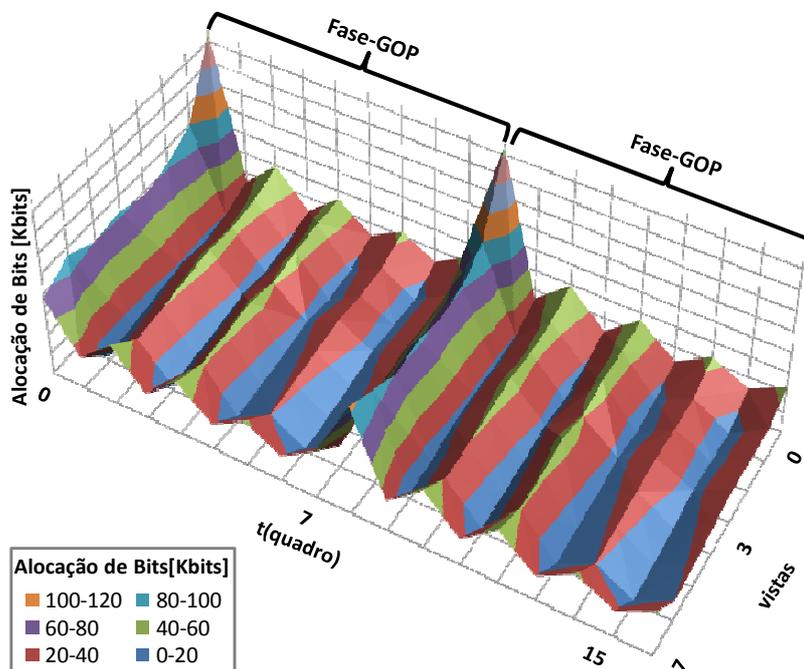


Figura 5.3 – Distribuição de bits para dois GGOPS (Flamenco2, QP=34).



Figura 5.4 – Distribuição de *bitrate* para camada de BU (Flamenco2, QP=34).

Resumindo, a distribuição de *bitrate* em nível de quadro depende da hierarquia de predição e do conteúdo de vídeo de cada quadro. Devido à relação com o conteúdo de vídeo, um controle da taxa efetivo deve considerar os quadros vizinhos no domínio de disparidade, temporal e de fase de GOPs. As propriedades de vídeo têm de ser consideradas também em nível de BU a fim de localizar e priorizar regiões que requerem uma maior qualidade.

5.2 Controle de Taxa baseado em Modelo Preditivo para nível de Quadros

Conforme discutido no Capítulo 4, o principal objetivo de um controlador MPC é de prever o comportamento futuro de um estado do sistema e/ou a saída de um horizonte de tempo finito, assim como computar as futuras entradas em cada etapa. Estas ações ocorrem através da minimização de uma função de custo e restrições de desigualdade no controle manipulado ou as variáveis controladas (ZENGH, 2010). Neste trabalho, o MPC para o codificador multivistas atua no nível de quadros para prever a taxa de bits de saída e fornecer o QP mais adequado para cada quadro a ser codificado. O controlador de taxa tenta definir uma sequência de ações e, em seguida, induzir o sistema a um estado desejado, enquanto os efeitos negativos desta ação são reduzidos respeitando as restrições. Em outras palavras, o RC define um QP que otimiza a largura de banda ou o uso apropriado dos bits disponíveis enquanto maximiza a qualidade visual e reduz a taxa de bits evitando variações bruscas.

A predição da taxa de bits é feita considerando a correlação vizinhança-3D nos domínios de vista, tempo e entre-GOPs. Como discutido no capítulo 2, existe uma correlação elevada no tempo e nas vistas, entre os quadros vizinhos no interior do mesmo GOP. Além disso, há também um padrão periódico que se repete a nível GOP, as fases de GOP. Este esquema de controle baseado em MPC é capaz de explorar essa correlação, a fim de prever com precisão o *bitrate* futuro. A Figura 5.5 representa os quadros codificados anteriormente utilizados para a predição (horizonte controle) e do quadro corrente a ser predito (horizonte de predição) para uma dada estrutura de predição MVC. Este método estende o trabalho proposto em (VIZZOTTO, 2012), empregando um fator de ponderação variável para quadros, considerando as suas posições em relação ao quadro atual. Em (VIZZOTTO, 2012) o peso da realimentação de cada quadro no horizonte controlado foi definido com base no seu tipo de quadro (I, P ou B) e a sua posição relativa no interior de uma estrutura GGOP fixa. O fator de ponderação variável é calculado considerando o número de referências da estrutura de entrada e da distância para o quadro corrente. Com essa extensão o controle em nível de quadros pode ser diretamente implementado em qualquer HBP enquanto ainda leva em consideração a correlação das fases de GOP.

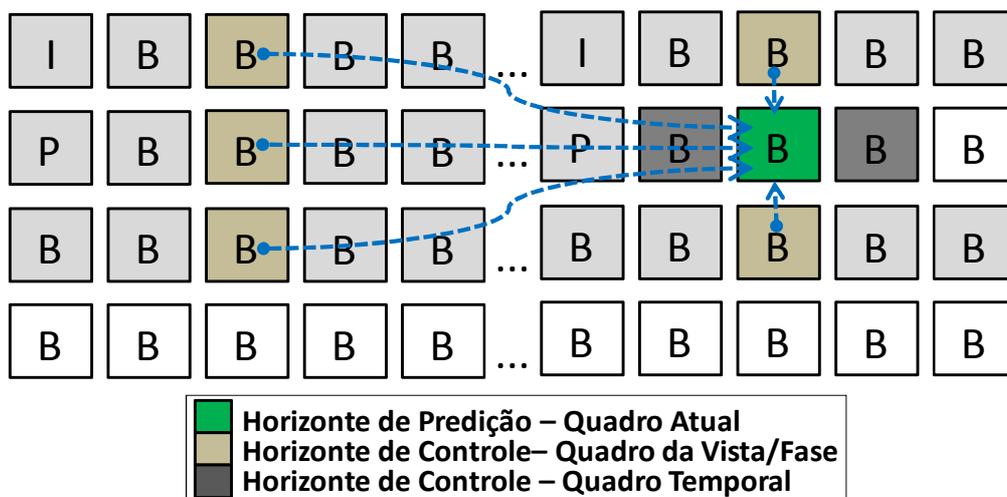


Figura 5.5 – Horizontes de controle baseado em MPC.

A Figura 5.6 mostra em detalhes o processo de otimização do esquema MPC e como as funções de componentes interagem uns com os outros. O Modelo de Taxa gera,

com base na correlação de vizinhança, uma predição da taxa de bits para o quadro corrente, a taxa de bits de destino. Com base nesta predição, um QP adequado é definido e o modelo é atualizado. O retorno do sistema e do QP efetivamente utilizado definido no RC em nível de BU são recebidos através do observador.

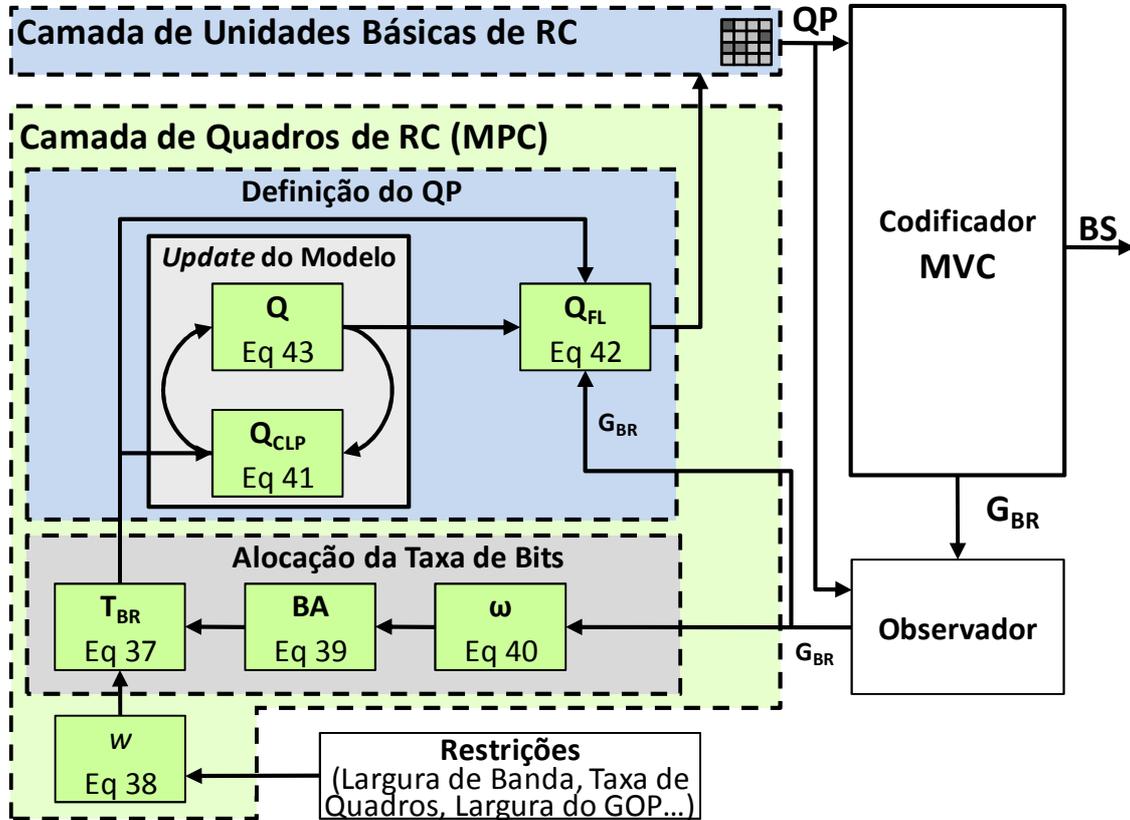


Figura 5.6 – Diagrama de controle de taxa na camada de quadros.

