

**Rodrigo Silva Mello**

**Codificação Distribuída de Vídeo com Modelagem  
do Canal de Correlação no Domínio da Transformada**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Marco Antonio Grivet Mattoso



**Rodrigo Silva Mello**

**Codificação Distribuída de Vídeo com  
Modelagem do Canal de Correlação no Domínio  
da Transformada**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia**

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações /PUC-Rio

**Profa Carla Liberal Pagliari**

IME

**Prof. Lisandro Lovisolo**

UERJ

**Prof. Marcelo Roberto P. Baptista Jimenez**

Centro de Estudos em Telecomunicações /PUC-Rio

**Prof. Weiler Alves Finamore**

Centro de Estudos em Telecomunicações /PUC-Rio

**Prof. Rodolfo Sabóia Lima de Souza**

Inmetro

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 16 de dezembro de 2010

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

## Rodrigo Silva Mello

possui curso técnico em Mecânica Industrial pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (1997), graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2002), mestrado em Engenharia Elétrica (Telecomunicações) pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2005) e doutorado em Engenharia Elétrica (Telecomunicações) pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2010). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas de Telecomunicações e Processamento de Sinais, atuando principalmente nos seguintes temas: Codificação de Vídeo Digital, Sistemas Móveis Celulares e Rádio Troncalizado, Telefonia IP e Comunicação de Dados pela Rede Elétrica (PLC).

### Ficha Catalográfica

Mello, Rodrigo Silva

Codificação distribuída de vídeo com modelagem do canal de correlação no domínio da transformada / Rodrigo Silva Mello; orientador: Marco Antonio Grivet Mattoso. – 2010.

209 f. il. (color.); 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2010.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Codificação distribuída de vídeo. 3. Teorema de Slepian-Wolf. 4. Teorema de Wyner-Ziv. 5. Informação lateral. 6. Quadro Wyner-Ziv. 7. Código de canal. 8. Plano de bits. 9. Canal de correlação. 10. Interpolação de quadros. I. Mattoso, Marco Antonio Grivet. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

## Agradecimentos

A Deus e à Nossa Senhora, pelas bênçãos e graças que me sustentaram em todos os momentos, ajudando-me a superar obstáculos para a realização deste estudo.

Aos meus pais Fernando e Bernardete, pelo amor, carinho educação, empenho e pelo sustento proporcionados ao longo dessa difícil jornada.

Aos meus irmãos, Fernanda e Ramon e demais familiares, pelo apoio, compreensão e incentivo durante todo este tempo.

Ao meu orientador, Professor Marco Antonio Grivet Mattoso, pela sua competência e por seu papel fundamental na estruturação deste trabalho, com sua orientação e dedicação incansáveis.

Aos professores Carla Liberal Pagliari e Lisandro Lovisolo, pela cooperação nos estudos desenvolvidos.

À professora Ana Pavani, pela amizade e grande parceria no encaminhamento das questões para alcance dos objetivos.

À PUC-Rio, e em especial ao corpo docente do CETUC, pela contribuição dada ao meu aprendizado profissional na Área de Telecomunicações.

Aos colegas do CETUC pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus amigos em geral, pela amizade e estímulo constantes.

## Resumo

Mello, Rodrigo Silva; Mattoso, Marco Antonio Grivet. **Codificação distribuída de vídeo com modelagem do canal de correlação no domínio da transformada.** Rio de Janeiro, 2010. 209p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A codificação distribuída de vídeo é um novo paradigma de codificação de vídeo que permite explorar a estatística da fonte apenas no decodificador. Nesse cenário, duas fontes correlatadas são independentemente codificadas usando codificadores distintos e os fluxos binários associados a cada uma são conjuntamente decodificados, explorando a correlação entre eles. A resiliência a erros é uma importante funcionalidade deste novo paradigma uma vez que a tradicional malha de predição no codificador e a propagação de erros associada a esta malha não existe ao não se explorar a correlação do sinal no codificador. Desta forma, esta tese tem como objetivo apresentar uma nova arquitetura de codificação distribuída de vídeo, desenvolvendo e analisando algoritmos mais eficientes para a mesma, reduzindo, desta forma, o *gap* de desempenho quando comparado aos sistemas tradicionais de codificação de vídeo [68]. Assim, o codec proposto nesta tese proporcionou: a otimização da arquitetura DVC (*Distributed Video Coding*), o desenvolvimento de novas ferramentas para a geração da informação lateral, a inclusão de um módulo de medida de correlação entre quadros para auxiliar na decodificação, a utilização de um processo de quantização Wyner-Ziv variável, a opção de uma codificação parcial de bitplanes, uma modelagem do canal de correlação baseada na estimação de parâmetros em nível de banda e de coeficientes da transformada DCT (*Discrete Cosine Transform*), a inclusão de um módulo de normalização da informação lateral e o desenvolvimento de um código de canal mais adequado à arquitetura proposta.

## Palavras-chave

Codificação Distribuída de Vídeo; Teorema de Slepian-Wolf; Teorema de Wyner-Ziv; Informação Lateral; Quadro Wyner-Ziv; Código de Canal; Plano de bits; Canal de Correlação; Interpolação de Quadros.

## Abstract

Mello, Rodrigo Silva; Mattoso, Marco Antonio Grivet (Advisor). **Distributed video coding with correlation channel modeling in the transform domain.** Rio de Janeiro, 2010. 209p. Dsc. Thesis - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Distributed video coding is a new video coding paradigm that allows exploiting the source statistics at the decoder only. In this scenario, two correlated sources are independently encoded using separated encoders and the bit streams associated to each one are jointly decoded exploiting the correlation between them. Improved error resilience is another major functionality of this new video coding paradigm since the usual encoder prediction loop and the associated error propagation do not exist anymore, because the signal correlation is not explored in the encoder. Therefore, this thesis aims to present a new architecture for distributed video coding, analyzing and developing more efficient algorithms for it, thus reducing the gap in performance when it is compared to traditional video coding [68]. Therefore, the codec proposed in this thesis provided: a DVC architecture optimization; the development of new tools for side information generation process; inclusion of a module for measuring correlation between frames in order to assist in the Wyner-Ziv frame reconstruction; the use of a Wyner-Ziv variable quantization process; the option of partial coding of bitplanes; a correlation channel model based on the estimation of parameters in band and DCT coefficient levels; an inclusion of a normalization stage to the side information; and the development of a channel code more appropriate to the proposed architecture.

## Keywords

Distributed Video Coding; Slepian-Wolf Theorem; Wyner-Ziv Theorem; Side Information; Wyner-Ziv frame; Channel Code; Bitplanes; Correlation Channel; frame interpolation.

# Sumário

<b>1 Introdução</b>	<b>25</b>
1.1. Fundamentos da Codificação Distribuída	26
1.2. Teorema de Slepian-Wolf para Codificação Distribuída	28
1.3. Codificação de Síndrome	30
1.4. Principais Objetivos da Tese	33
1.5. Apresentação do Trabalho	36
1.6. Publicações	37
<b>2 Aplicação da Codificação Wyner-Ziv para Vídeo</b>	<b>38</b>
2.1. Cálculo de Taxa-Distorção para Codificação com Informação Lateral no Receptor	38
2.2. Revisão de literatura sobre codificação Wyner-Ziv	40
2.3. Funcionamento da Codificação de Vídeo de Baixa Complexidade	41
2.4. Arquitetura-padrão para Codec DVC	43
<b>3 Código de Baixa Densidade, Irregular e com Taxa Variável</b>	<b>49</b>
3.1. Escolha do código	49
3.2. DVC baseado em Síndromes	49
3.3. Escolha do código	51
3.3.1. Fundamentos da Codificação LDPC Irregular	52
3.3.2. Probabilidades e LLR <i>a posteriori</i>	53
3.3.3. Transferência de Probabilidades entre Nós dos Grafos	54
3.3.4. Regras de Atualização de Mensagens Probabilísticas	57
3.3.5. Método para Síntese de nós de Síndrome	60
3.3.6. Algoritmo de Produto-e-Máximo	62
3.3.6.1. Codificação com o Código LIA	63
3.3.6.2. Decodificação com o Código LIA	65
3.4. Considerações sobre o Código Proposto	68
3.4.1.1. Avaliação da influência das iterações do Decodificador LIA na Reconstrução dos Bitplanes	68