Nas seções que seguem as variáveis utilizadas são definidas pela Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Descrição das variáveis utilizadas no esquema de controle.

Variável	Descrição
Camada de Quadros de Controle de Taxa	
T_{BR}	Bitrate alvo para um quadro (bits por quadro)
BW	Largura de Banda (bits por segundo)
FR	Taxa de quadros (quadros por segundo)
BA	Alocação de Bits (absoluto)
w_I, w_P, w_B	Fatores de I, P e B respectivamente (absoluto)
\bar{w}_{GOP}	Média w para o GOP atual (absoluto)
L_{GOP}	Largura do GOP (# de quadros)
ω	Peso do quadro (absoluto)
N_A	Número de quadros âncoras (# de quadros)
BR	Bitrate (# de bits)
H_{QP}	Histórico de QP (absoluto)
QP_{FL}	QP de um quadro (discreto)
QP_{CLP}	QP do último processo (discreto)
QP_{st}	QP Inicial (discreto)
Q	QP sobre o loop de otimização (discreto)
N_{FR}	Número de quadros

Camada de Unidades Básicas de Controle de Taxa	
M_S	RoI- Matriz de variância normalizada (absoluto 0 – 1)
$M(\delta)$	Matriz de recompensas MDP (matriz de absoluto RD)
BU	Variância da BU
μ	Média da BU_i
N_{BU}	Número de Bus (absoluto)
QP_{BU}	QP da Camada de quadros (discreto)
T_{BR}	<i>Bitrate</i> alvo para um quadro (bits por quadro)
R_S	Recompensa compartilhada de uma BU (absoluto)
R_L	Valor de Aprendizagem por reforço (vetor de H_R)
$f(s, \delta)$	Probabilidade de transição de estado
P_R	Probabilidade resultante a partir do vetor de ações de fase R_L . Ações de R_L em um alcance de pelo menos dois horizontes.
$\Delta \delta$	Varição entre δ da BU atual e δ do quadro âncora
M_f	Varição dos valores na matriz de variância
H_R	Histórico de $f R_L$
G_{BR}	<i>Bitrate</i> gerado (bits por quadro) – <i>Bitstream</i>
$U(s, s')$	Função de atualização da matriz, de s to s'

5.2.1 Modelo de distribuição de Taxas

O Controle de Taxa baseado em Controle Preditivo baseado em Modelos define a taxa de bits alvo $T_{BR(f)}$ considerando a largura de banda do canal e a restrição da taxa de quadros juntamente com os pesos atribuídos pela vizinhança e a alocação de bits BA , como mostrado na Eq. 37.

$$T_{BR(f)} = \frac{BW}{FR} \pm w(BA) \quad (37)$$

A variação de taxa de bits de tipos de quadros distintos (I, P e B) está em faixas diferentes, assim como discutido na sub-seção 3.2. Assim, os fatores ponderados para cada tipo de quadro devem ser diferentes. Um peso estático w_I é predefinido para quadros I (LI, 2003), enquanto os pesos de quadros P e B (w_P e w_B respectivamente) são calculados dinamicamente, considerando os pesos de quadros temporais vizinhos. A Eq. 38 mostra como os pesos são obtidos considerando-se a HBP, a fim de respeitar a linearidade local no GOP atual; onde \bar{w}_{GOP} é a média de w no GOP corrente, f denota o f -ésimo quadro de um dado tipo na ordem de processamento, $u=1/(L_{GOP}-1)$ e L_{GOP} denotam a largura de GOP. Para uma propagação suave de w , este, é limitado de acordo com uma gama definida estatisticamente.

$$\begin{aligned} w_I &= 0.75 \\ w_P &= \max \{ w_{f-1} - 2u, \min \{ \bar{w}_{GOP} - .25, w_I - 2u \} \} \\ w_B &= \max \{ w_{f-1} - 4u, \min \{ \bar{w}_{GOP} - .25, w_P - 2u \} \} \end{aligned} \quad (38)$$

A alocação de bits BA é dada por um esquema baseado em histórico ponderado para otimizar o modelo preditivo, como mostrado na Eq. 39. O modelo de controle de taxa preditivo proposto em (VIZZOTTO, 2012) foi concebido para diferenciar entre quadros âncoras e não âncoras através de três diferentes variáveis ponderadas de alocação de bits: ω_A para quadros âncoras, ω_{NA} para quadros não âncoras e finalmente ω_{PBA} para quadros P e B âncoras. No entanto neste modelo a proposta é estendida para capturar as

diferenças entre todos os quadros de acordo com seu nível hierárquico e seu número de referências na estrutura HBP (0..2 temporais; 0..2 quadros de referência e disparidade). A extensão permite que o codificador responda melhor às variações dentro do GOP e torne-se mais flexível, podendo adaptar-se sem restrições a qualquer estrutura HBP. Os valores ponderados (onde i e j são índices que indicam o tempo e a vista para o quadro; m e n denotam o número de referências no domínio temporal e de vista, respectivamente) de cálculo é apresentado na Eq. 40.

$$BA_{(t)} = \left(BA_{(t-1)} - \frac{BA_{(t-1)}}{N_A - 1} + \frac{\omega_{PBA}}{\omega_A + \omega_{NA}} - 1 \right) \times \frac{BW}{FR} \times L_{GOP} \quad (39)$$

$$\omega_{i,j}^{m,n} = \frac{(BR_{i,j}^{m,n} \times QP_{i,j}^{m,n}(t-1)) + (L_{GOP} - 2)\omega_{i,j}^{m,n}(t-1)}{L_{GOP} - 1} \quad (40)$$

5.2.2 Parâmetro de Quantização

Uma vez que a predição é realizada, o RC deve definir uma ação apropriada em termos de QP. O QP é determinado pela soma de todas as taxa de bits alvo $T_{BR(f)}$ no horizonte de predição, a soma de todos os *bitstreams* gerados no horizonte de controle BR e pelo histórico dos QPs H_{QP} como mostrado na Eq. 41. Além disso, o QP definido no nível de quadro de RC QP_{FL} não é utilizado diretamente pelo codificador MVC, mas enviada ao RC na camada de BU para refinar a seleção do QP.

$$QP_{FL} = H_{QP} \times \frac{\sum_{i=1}^p T_{BR}}{\sum_{i=1}^m BR} \quad (41)$$

Para manter o desempenho do controlador preditivo, há a necessidade de atualizar o modelo que calcula o QP. Para isso, o controle hierárquico implementa um *loop* de otimização com passos não discretizados (k), onde Q_{CLP} denota o parâmetro de quantização para o quadro codificado no último processo. As Eq. 42 e Eq. 43 descrevem o processo de atualização, onde o valor QP é restringido a uma variação de ± 2 pontos, para que a atualização não gere variações bruscas. Na Eq. 43, M é a matriz transposta de ω pertencente ao horizonte de controle multiplicado pela variação do bitrate alvo $\Delta T_{BR(f)}$. Q_{ST} é o QP inicial definido pelo usuário.

$$Q_k = \min \left\{ Q_{(k-1)} + 2, \max \{ Q_{(k-1)} - 2, Q \} \right\}$$

$$Q_{(k-1)} = \min \left\{ Q_{P_{max}}, \max \{ Q_{P_{min}}, Q_{CLP} \} \right\} \quad (42)$$

$$Q_{CLP} = \sum_{i=L} Q_k \times \det(M(\omega \times \Delta T_{br}))^T \times Q_{st} \times \frac{\sum_{i=1}^j \Delta Q_k}{N_{Fr}} \quad (43)$$

5.3 Controle de Taxa Baseado em Processo de Decisão de Markov para o Nível de Unidades Básicas

Normalmente sistemas de controle de taxa de codificadores de vídeo consideram todas as regiões de um quadro como se tivessem a mesma importância, codificando todas as regiões com o mesmo QP. No entanto, como mostrado por (PARK, 2009), (GRANCHAROVA, 2002) e (AGRAFIOTIS, 2006) o tratamento preferencial para regiões com maior textura, brilho, movimentação, regiões com maior interesse ocorre a

alocação de mais bits para essas considerando a maior importância subjetiva. Em (GRANCHAROVA, 2002), é proposto um esquema para RC de codificação H.264 vídeos de vigilância de tráfego usando as RoI para destacar regiões que contêm informações importantes, como um veículo. Em (AGRAFIOTIS, 2006), esta técnica é utilizada para destacar regiões pré-definidas de interesses, utilizando níveis de prioridade.

Para a camada de BU é empregado processo de decisão de Markov como parte do controle de taxa hierárquico enquanto utiliza-se de aprendizagem por reforço capaz de considerar propriedades da imagem dentro de regiões de interesses baseado em mapas de textura como detalhado no decorrer desta seção.

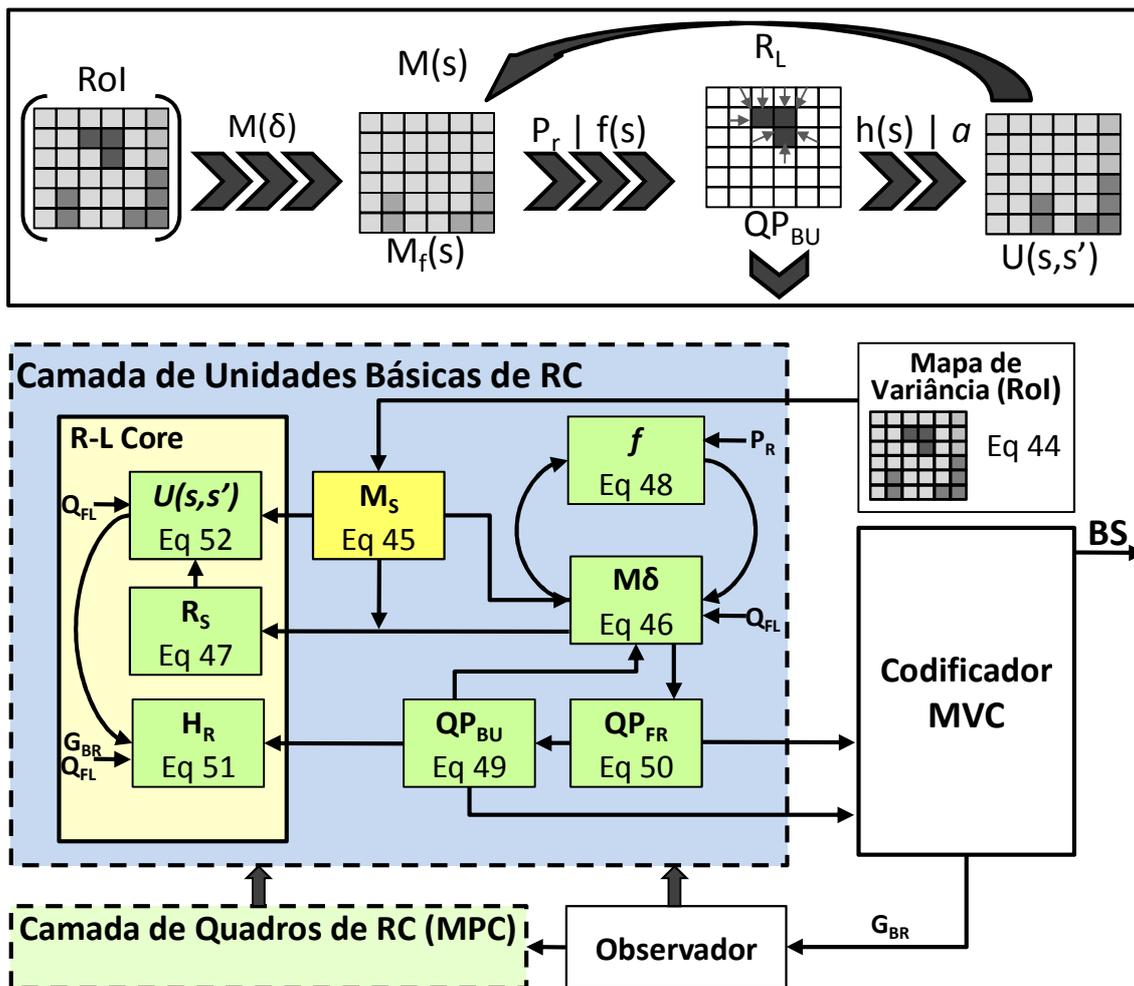


Figura 5.7 – Diagrama de bloco na camada de unidades básicas.

A Figura 5.7 apresenta um diagrama de blocos de funcionamento do proposto esquema de RC para camada de BU trabalhando como uma extensão (refinamento) do proposto esquema para camada de quadros. Este esquema proporciona recompensa para cada BU num quadro considerando as diferenças entre as regiões. Em cada passo de decisão, o controlador monitora o estado do sistema e determina a ação seguinte a ser tomada com base em observações e restrições. Neste trabalho, usa-se variância para determinar as regiões com texturas alta e, em seguida, definir a RoI com base em estatísticas para reorganizar a matriz de estados do MDP, que adequa o QP para cada

BU. Além disso, uma função usando vista, tempo e espaço vizinhos do estado para a aprendizagem por reforço para o sistema é aplicado.

5.3.1 Regiões de Interesse

Dentro de um quadro de um vídeo existem várias regiões ou objetos com distintas propriedades e distinta importância para o observador. As regiões de uma imagem que são consideradas mais importantes (devido a um determinado fator) que outras são chamadas de Regiões de Interesse. Neste trabalho, consideram-se todas as regiões de importância semanticamente iguais, deixando espaço para otimização de aplicações específicas. Entretanto, na perspectiva de alocação de bits, regiões texturizadas tipicamente devem produzir mais bits para manter a homogeneidade da qualidade visual. Para classificar as regiões de imagens utilizou-se a variância como processo de caracterização de complexidade de textura. A variância σ^2 é definida pela Eq. 44 (SHARMA, 2008) e descreve o grau de dissipação de uma população. Neste caso, como os valores de pixel ρ de uma região são distribuídos. Um alto σ^2 define regiões de alta textura (representados pelos pontos mais brilhantes na Figura 5.8).

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\rho_i - \mu)^2; \quad \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (44)$$



Figura 5.8 – Regiões de Interesses baseado em Mapa de variância (*Flamenco2*).

Codificadores de vídeos regulares utilizam o mesmo QP para codificar todas as unidades básicas internas a um determinado quadro levando a uma distribuição de bits ineficiente e uma indesejada variação da qualidade dentro do quadro. Entretanto é possível definir regiões que receberão tratamento especial, as RoI, como especificado anteriormente. As BUs pertencentes as RoIs devem ser priorizadas pela unidade de controle de taxa com objetivo de proteger a qualidade destas regiões. Neste trabalho, regiões que apresentam um conteúdo difícil de prever são autorizadas a utilizar mais bits através de um QP menor. De acordo com as análises apresentadas na Seção 6.2 (Estudo de Caso), as regiões de maior textura tendem a gerar mais resíduos e consequentemente necessitam maior *bitrate*.

Nesta solução, as regiões de interesse são determinadas por um mapa de variância normalizado – dado pela Eq. 45 – para todos os quadros âncoras. Adicionalmente, o controle de taxa hierárquico mantém uma segunda matriz de estados onde cada valor representa o *bitrate* de cada quadro dentro do histórico de um GOP para incorporar a vizinhança temporal e de vista ao processo de decisão de Markov. A matriz de dados é utilizada pelo MDP e pelo RL para definir as recompensas associadas a cada estado e

ação tomada pelo controle. Para quadros que não são âncoras são utilizadas estatísticas dadas pelos quadros âncoras com aprendizagem por reforço.

$$M_{s(i,j)} = \frac{(BU_i - \mu)^2}{N - 1} \quad (45)$$

5.3.2 Processo de Decisão

Neste esquema proposto, o passo de decisão do MDP é uma extensão da estrutura do processo preditivo onde uma matriz de estados $M_{f(s)}$ representa cada QP de uma BU em um dado quadro, cada BU tem o seu próprio coeficiente independente para calcular o valor da recompensa definida por $M(\delta)$ que é dado pelo QP da unidade básica QP_{BU} , pelo máximo QP no intervalo pré-estabelecido $MaxQP$, pela taxa de bits gerada por esta BU G_{BR} , pela taxa de bits de destino de um quadro T_{BR} e número de BU num quadro N_{BU} . Estes coeficientes determinam a importância de uma BU em um dado quadro.

$$M(\delta) = \sum \frac{QP_{BU} \times BS}{MaxQP \times (T_{BR} / N_{BU})} \quad (46)$$

A recompensa recebida pela BU é dada por RS na Eq. 47 e é determinada pela matriz de regiões de interesse, pela matriz de coeficientes e pela aprendizagem por reforço.

$$R_s = R_L \times M(\delta) - M_s / \quad (47)$$

E a probabilidade do estado tomar alguma ação e receber uma recompensa é dado pela função de transição de estado $f(s,\delta)$ na Eq. 48 onde RS determina a recompensa compartilhada pela BU, isto é, representada pela função $f(s)$ na figura 5.7.

$$f(s,\delta) = P_R \cdot m \cdot \Delta\delta \quad (48)$$

onde $\Delta\delta$ representa a variação entre a BU atual e o δ de quadros âncoras.

O conjunto de ações é dado pela probabilidade que segue a Eq. 49, onde BU_{QP} aumenta ou diminui para um dado QP no nível de quadros.

$$QP_{BU} = \begin{cases} QP_{FR} + 1 \forall f(s,\delta) > +1 \\ QP_{FR} - 1 \forall f(s,\delta) < -1 \\ QP_{FR} \forall -1 < f(s,\delta) < +1 \end{cases} \quad (49)$$

$$QP_{FR} = \text{trunc} \left(\frac{\sum M_f(s)}{N_{BU}} \right) \quad (50)$$

5.3.3 Aprendizagem por reforço

A realimentação para nível de BU é dado por h_R (histórico da aprendizagem por reforço) e definido pela Eq. 51 onde T_{BR} denota a taxa de bits alvo para o quadro atual em nível de quadros. A função mantém atualizações para o esquema de controle preditivo, descrito pela Eq. 52. Nela, $M_{f(s,s')}$ denota a matriz de coeficientes utilizados para determinar a importância da BU, enquanto $f(s,\delta)$ representa a probabilidade de transição do estado.

$$\mathbf{H}_R = \frac{\Delta T_{BR} \times \sum \mathbf{QP}_{BUL}^k}{\sum \mathbf{G}_{BR}^k \times \Delta \mathbf{QP}_{FL}} \quad (51)$$

$$U(s, s') = \mathbf{QP}_{FL} \begin{cases} M_f(s, s') \forall -I > f(s, \delta) > +I \\ M_f(s, s) \forall -I < f(s, \delta) < +I \end{cases} \quad (52)$$

Na Eq. 51 é definido o estado final de cada BU num espaço finito, isto resulta em um novo valor na matriz de estados MDP. As Eq. 51 e 52 garantem que o QP é ajustado pela matriz de estados e o próximo quadro herda o comportamento aprendido pelos seus acertos.

6 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através dos experimentos em software realizados sobre a plataforma de teste do padrão H.264/MVC – JMVC em sua versão 8.5 (SUHRING, 2011). Na primeira subseção serão apresentadas as condições em que os testes foram realizados. Posteriormente serão discutidos os resultados de precisão, eficiência de codificação e de qualidade visual. Por fim, serão apresentados resultados detalhados para melhor avaliação dos resultados relativos à granularidade fina.