<b>4 Codificador WZ-LIA</b>	<b>75</b>
4.1. Motivação	75
4.2. Arquitetura do Codec WZ-LIA	76
4.3. Procedimento de Codificação	77
4.4. Procedimento de Decodificação	80
4.5. Métodos e Técnicas do Codec Proposto	83
4.5.1. Transformada DCT no Codec WZ-LIA	83
4.5.2. Quantizador do Codec WZ-LIA	87
4.5.2.1. Quantização dos Coeficientes DC	87
4.5.2.2. Quantização do Coeficiente AC	91
4.5.3. Número de Níveis de Quantização	97
4.5.4. Abordagem sobre a Faixa Dinâmica	98
4.5.5. Cálculo do Passo de Quantização do Coeficiente DC	100
4.5.6. Cálculo do Passo de Quantização dos Coeficientes AC	102
4.5.7. Descrição do Método Proposto para Quantização	104
4.5.8. Avaliação do Método de Quantização Proposto	107
4.5.9. Procedimento de Geração dos <i>Bitplanes</i>	114
4.5.9.1. Avaliação Objetiva da Transmissão Parcial dos <i>Bitplanes</i>	114
4.5.9.2. Avaliação Subjetiva da Transmissão Parcial dos <i>Bitplanes</i>	117
4.5.10. Procedimento de Geração das Síndromes	118
4.6. Técnicas Propostas para Decodificação	119
4.6.1. Decodificação Iterativa LIA	119
4.6.2. Buffer e Transmissão Parcial das Síndromes	120
4.6.3. Estimacão de Taxa Mínima	121
4.6.3.1. Medida de Confiança	125
4.6.4. Modelagem do Canal de Correlação	126
4.6.4.1. Estimacão do Ruído de Correlação em nível de Sequência ( <i>offline</i> )	128
4.6.5. Modelos de Ruído de Correlação Estimados <i>Online</i>	129
4.6.5.1. Estimacão do Ruído de Correlação em nível de Frame	129
4.6.5.2. Estimacão Proposta para o Ruído de Correlação: em Nível de Banda	131



4.6.5.3. Estimação do Ruído de Correlação em Nível de Bloco	132
4.6.5.4. Estimação Proposta para o Ruído de Correlação: em Nível de Coeficiente	133
4.6.6. Avaliação da Modelagem do canal de Correlação	134
4.6.7. Geração da Informação Lateral	139
4.6.8. Método Proposto para Geração da Informação Lateral	143
4.6.8.1. Estimação Direta de Movimento	143
4.6.8.2. Estimação Reversa do Movimento	148
4.6.9. Avaliação dos Métodos de Estimação Bidirecional de Movimento	149
4.6.9.1. Problemas da Compensação de Frames Interpolados	159
4.6.9.2. Interpolação com base na Correlação entre Frames	161
4.6.9.3. Interpolação baseada na Estimativa de movimento	162
4.6.9.4. Extrapolação	163
4.6.10. Avaliação Subjetiva do Módulo Proposto para Geração da Informação Lateral	164
4.7. Avaliação Objetiva das Ferramentas Propostas para o Módulo de Geração da Informação Lateral	167
4.7.1. Avaliação Objetiva do módulo de Normalização	173
4.7.2. Avaliação Subjetiva Conjunta do processo de Normalização e de geração da Informação Lateral	177
4.7.3. Verificador de Falha	178
4.7.4. Reconstrução dos Coeficientes DCT	179
4.7.5. Simulações Gerais com o Codec WZ-LIA	183
4.7.5.1. PSNR média em função do Tempo de Processamento	183
4.7.5.2. PSNR ao longo da sequência para Diferentes Taxas de Compressão	184
4.7.5.3. Avaliação da influência da substituição das bandas zeradas do Frame WZ pela informação Lateral	185
<b>5 Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>187</b>
5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros	190
<b>6 Referências</b>	<b>193</b>