6.1 Condições Experimentais

As avaliações sobre o algoritmo do Controle de taxa Preditivo baseado em Modelos (MPRC) na camada de quadros consideram quatro sequencias de vídeo VGA (640x480 pixels): “Ballroom”, “Exit”, “Vassar” e “Flamenco2”. Adicionalmente, para comparações com o modelo conjunto com a camada de unidades básicas, foram utilizados as sequências “Breakdancers” e “Uli” com resolução XGA (1024x768 pixels). As oito vistas de cada sequência foram codificadas utilizando a ordem 0-2-1-4-3-5-7 (IBP) – (MERKLE, 2007), largura de GOP oito e quatro taxa de bits alvo (256, 392, 512 e 1024 kbps) para os vídeos VGA e (512, 1024 e 2048 kbps) para os vídeos XGA. Para uma comparação justa com o estado-da-arte, foram implementados o controle de taxa de referência do padrão H.264/AVC (LI, 2003), SMRC – *Single Model Rate Control* – e o controle de taxa para camada de quadros baseado em múltiplas vistas apresentado por (YAN, 2009), além do controle de taxa para camada de unidades básicas apresentadas por (LEE, 2011). Para uma comparação completa da evolução do controle nas duas camadas abordadas, serão apresentados os resultados com o controle aplicado apenas à camada de quadros (MPRC) bem como para o controlador de taxa completo HRC.

6.2 Precisão

A Tabela 6.1 apresenta o resultado gerado pelos modelos (LI, 2003), (YAN, 2009) e (LEE, 2011) comparados aos modelos desenvolvidos. Para medir a precisão do controlador é utilizada a métrica do Erro Médio Estimado da Taxa de Bits (MBEE), apresentado pela Eq. 53, onde o módulo da diferença entre o *bitrate* alvo (R_t) e o *bitrate* obtido (R_a) é normalizado. Em média o MPRC provê 1,13% (com variação máxima de 1,58%) de erro no *bitrate* enquanto (YAN, 2009) provê 1,61% (com variação máxima 2,01%) e o (LI, 2003) provê 2,46% (com variação máxima de 2,91%). Os resultados

mostram que o MPRC prediz mais precisamente o comportamento da taxa de bits e é capaz de adaptar o QP de forma mais adequada, a fim de reduzir o erro de saída.

$$MBEE = \left\{ \sum_{i=0}^{GOP_{size} \times N_v} \frac{|R_t - R_a|}{R_t} \times 100 \right\} / N_{Fr} \quad (53)$$

Tabela 6.1 – Comparação de Precisão do *Bitrate* para RC

Sequências		Bitrate [kbps]						MBEE [%]						
		Target	JMVC 8.5	SMRC	(YAN, 2009)	(LEE, 2011)	MPRC	HRC	JMVC 8.5	SMRC	(YAN, 2009)	(LEE, 2011)	MPRC	HRC
VGA	Ballroom	256	268	263	260	262	259	258	4,64	2,63	1,48	2,43	1,17	0,75
		392	408	402	397	401	396	395	4,06	2,61	1,32	2,21	1,07	0,78
		512	529	523	520	521	518	516	3,33	2,16	1,59	1,83	1,13	0,78
		1024	1058	1048	1041	1045	1032	1032	3,30	2,35	1,63	2,04	0,81	0,78
	Exit	256	267	261	259	258	258	258	4,29	2,10	1,18	0,86	0,88	0,94
		392	408	402	397	402	397	396	3,99	2,55	1,36	2,46	1,29	0,92
		512	528	523	521	520	519	516	3,21	2,25	1,83	1,65	1,36	0,83
		1024	1056	1048	1043	1043	1038	1031	3,14	2,34	1,85	1,90	1,38	0,72
	Flamenco2	256	268	263	259	263	258	258	4,79	2,91	1,30	2,89	0,84	0,71
		392	409	402	400	398	397	395	4,34	2,56	2,01	1,60	1,25	0,71
		512	530	526	522	524	519	516	3,56	2,68	1,96	2,36	1,36	0,84
		1024	1059	1049	1044	1043	1040	1031	3,41	2,44	1,98	1,87	1,58	0,70
	Vassar	256	267	262	261	262	258	258	4,27	2,30	1,91	2,27	0,81	0,75
		392	407	402	399	401	396	395	3,73	2,50	1,71	2,18	1,00	0,72
		512	528	525	519	520	517	516	3,13	2,54	1,39	1,56	1,07	0,86
		1024	1056	1049	1037	1038	1035	1033	3,15	2,46	1,28	1,38	1,10	0,86
Média		256	268	262	260	261	258	258	4,50	2,49	1,47	2,11	0,93	0,79
		392	408	402	398	400	397	395	4,03	2,55	1,60	2,11	1,15	0,78
		512	529	524	521	521	518	516	3,31	2,41	1,69	1,85	1,23	0,83
		1024	1057	1049	1041	1042	1036	1032	3,25	2,40	1,68	1,80	1,22	0,76
XGA	Break dancers	512	525	524	521	522	519	518	2,47	2,41	1,82	1,98	1,37	1,23
		768	801	788	782	784	778	776	4,33	2,54	1,88	2,09	1,26	1,08
		1024	1052	1050	1044	1044	1036	1034	2,72	2,56	1,91	1,99	1,21	1,00
		2048	2101	2109	2093	2094	2072	2070	2,58	2,99	2,19	2,24	1,15	1,06
	Uli	512	525	525	521	522	519	519	2,46	2,54	1,84	2,03	1,29	1,37
		768	801	789	783	784	777	776	4,28	2,72	1,90	2,14	1,20	1,08
		1024	1052	1052	1043	1044	1036	1034	2,74	2,72	1,87	1,97	1,16	0,95
		2048	2101	2101	2092	2095	2071	2069	2,59	2,60	2,17	2,28	1,13	1,05
Média		512	525	525	521	522	519	519	2,46	2,48	1,83	2,01	1,33	1,30
		768	801	788	783	784	777	776	4,30	2,63	1,89	2,11	1,23	1,08
		1024	1052	1051	1043	1044	1036	1034	2,73	2,64	1,89	1,98	1,18	0,97
		2048	2101	2105	2093	2094	2071	2070	2,58	2,80	2,18	2,26	1,14	1,05
Média Total									3,40	2,55	1,78	2,03	1,18	0,95

6.3 Qualidade Visual

A necessidade da análise da qualidade visual torna-se importante devido às perdas de informação inseridas através da quantização no H.264. Por isso, diferentes critérios podem ser adotados com o objetivo de tornar possível a avaliação de qualidade das imagens. Estes critérios fazem referência a algoritmos que comparam os pixels da imagem na entrada (original) com os pixels da imagem reconstruída. Neste contexto, o critério mais comumente utilizado na literatura é o PSNR (GHANBARI, 2003). O PSNR é uma métrica comparativa utilizada para mensurar a qualidade objetiva dos vídeos e é definido pela Eq. 54.

$$PSNR_{dB} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (54)$$

Esta comparação por PSNR é calculada a partir de dois quadros, original (O) e reconstruído R. Como critério de similaridade é utilizado o MSE (Erro Quadrático Médio) relativo ao valor máximo MAX de representação do pixel. O MSE é definido na Eq. 55, onde os valores de mn representam a dimensão (largura e altura) da imagem em pixels.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (R_{i,j} - O_{i,j})^2 \quad (55)$$

O HRC apresenta resultados de taxa-distorção que superam os obtidos por (LI, 2003), (YAN, 2009) e pelo software de referência JMVC 8.5. A Figura 6.1 mostra as curvas de R-D e os resultados do HRC sempre estão acima dos outros métodos.

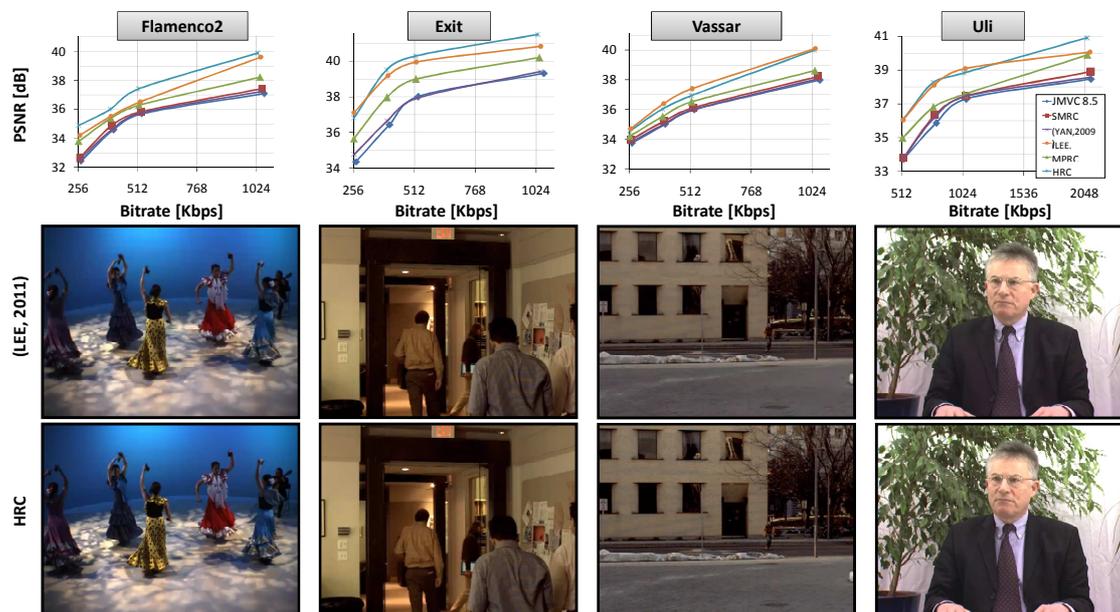


Figura 6.1 – Resultados de Taxa distorção

6.4 Eficiência de Codificação

A Tabela 6.2 apresenta saída da taxa de bits e qualidade em termos de BD-PSNR (*Bjontegaard Delta PSNR*) e BD-BR (*Bjontegaard Delta Bitrate*), esta métrica é recomendada pelo JVT para uma justa comparação entre resultados de precisão vs. qualidade visual (TAN, 2005). A Tabela 6.2 ainda apresenta comparações do MPRC frente ao software de referência JMVC 8.5 e (YAN, 2009). Comparado ao JMVC 8.5 e a (YAN, 2009) o MPRC um atinge um aumento de 0,6dB e 0,84dB no BD-PSNR respectivamente. A redução de BD-BR fica em 19,28% comparado à referência e 25,03% se comparado ao estado-da-arte para nível de quadros (YAN, 2009).