<b>7 Apêndice A – Construção do Código LDPC</b>	<b>202</b>
<b>8 Apêndice B – Opções de Configuração do Codec Proposto</b>	<b>207</b>
<b>9 Apêndice C – Algoritmo Proposto para Decodificação dos Bitplanes</b>	<b>208</b>

## Lista de figuras

Figura 1.1: Codificação distribuída de duas sequências aleatórias estatisticamente dependentes, $X$ e $Y$ .	26
Figura 1.2: Teorema de Slepian-Wolf: Região de taxa admissível para codificação distribuída de duas fontes estatisticamente dependentes e igualmente distribuídas.	27
Figura 1.3: Codificação de uma sequência de símbolos aleatórios $X$ utilizando na decodificação a informação lateral $Y$ correlacionada a $X$ .	28
Figura 1.4: (a) Codificador e decodificador utilizam a informação lateral $Y$ , a qual é correlatada a $X$ . Aqui, $X$ pode ser codificado com 2 bits. (b) Aqui, somente o decodificador tem acesso a $Y$ e ainda assim $X$ pode ser codificado usando apenas 2 bits.	31
Figura 2.1: Compressão com perdas de uma sequência $X$ utilizando a informação lateral $Y$ (relacionada estatisticamente a $X$ ) no decodificador.	38
Figura 2.2: Um codificador Wyner-Ziv prático é obtido cascadeando um quantizador e um codificador Slepian-Wolf.	39
Figura 2.3: Arquitetura de transcodificação de vídeo para transmissão <i>wireless</i> , utilizada na rede móvel celular [68].	42
Figura 2.4: Codificador de vídeo de baixa complexidade e decodificador correspondente.	43
Figura 2.5: Frames da sequência <i>Salesman</i> , QCIF: (a) Informação lateral $\hat{S}$ no decodificador, gerada por interpolação compensada do movimento (b) Frame reconstruído $S'$ depois da decodificação conjunta Wyner-Ziv.	46
Figura 2.6: Desempenho taxa-distorção de um codec de vídeo Wyner-Ziv, comparado à codificação de vídeo intraframe e interframe convencional, para sequência <i>Salesman</i> .	47
Figura 2.7: Desempenho taxa-distorção de um codec de vídeo Wyner-Ziv, comparado à codificação de vídeo intraframe e interframe convencional, para sequência <i>Hall Monitor</i> .	47
Figura 3.1: Cenário resumido de codificação assimétrica da fonte.	49
Figura 3.2: Início da difusão de mensagens dos nós de variáveis para	

os nós de paridade.	56
Figura 3.3: Exemplo de transferência de mensagens entre os nós de grafos bipartidos.	56
Figura 3.4: As funções VAR e PAR em nós de grau 3.	60
Figura 3.5: Síntese de nó de paridade de grau 3.	62
Figura 3.6: Codificador de baixa densidade, irregular e acumulado.	64
Figura 3.7: Grafo de decodificação das variáveis com o codificador transmitindo todas as síndromes acumuladas.	65
Figura 3.8: Grafo de codificação com o codificador transmitindo somente as síndromes acumuladas de índice par.	66
Figura 3.9: Grafo de decodificação com o codificador transmitindo os bits das síndromes de índice par.	67
Figura 3.10: PSNR do frame Wyner-Ziv para diferentes números de iterações do decodificador LIA, para sequência <i>Foreman</i> , com QP = 25 (intra) e TQ = 18 (WZ).	70
Figura 3.11: Diferença entre a PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando uma e cinquenta iterações, para a sequência <i>Foreman</i> , com QP = 25 (intra) e TQ = 18 (WZ).	70
Figura 3.12: PSNR do frame Wyner-Ziv para números diferentes de iterações do decodificador LIA, para sequência <i>News</i> , com QP = 25 (intra) e TQ = 18 (WZ).	71
Figura 3.13: PSNR do frame Wyner-Ziv para números diferentes de iterações do decodificador LIA, para sequência <i>News</i> , com QP = 25 (intra) e TQ = 18 (WZ), em uma escala maior (melhor visualização).	71
Figura 3.14: Diferença entre a PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando uma e cinquenta iterações, para a sequência <i>News</i> , com QP = 25 (intra) e TQ = 18 (WZ).	72
Figura 3.15: PSNR do frame Wyner-Ziv para números diferentes de iterações do decodificador LIA, para sequência <i>Foreman</i> , com QP = 26 (intra) e TQ = 7 (WZ).	72
Figura 3.16: Diferença entre a PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando uma e cinquenta iterações, para a sequência <i>Foreman</i> , com QP = 26 (intra) e TQ = 7 (WZ).	73

Figura 3.17: PSNR do frame Wyner-Ziv para números diferentes de iterações do decodificador LIA, para sequência <i>News</i> , com QP = 26 (intra) e TQ = 7 (WZ).	73
Figura 3.18: Diferença entre a PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando uma e cinquenta iterações, para a sequência <i>News</i> , com QP = 26 (intra) e TQ = 7 (WZ).	74
Figura 4.1: Diagrama de blocos da arquitetura de codificação distribuída proposta.	77
Figura 4.2: Ordem das posições (frequências espaciais) dentro de um bloco 4x4 de coeficientes DCT.	85
Figura 4.3: Quantizador escalar uniforme para o coeficiente DC com largura $W$ do intervalo de quantização.	88
Figura 4.4: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda DC ( $b_1$ ) da sequência <i>Foreman</i> .	89
Figura 4.5: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda DC ( $b_1$ ) da sequência <i>News</i> .	89
Figura 4.6: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda DC ( $b_1$ ) da sequência <i>Coastguard</i> .	90
Figura 4.7: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda DC ( $b_1$ ) da sequência <i>Soccer</i> .	90
Figura 4.8: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda AC ( $b_2$ ) de mais baixa frequência espacial da sequência <i>Foreman</i> , QCIF.	91
Figura 4.9: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda AC ( $b_2$ ) de mais baixa frequência espacial da sequência <i>News</i> , QCIF.	92
Figura 4.10: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda AC ( $b_2$ ) de mais baixa frequência espacial da sequência <i>Coastguard</i> , QCIF.	92
Figura 4.11: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda AC ( $b_2$ ) de mais baixa frequência espacial da sequência <i>Soccer</i> , QCIF.	93
Figura 4.12: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda AC ( $b_3$ ) de mais alta frequência espacial da sequência <i>Foreman</i> QCIF.	93
Figura 4.13: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda AC ( $b_3$ ) de mais alta frequência espacial da sequência <i>News</i> , QCIF.	94
Figura 4.14: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda AC ( $b_3$ )	