Tabela 6.2 – Comparação de eficiência do MPRC de Controle de Taxa

MPRC vs. JMVC 8.5				MPRC vs. (YAN, 2009)			
<i>Ballroom</i>		<i>Vassar</i>		<i>Ballroom</i>		<i>Vassar</i>	
BD-PSNR	BR-PSNR	BD-PSNR	BR-PSNR	BD-PSNR	BR-PSNR	BD-PSNR	BR-PSNR
-0,939	28,603	-0,596	20,333	-0,619	17,140	-0,411	13,565
<i>Exit</i>		<i>Flamenco2</i>		<i>Exit</i>		<i>Flamenco2</i>	
BD-PSNR	BR-PSNR	BD-PSNR	BR-PSNR	BD-PSNR	BR-PSNR	BD-PSNR	BR-PSNR
-1,089	36,920	-0,880	29,852	-0,726	24,959	-0,671	20,424

A Tabela 6.3 apresenta também os valores de BD-PSNR e BD-BR do HRC comparando-o ao software de referência JMVC 8.5, (YAN, 2009), MPRC e a (LEE, 2011). Comparado ao esquema do MPRC, o HRC atinge um aumento de 1,073dB no BD-PSNR enquanto apresentou uma redução de BD-BR de 51,39%. Se comparado ao

estado-da-arte (LEE, 2011) o BD-PSNR teve um aumento de 0,93dB enquanto o BD-BR reduz 28,43%.

Tabela 6.3 – Comparação de eficiência do HRC de Controle de Taxa

JMVC 8.5 vs.		VGA				XGA		Média
		Ballroom	Exit	Flamenco2	Vassar	Bdancer	Uli	
SMRC	BD-PSNR	0,328	0,368	0,217	0,183	0,215	0,208	0,253
	BD-BR	-9,831	-10,348	-8,784	-6,116	-8,963	-9,805	-8,974
(YAN, 2009)	BD-PSNR	-0,090	0,073	0,114	0,051	-0,086	0,155	0,036
	BD-BR	-4,156	-5,463	-3,346	-1,958	22,819	-5,293	0,434
(LEE, 2011)	BD-PSNR	2,056	2,058	1,292	1,509	2,019	1,879	1,802
	BD-BR	-35,446	-43,167	-26,643	-33,474	-43,445	-39,110	-36,881
MPRC	BD-PSNR	0,939	1,089	0,880	0,596	0,881	0,670	0,842
	BD-BR	-22,241	-26,965	-22,989	-16,897	-22,818	-20,964	-22,146
HRC	BD-PSNR	1,585	2,375	2,103	1,176	2,060	1,870	1,862
	BD-BR	-31,588	-47,458	-38,199	-27,335	-46,112	-49,660	-40,059

6.5 Resultados Detalhados

Nesta seção serão apresentados os resultados dos modelos detalhados para um vídeo em todas as camadas de controle. Para o MPRC será apresentado através da sequência “ballroom” com a distribuição de bits ao longo do tempo com detalhes para o eixo de vistas. Adicionalmente, será apresentado um gráfico com o acúmulo de bits ao longo da codificação. Para comparação do HRC com o estado-da-arte será apresentada a sequência “flamenco2” com os mesmos resultados acima citados com a inclusão de resultados para a camada de quadros, mostrando a qualidade visual obtida pelos controladores.

6.5.1 Acumulado

Ambas as soluções estado-da-arte produzem em média mais bits que a taxa de bits alvo como mostrado pela Tabela 6.1. O motivo pelo qual isto ocorre é o longo tempo que estes controladores tomam para atingir a estabilidade. Para avaliar este comportamento são apresentadas as taxas de bits acumuladas ao longo da codificação de 10 GOPs para as sequências “ballroom” e “flamenco2” na Figura 6.2 e na Figura 6.3 respectivamente.

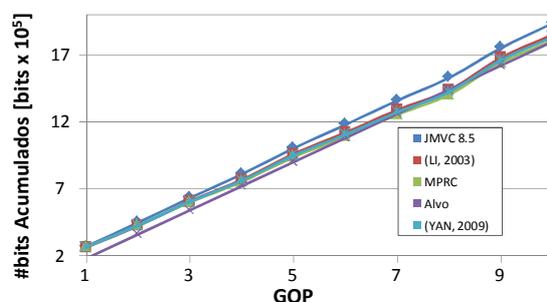


Figura 6.2 – Acúmulo de Bits pela sequência “Ballroom” (1024 kbps)

O resultado apresentado na Figura 6.2 para a codificação do MVC sem controle de taxa é também apresentada como base de comparação, é perceptível que nos pontos

iniciais todos os controladores produzem uma quantidade de bits entorno da taxa de bits alvo. Entretanto no GOP #7 o MPRC já aparece rente à linha do alvo (com pequenas e suaves variações) enquanto os esquemas de controle de (LI, 2003) e (YAN, 2009) necessitam mais GOPs para atingir uma estabilidade e gerar bits de acordo com o desejado.

Nos resultado apresentados pela Figura 6.3 para a codificação da sequência “flamenco2” precebe-se que todos os controladores produzem, inicialmente, uma quantidade de bits acima da taxa de bits alvo, porém o comportamento apresentado nos GOPs finais é distinto da Figura 6.2. Neste, apenas o HRC aparece rente à linha do alvo, enquanto os esquemas de controle de (LI, 2003), (YAN, 2009) e (LEE, 2011) se afastam da linha alvo o que sugere que há um desperdício na largura de banda do canal.

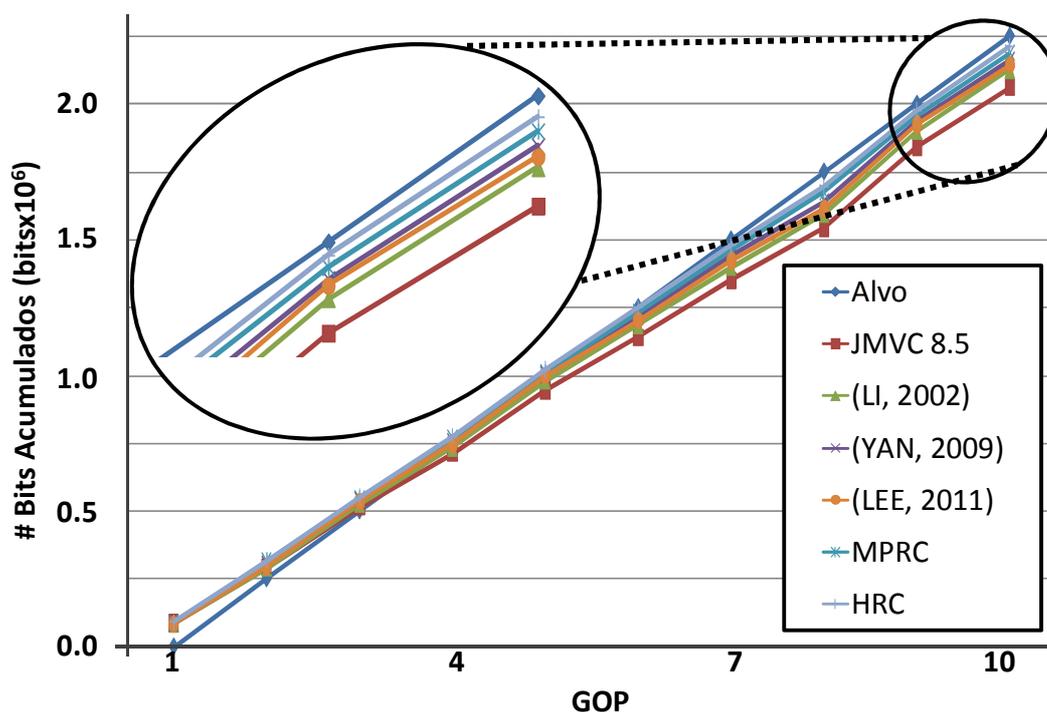


Figura 6.3 – Acumulo de Bits pela sequência “flamenco2” (1024 kbps)

6.5.2 Resultados detalhados para MPRC

A Figura 6.4 detalha o comportamento do MPRC no tempo. Percebe-se que as variações para *bitrate* na Figura 6.4a e para PSNR na Figura 6.4b tendem a diminuir com a estabilidade do controlador. A estabilidade fica clara ao compararmos o GOP #3 com o GOP #8 (marcados com caixas pontilhadas).

Na Figura 6.4c e 6.4d são apresentados detalhes em nível de quadros considerando as quatro primeiras vistas da sequência de vídeo “ballroom”. Estas mostram as tênues variações de *bitrate* e PSNR respectivamente entregadas pelo MPRC considerado ambos os eixos de vista e tempo. Comparado ao controlador estado-da-arte na camada de quadros, o *bitrate* atingido pelo MPRC é significativamente mais suave (veja os picos na Figura 6.4a), também é possível perceber que reage melhor a variações repentinas.

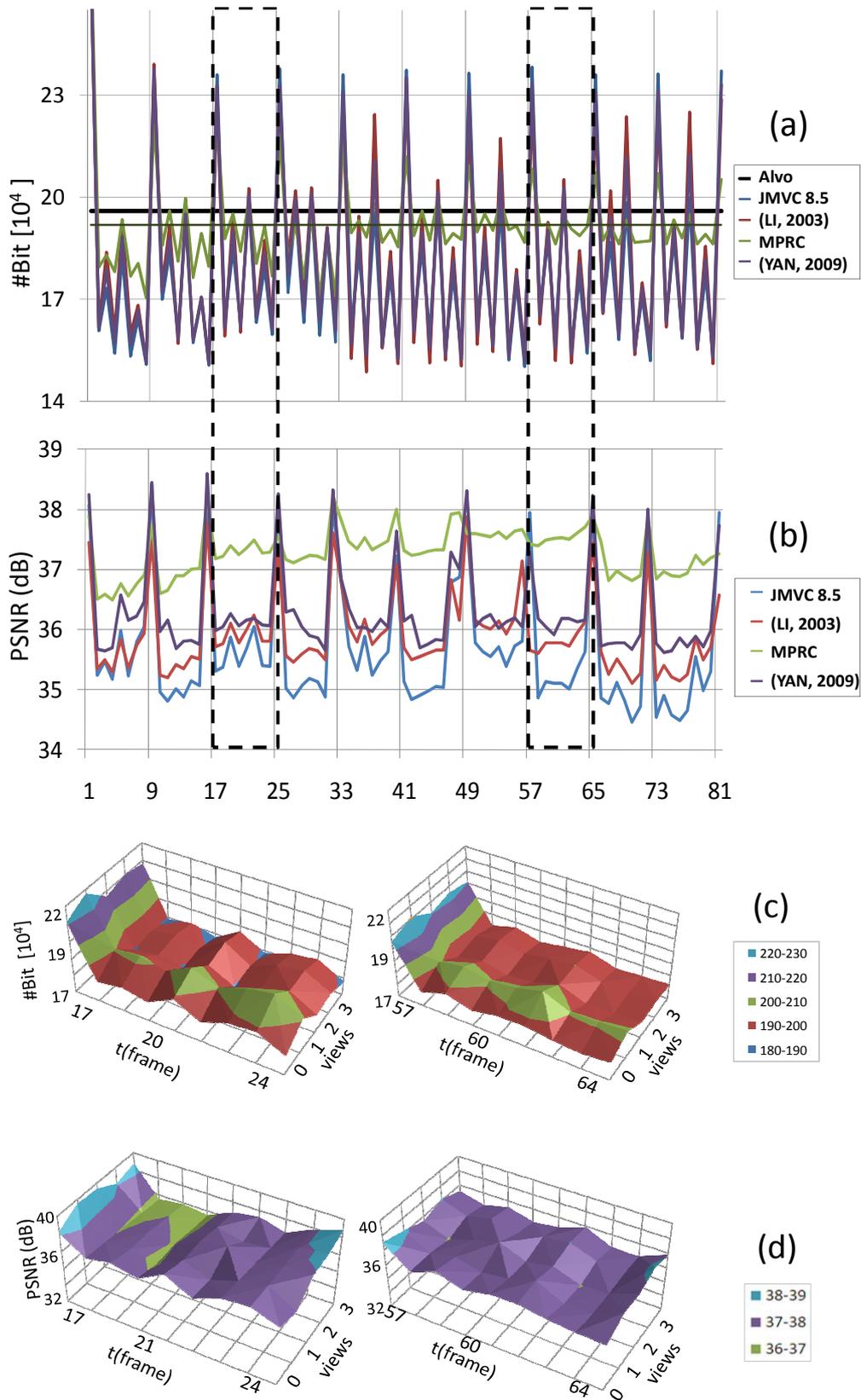


Figura 6.4 – Distribuição de bits (a) e qualidade visual (b) ao longo dos quadros. Detalhe da distribuição de bits (c) e qualidade (d) para GOPs #3 e #8

6.5.3 Resultados detalhados para HRC

A Figura 6.5 apresenta o comportamento do HRC ao longo de 8 GGOPs. Percebe-se que as variações para *bitrate* na Figura 6.5a e para PSNR na Figura 6.5b tendem a diminuir com a estabilidade do controlador. A estabilidade fica clara ao compararmos o GOP #1 com o GOP #8 (marcados com caixas pontilhadas).

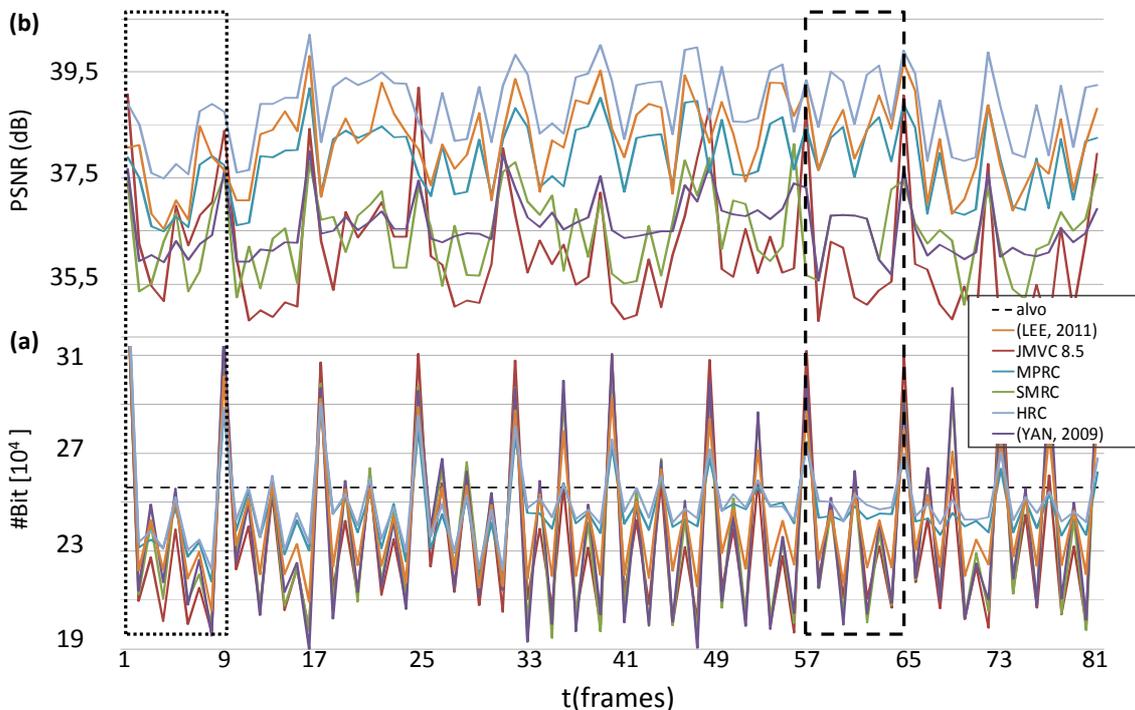


Figura 6.5 – Comportamento do *bitrate* (a) e qualidade do vídeo (b) ao longo do tempo.

A Figura 6.6 mostra o *bitrate* alvo, o total acumulado e o acumulado para cada vista. A distribuição de bits apresentada é suave também na distribuição de bits em nível de vistas, sem oscilações abruptas. Como esperado, a vista base (vista 0 ou Vista I) demanda mais bits que as vistas P (vista 2) e as vistas B (vistas 1 e 3).

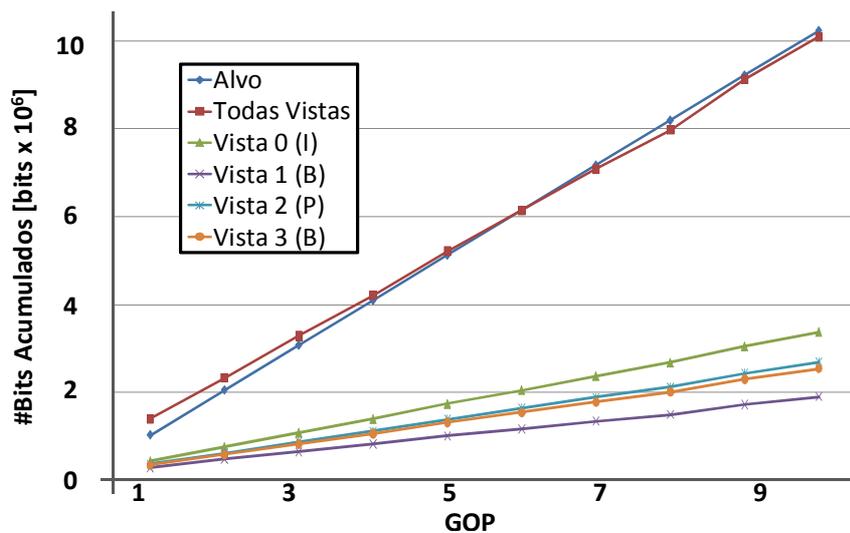


Figura 6.6 – Distribuição de bits a nível de vistas (*flamenco2*).