de mais alta frequência espacial da sequência <i>Coastguard</i> , QCIF.	94
Figura 4.15: Distribuição dos coeficientes DCT para a banda AC ( $b_3$ ) de mais alta frequência espacial da sequência <i>Soccer</i> , QCIF.	95
Figura 4.16: Quantizador escalar uniforme sem um intervalo de quantização simétrico em torno da amplitude zero.	95
Figura 4.17: problema de quantização dos coeficientes AC usando um quantizador sem um intervalo de quantização simétrico em torno da amplitude zero.	96
Figura 4.18: Quantizador escalar uniforme com um intervalo de quantização simétrico em torno da amplitude zero.	97
Figura 4.19: 18 matrizes de quantização associadas a diferentes desempenhos taxa-distorção, onde cada elemento da mesma é o número de níveis de quantização da banda correspondente àquela posição.	106
Figura 4.20: 8 matrizes de quantização associadas a diferentes desempenhos taxa-distorção, onde cada elemento da mesma é o número de níveis de quantização da banda correspondente àquela posição.	106
Figura 4.21: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes técnicas de quantização, para sequência <i>Foreman</i> , com QP = 26 (intra) e TQ = 18 (nível de qualidade).	110
Figura 4.22: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes técnicas de quantização, para sequência <i>News</i> , com QP = 26 (intra) e TQ = 18 (nível de qualidade).	110
Figura 4.23: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes técnicas de quantização, para sequência <i>Coastguard</i> , com QP = 26 (intra) e TQ = 18 (nível de qualidade).	111
Figura 4.24: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes técnicas de quantização, para sequência <i>Soccer</i> , com QP = 26 (intra) e TQ = 18 (nível de qualidade).	111
Figura 4.25: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes técnicas de quantização, para sequência <i>Foreman</i> , com QP = 36 (intra) e TQ = 7 (nível de qualidade).	112
Figura 4.26: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes técnicas de quantização, para sequência <i>News</i> , com QP = 36 (intra)	

e TQ = 7 (nível de qualidade).	112
Figura 4.27: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes técnicas de quantização, para sequência <i>Coastguard</i> , com QP = 36 (intra) e TQ = 7 (nível de qualidade).	113
Figura 4.28: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes técnicas de quantização, para sequência <i>Soccer</i> , com QP = 36 (intra) e TQ = 7 (nível de qualidade).	113
Figura 4.29: PSNR do frame Wyner-Ziv codificando-se diferentes quantidades de bitplanes, para sequência <i>Foreman</i> , com QP = 27 (intra) e TQ = 18 (nível de qualidade).	116
Figura 4.30: PSNR do frame Wyner-Ziv codificando-se diferentes quantidades de bitplanes, para sequência <i>News</i> , com QP = 27 (intra) e TQ = 18 (nível de qualidade).	116
Figura 4.31: (a) frame WZ original da sequência <i>Foreman</i> ; (b) frame WZ reconstruído considerando todos os bitplanes; (c) excluindo-se o bitplane menos significativo; (d) excluindo-se os dois bitplanes menos significativos; (e) excluindo-se os três bitplanes menos significativos.	117
Figura 4.32: (a) frame WZ original da sequência <i>News</i> ; (b) frame WZ reconstruído considerando todos os bitplanes; (c) excluindo-se o bitplane menos significativo; (d) excluindo-se os dois bitplanes menos significativos; (e) excluindo-se os três bitplanes menos significativos.	118
Figura 4.33: Probabilidade condicional do bit $x_{2,j}$ dada a informação lateral $y_j$ e que o bit anterior, $x_{1,j}$ , foi estimado com valor igual 1.	124
Figura 4.34: PSNR para diferentes níveis de estimação do parâmetro laplaciano, para a sequência <i>Foreman</i> , QCIF, com QP = 32 (intra) e TQ = 9 (WZ).	136
Figura 4.35: PSNR para diferentes níveis de estimação do parâmetro laplaciano, para a sequência <i>News</i> , QCIF, QP = 32 (intra) e TQ = 9 (WZ).	136
Figura 4.36: PSNR para diferentes níveis de estimação do parâmetro laplaciano, sequência <i>Coastguard</i> , QCIF, QP = 32 (intra) e TQ = 9 (WZ).	137
Figura 4.37: PSNR para diferentes níveis de estimação do parâmetro laplaciano, para a sequência <i>Soccer</i> , QCIF, QP = 32 (intra) e TQ = 9 (WZ).	137