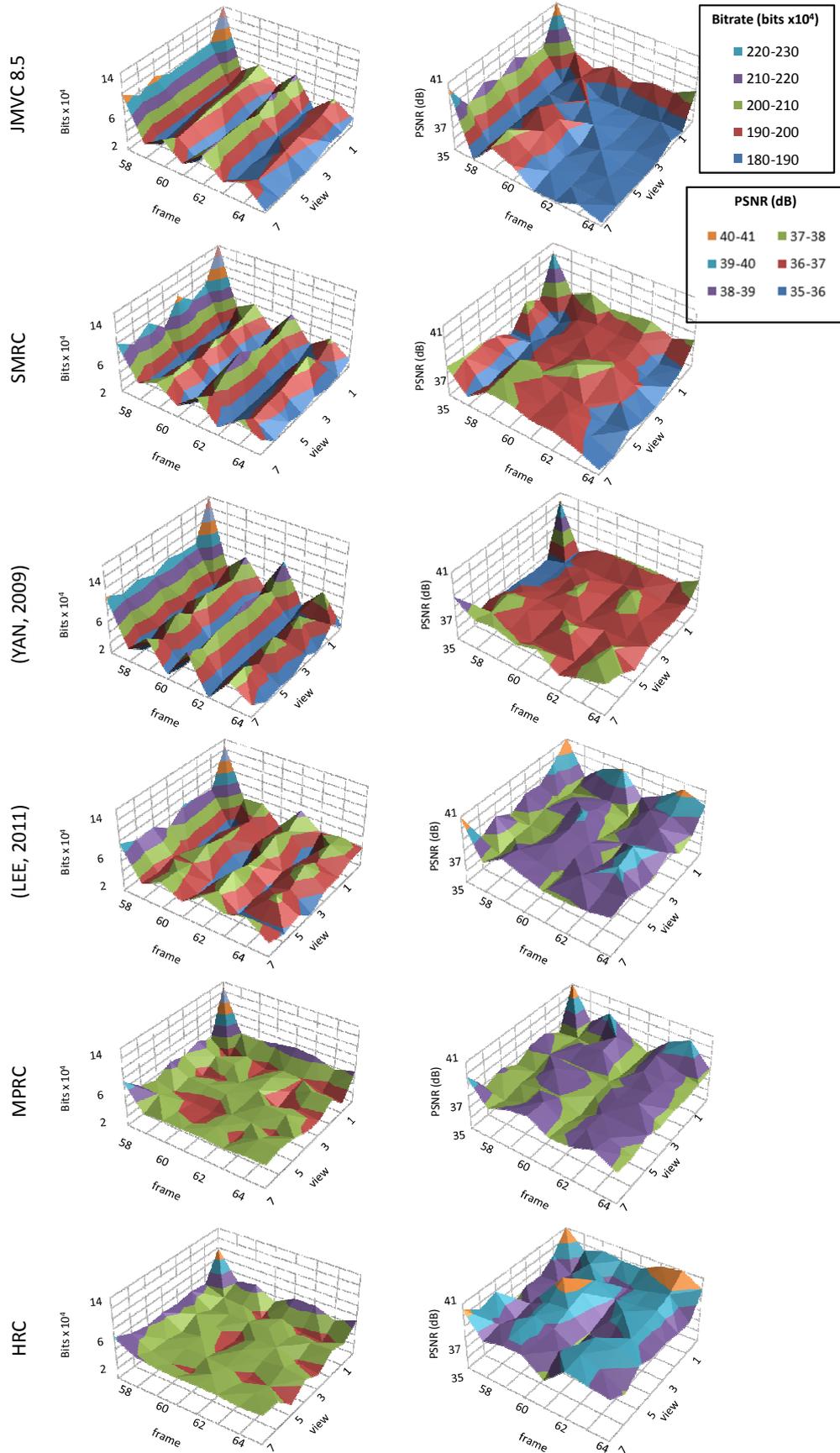


Figura 6.7 – Distribuição de Bits e PSNR para o nível de quadros (GOP #8).

A distribuição das taxas de bits em nível de quadros é detalhada para o GOP #8 (destacado na Figura 6.5) na Figura 6.7. Esta figura mostra graficamente a suavidade da distribuição do *bitrate* e as variações do PSNR entregados pelo modelo HRC. A superfície de resultados do HRC não apresenta variações repentinas tanto em *bitrate* quanto em PSNR. Comparado às outras soluções, fica evidente que o HRC entrega resultados mais adequados que os trabalhos relacionados.

Analogamente a esta análise, a Figura 6.8 apresenta o comportamento da distribuição da taxa de bits no nível de quadros do controle de taxa. Esta figura mostra a distribuição de bits para uma região de um quadro (na imagem ampliada) na sequência (*flamenco2*). É visível que a distribuição do HRC varia de acordo com a textura devido às informações das regiões de interesse que são passadas aos passos de decisão MDP. As técnicas estado-da-arte não entregam uma distribuição adequada ao conteúdo do quadro. Entre os trabalhos relatados, (YAN, 2009) parece adaptar melhor as regiões da imagem, entretanto, os resultados de MBEE (apresentados na Tabela 6.1) são menos precisos.

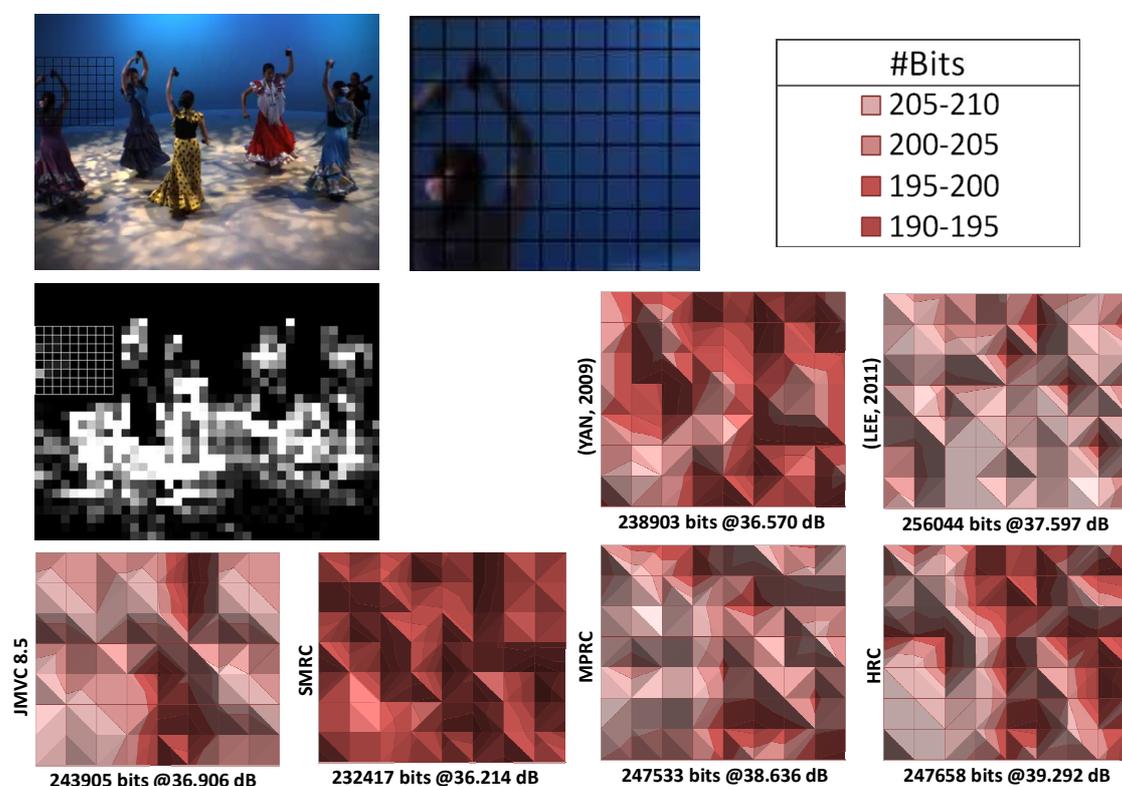


Figura 6.8 – Distribuição de Bits para unidades básicas (GOP #8).

7 CONCLUSÃO

Esta dissertação apresentou um novo método de controle de taxa hierárquico para vídeos de múltiplas vistas, um controle que considera os níveis de quadro e de unidades básicas do padrão H.264/MVC. A solução proposta emprega técnicas de controle MPC para nível de quadros com objetivo de explorar a distribuição de bits correlata à vizinhança de quadros (domínio de tempo e vista) enquanto considera o comportamento de periodicidade apresentado pelos GOPs. No nível de unidades básicas, um processo de decisão de Markov é implementado considerando mapas de regiões de interesse para priorizar regiões de difícil predição, internas a um quadro. Aprendizagem por reforço é utilizada para providenciar um retorno para o controle em nível de quadros e unidades básicas. A aprendizagem por reforço define dinamicamente as probabilidades e recompensas do processo de decisão com base em experiências passadas e retorno do parâmetro provido pelo modelo MPC.

Resultados experimentais demonstram que a utilização do HRC leva vantagem em relação ao atual estado-da-arte para controladores de taxa propostos ao MVC. Em média, o esquema proposto reduz o erro de alocação de *bitrate* (MBEE) em 0,23%, proporcionando aumento de BD-PSNR em 1,02dB e 17,91% de redução BD-BR se comparado com a solução mais precisa de controle da literatura. Comparado com os trabalhos relacionados, o HRC ainda oferece uma qualidade de vídeo maior (0,06dB BD-PSNR) e taxa de bits reduzida (3,18% BD-BR), com 1,08% de erro de alocação de *bitrate* MBEE reduzida. Esta solução demonstra os benefícios de se considerar o RoI e a eficácia do método MPC para a estrutura HBP. Além disso, este trabalho demonstra a necessidade de considerar em conjunto o nível de quadro e de BU com retorno acoplado a fim de proporcionar uma distribuição taxa de bits eficiente e consistente com resultados de alta qualidade visual.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, L. **Desenvolvimento de Arquiteturas de Alta Performance Dedicadas à Compressão de Vídeo Segundo o Padrão H.264/AVC**. 2007. 173 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- AGRAFIOTIS, D.; BULL, D.R.; Canagarajah, N.; Kamnoonwatana, N.; "Multiple Priority Region of Interest Coding with H.264," ICIP 2006 , vol., no., pp.53-56, 8-11 Oct. 2006
- BRAVO, C. A.; NORMEY-RICO, J. E. **Approach for non-linear predictive control based on the local model ideas**. Sba Controle & Automação, 2009.
- CAMACHO, E. F., BORDONS, C. **Model Predictive Control**, Springer-Verlag, United Kingdom 2004.
- CHEN, C.-T. **Linear system theory and design**. Rinehart and Winston, New York, 1984.
- CHEN, Y. et al. **The Emerging MVC Standard for 3D VideoServices**. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, v. 2009, p. 1-13, 2003.
- CHIANG, T., and ZHANG, Y.-Q., "A new rate control scheme using quadratic rate distortion model". IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 7, pp. 246–250, Feb. 1997.
- COELHO, L., "Processo de Decisão Markoviano e Aprendizagem por Reforço". PCS 5019 – Probabilistic Methods in Robotics and Vision, USP, 2009.
- CORBERA, J.R., LEI, S., **Rate control in DCT video coding for low-delay communication**, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. 1999.
- DEPRÁ, D. A. Algoritmos e **Desenvolvimento de Arquitetura para a Codificação Binária Adaptativa ao Contexto para o Decodificador H.264/AVC**. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- DODGSON, N. A. **Computer Autostereoscopic 3D Displays**, Agosto 2005.
- GONZALEZ, R.; WOODS, R. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.
- GOODWIN, G. C., GRAEBE, S. F., SALGADO, M. E., **Control System Design**, Prentice Hall, 2001.
- GRANCHAROVA, A.; JOHANSEN, T.A., "Approximate explicit model predictive control incorporating heuristics". Computer Aided Control System Design, 2002. Proceedings. 2002 IEEE International Symposium on, vol., no., pp. 92- 97, 2002
- INTERNATIONAL Telecommunications Union. **ITU-T Rec. H.264/ISO/IEC 14496-10 AVC**. [S.l.;S.n.]. 2003.

- INTERNATIONAL Telecommunications Union. "**Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services**" Version 03/2009 - MVC –Multiview Video Coding, 2009.
- ITU-T SG 15 Experts Group for Very Low Bit Rate Visual Telephony, Video codec Test Model for the Near term 5 (TMN5), January 1995.
- JIANG M., YI X., LING N., "**Improved frame-layer rate control for H.264 using MAD ratio**", Circuits and Systems, 2004. ISCAS '04., vol.3, no., pp. III- 813-16, May 2004.
- JIANG M.; LING N. , "**On Lagrange multiplier and quantizer adjustment for H.264 frame-layer video rate control**", Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on , vol.16, no.5, pp. 663- 669, May 2006.
- JVT (Joint Video Team) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG Document JVT-B118R2, 2002.
- KWON D-K.; SHEN M.-Y.; KUO, C.-C.J.; , "**Rate Control for H.264 Video With Enhanced Rate and Distortion Models**", Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on , vol.17, no.5, pp.517-529, May 2007.
- LEE, H.J.; CHIANG, T.H. e ZHANG, Y.Q. Scalable Rate Control for MPEG-4 Video. IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technology, 10: 878-894, 2000.
- LEE, P.-J.; LAI, Y.-C.; , "**Vision perceptual based rate control algorithm for multi-view video coding**", *System Science and Engineering (ICSSE), 2011 International Conference on*, vol., no., pp.342-345, 8-10 June 2011.
- LI, Z., PAN, F., LIM, K. P., FENG, G., LIN, X., e RAHARDJA, S. ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6) "**Adaptive Basic Unit Layer Rate Control for JVT**", Pattaya II ,Thailand, 7-14 March, 2003.
- LIU, Y.; LI, Z. G.; SOH, Y. C.; , "**A Novel Rate Control Scheme for Low Delay Video Communication of H.264/AVC Standard**", Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on , vol.17, no.1, pp.68-78, Jan. 2007.
- LIU Y. et al. , "**A Novel Rate Control Technique for Multiview Video Plus Depth Based 3D Video Coding**", Broadcasting, IEEE Transactions on , vol.57, no.2, pp.562-571, June 2011.
- MA, S.; WEN GAO; YAN LU; , "**Rate-distortion analysis for H.264/AVC video coding and its application to rate control**", Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, vol.15, no.12, pp. 1533- 1544, 2005.
- MERKLE, P. et al. **Efficient Prediction Structures for Multiview Video Coding**. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video technology, v. 17, n. 11, p. 1461-1473, Novembro 2007.
- NEGENBORN R.R., "**Learning-based model predictive control for Markov decision processes**", Proceedings of the 16th IFAC World Congress, Prague, 2005.
- NORMEY-RICO, J. E., CAMACHO E. F. **Control of Dead-time Processes**, Springer-Verlag, London Limited, United Kingdom. 2007.

- PARK S., SIM D., "An efficient rate-control algorithm for multi-view video coding," Consumer Electronics, 2009. ISCE '09. IEEE 13th International Symposium on , vol., no., pp.115-118, 25-28 May 2009.
- POURAZAD, M.; NASIOPOULOS, P.; WARD, R. **An Efficient Low Random-Access Delay Panorama-Based Multiview Video Coding Scheme.** IEEE Conference on Image Processing. Cairo: IEEE. 2009. p. 2945-2948.
- PURI, A.; et all. **Video Coding Using the H.264/AVC/MPEG-4 AVC Compression Standard.** Elsevier Signal Processing: Image Communication. [S.l.], n. 19, p.793-849, 2004.
- RICHARDSON, I. H.264/AVC and MPEG-4 Video Compression - **Video Coding for Next-Generation Multimedia.** Chichester: John Wiley and Sons, 2003.
- ROSA, V. S. **Arquiteturas de hardware dedicadas para codificadores de vídeo H.264: filtragem de efeitos de bloco e codificação aritmética binária adaptativa a contexto,** 171 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre. 2010.
- SALOMON, D. **Data Compression: The Complete Reference.** 2nd ed. New York: Springer, 2000.
- SAMPAIO, F. M., **Arquitetura de Hardware para Estimação de Movimento e de Disparidade baseada em reuso de dados para codificação de vídeos de Múltiplas Vistas,** UFPEL, Monografia de Conclusão de Curso, 2011.
- SHARMA, R., "Some more inequalities for arithmetic mean, harmonic mean and variance". J Math Inequalities 2 109–114, 2008.
- SMOLIC, A. et al. **3D Video and Free Viewpoint Video - Technologies, Applications and MPEG Standards.** 2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Toronto: IEEE. 2006. p. 2161 - 2164.
- SUHRING, K. **H.264/AVC Reference Software.** In: Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institute. Disponível em: <<http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/>>. Acesso em: maio 2011.
- TRUCCO, E.; VERRI, A. **Introductory Techniques for 3-D Computer Vision.** NJ: Prentice-Hall, 1998.
- VIZZOTTO, B., ZATT, B., SHAFIQUE, M., BAMPI, S., HENKEL, J., "A Model Predictive Controller for Frame-Level Rate Control in Multiview Video Coding", IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME), Melbourne, Australia , 2012.
- WHITE, D. J., **Markov Decision Process,** Wiley, 1993.
- WIEGAND, T. e GIROD, B. **Parameter Selection in Lagrangian Hybrid Video Coder Control,** ICIP 2001.
- WIEGAND, T. et al. **Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard.** IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, [S.l.], v. 13, n. 7, p. 560-576, July 2003.
- YAN T. et al. , "Rate Control Algorithm for Multi-View Video Coding Based on Correlation Analysis," Photonics and Optoelectronics, 2009. SOPO 2009. Symposium on , vol., no., pp.1-4, 14-16 Aug. 2009.

- YUAN H. et al., "**Model-Based Joint Bit Allocation Between Texture Videos and Depth Maps for 3-D Video Coding**," Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on , vol.21, no.4, pp.485-497, 2011.
- ZATT, B. **Modelagem de hardware para codificação de vídeo e arquitetura de compensação de movimento segundo o padrão H.264/AVC**, 2008. 120 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- ZENGH, T. **Model Predictive Control**, SCIYO ISBN 978-953-307-102-2 Rijeka, Croatia, 2010.
- ZHOU Y. et al. , "**PID-Based Bit Allocation Strategy for H.264/AVC Rate Control**," Circuits and Systems II: Express Briefs, IEEE Transactions on , vol.58, no.3, pp.184-188, March 2011.

APÊNDICE A <ARTIGOS DESENVOLVIDOS DURANTE O MESTRADO>

Artigos publicados ou aceitos para publicação:

- (VIZZOTTO, ZATT, SHAFIQUE, BAMPI, HENKEL) - A Model Predictive Controller for Frame-Level Rate Control in Multiview Video Coding, IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo (ICME), Melbourne, Australia, 2012.
- (VIZZOTTO, DINIZ, BAMPI) - Neighbor-based Fast Rate Control Scheme for Basic Unit Layer for H.264/AVC Standard, Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (WebMedia), Florianópolis – SC, Brasil, 2011.
- (THIELE, VIZZOTTO, MARTINS, ROSA, BAMPI) - A Low-Cost and High Efficiency Entropy Encoder Architecture for H.264/AVC, IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC), Santa Cruz – CA, Estados Unidos, 2012.
- (MONTEIRO, VIZZOTTO, DINIZ, ZATT, BAMPI) - Multiprocessing GPU Acceleration of H.264/AVC Motion Estimation under CUDA Architecture. Designing for Embedded Parallel Computing Platforms: Architectures, Design Tools, and Applications (DEPCP), Grenoble, França, 2011.
- (MONTEIRO, VIZZOTTO, DINIZ, ZATT, BAMPI) - Multiprocessing Acceleration of H.264/AVC Motion Estimation Full Search Algorithm under CUDA Architecture. XXVI South Symposium on Microelectronics (SIM), 2011.
- (MONTEIRO, VIZZOTTO, DINIZ, ZATT, BAMPI) - Applying CUDA Architecture to Accelerate Full Search Block Matching Algorithm for High Performance Motion Estimation in Video Encoding. 23rd International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing (SBAC-PAD), Vitória – ES, Brasil, 2011.

Artigos submetidos:

- (MONTEIRO, VIZZOTTO, DINIZ, ZATT, BAMPI) - Parallelization of Full Search Motion Estimation Algorithm for Parallel and Distributed Platforms. International Journal of Parallel Programming (IJPP) 2011.