Figura 4.38: PSNR para decodificação com e sem a utilização da modelagem do canal de correlação, para a sequência <i>Foreman</i> , QCIF, com QP = 32 (intra) e TQ = 9 (WZ).	138
Figura 4.39: PSNR para decodificação com e sem a utilização da modelagem do canal de correlação, para a sequência <i>News</i> , QCIF, com QP = 32 (intra) e TQ = 9 (WZ).	138
Figura 4.40: hipóteses de estimação de movimento do frame atual.	141
Figura 4.41: Processo de geração da informação lateral Proposto	142
Figura 4.42: Componentes básicos do processo de estimação direta de movimento	144
Figura 4.43: (a) estimação direta do movimento passando pelo frame interpolado $Y_{2i}$ . (b) projeção dos blocos utilizados na estimação do movimento.	145
Figura 4.44: interpolação a partir do processo de compensação do movimento, apresentando várias estimações associadas a um único ponto do frame interpolado.	147
Figura 4.45: Sentido e direção dos vetores de movimento na estimação reversa.	149
Figura 4.46: PSNR da informação lateral ao longo da sequência para diferentes métodos de estimação de movimento, sequência <i>Foreman</i> , com QP = 40 (intra), macrobloco 8x8.	151
Figura 4.47: PSNR da informação lateral ao longo da sequência para diferentes métodos de estimação de movimento, sequência <i>News</i> , com QP = 40 (intra), macrobloco 8x8.	151
Figura 4.48: Número médio de buscas por macrobloco, para diferentes métodos, para a sequência <i>Foreman</i> , com QP = 40 (intra), macrobloco 8x8.	152
Figura 4.49: Número médio de buscas por macrobloco, para diferentes métodos, para a sequência <i>News</i> , com QP = 40 (intra), macrobloco 8x8.	152
Figura 4.50: PSNR da informação lateral ao longo da sequência para diferentes métodos de estimação de movimento, sequência <i>Foreman</i> , com QP = 26 (intra), macrobloco 8x8.	153
Figura 4.51: PSNR da informação lateral ao longo da sequência para diferentes métodos de estimação de movimento, sequência <i>News</i> , com	



QP = 26 (intra), macrobloco 8x8.	153
Figura 4.52: Número médio de buscas por macrobloco, para diferentes métodos, para a sequência <i>Foreman</i> , com QP = 26 (intra), macrobloco 8x8.	154
Figura 4.53: Número médio de buscas por macrobloco, para diferentes métodos, para a sequência <i>News</i> , com QP = 26 (intra), macrobloco 8x8.	154
Figura 4.54: PSNR da informação lateral para diferentes métodos de estimação de movimento, sequência <i>Foreman</i> , com QP = 40 (intra), macrobloco 16x16.	155
Figura 4.55: PSNR da informação lateral ao longo da sequência para diferentes métodos de estimação de movimento, sequência <i>News</i> , com QP = 40 (intra), macrobloco 16x16.	155
Figura 4.56: Número médio de buscas por macrobloco, para diferentes métodos, sequência <i>Foreman</i> , com QP = 40 (intra), macrobloco 16x16.	156
Figura 4.57: Número médio de buscas por macrobloco, para diferentes métodos, para a sequência <i>News</i> , com QP = 40 (intra), macrobloco 16x16.	156
Figura 4.58: PSNR da informação lateral para diferentes métodos de estimação de movimento, sequência <i>Foreman</i> , com QP = 26 (intra), macrobloco 16x16.	157
Figura 4.59: PSNR da informação lateral ao longo da sequência para diferentes métodos de estimação de movimento, sequência <i>News</i> , com QP = 26 (intra), macrobloco 16x16.	157
Figura 4.60: Número médio de buscas por macrobloco, para diferentes métodos, sequência <i>Foreman</i> , com QP = 26 (intra), macrobloco 16x16.	158
Figura 4.61: Número médio de buscas por macrobloco, para diferentes métodos, para a sequência <i>News</i> , com QP = 26 (intra), macrobloco 16x16.	158
Figura 4.62: Pixels descobertos no frame interpolado devido à estimação de movimento não partir do centro dos blocos do frame interpolado [70].	159
Figura 4.63: Exemplo de disposição de blocos resultantes da estimação e compensação do movimento no frame interpolado.	160
Figura 4.64: Disposição dos blocos resultantes da compensação de movimento, no frame interpolado: (a) utilizando blocos 8x8; (b) utilizando blocos 16x16.	160
Figura 4.65: Método de extrapolação proposto neste trabalho.	163

- Figura 4.66: Frame WZ reconstruído utilizando a seguinte técnica de geração da informação lateral: (a) Interpolação simples; (b) Interpolação ponderada (proposta); (c) Método proposto (d) Frame WZ original da sequência *Foreman*. 165
- Figura 4.67: Frame WZ 138 reconstruído utilizando a seguinte técnica de geração da informação lateral: (a) interpolação simples; (b) Interpolação ponderada (proposta); (c) Método proposto (d) Frame WZ original da sequência *News*. 166
- Figura 4.68: Frame WZ 138 reconstruído utilizando a seguinte técnica de geração da informação lateral: (a) interpolação simples; (b) Interpolação ponderada (proposta); (c) Método proposto (d) Frame WZ original da sequência *Soccer*. 166
- Figura 4.69: Frame WZ 138 reconstruído utilizando a seguinte técnica de geração da informação lateral: (a) interpolação simples; (b) Interpolação ponderada (proposta); (c) Método proposto (d) Frame WZ original da sequência *Coastguard*. 167
- Figura 4.70: PSNR para as diversas etapas do processo de geração da informação lateral, para a sequência *Foreman*, QCIF, com passo de quantização QP = 24 (intra). 169
- Figura 4.71: PSNR para as diversas etapas do processo de geração da informação lateral, para a sequência *News*, QCIF, com passo de quantização QP = 24 (intra). 170
- Figura 4.72: PSNR para as diversas etapas do processo de geração da informação lateral, para a sequência *Coastguard*, QCIF, com passo de quantização QP = 24 (intra). 170
- Figura 4.73: PSNR para as diversas etapas do processo de geração da informação lateral, para a sequência *Soccer*, QCIF, com passo de quantização QP = 24 (intra). 171
- Figura 4.74: PSNR para as diversas etapas do processo de geração da informação lateral, para a sequência *Foreman*, QCIF, com passo de quantização QP = 38 (intra). 171
- Figura 4.75: PSNR para as diversas etapas do processo de geração da informação lateral, para a sequência *News*, QCIF, com passo de

quantização QP = 38 (intra).	172
Figura 4.76: PSNR para as diversas etapas do processo de geração da informação lateral, para a sequência <i>Coastguard</i> , QCIF, com passo de quantização QP = 38 (intra).	172
Figura 4.77: PSNR para as diversas etapas do processo de geração da informação lateral, para a sequência <i>Soccer</i> , QCIF, com passo de quantização QP = 38 (intra).	173
Figura 4.78: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes fatores de normalização, para sequência <i>Foreman</i> , com QP = 38 (intra) e TQ = 7 (WZ).	174
Figura 4.79: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes fatores de normalização, para sequência <i>News</i> , com QP = 38 (intra) e TQ = 7 (WZ).	175
Figura 4.80: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes fatores de normalização, para sequência <i>Coastguard</i> , com QP = 38 (intra) e TQ = 7 (WZ).	175
Figura 4.81: PSNR do frame Wyner-Ziv utilizando diferentes fatores de normalização, para sequência <i>Soccer</i> , com QP = 38 (intra) e TQ = 7 (WZ).	176
Figura 4.82: Comparação entre o valor médio dos pixels do frame WZ e da informação lateral, para sequência <i>News</i> .	176
Figura 4.83: Comparação entre o valor médio dos pixels do frame WZ e da informação lateral, para sequência <i>Foreman</i> .	177
Figura 4.84: Frames resultantes do processo de: (a) interpolação ponderada da estimação bidirecional de movimento 8x8; (b) interpolação ponderada da estimação bidirecional de movimento 16x16; (c) extrapolação do frame interpolado; (d) normalização da informação lateral; (e) frame WZ original.	178
Figura 4.85: Procedimento de reconstrução de cada coeficiente DCT da banda $b_k$ : (a) Caso I, (b) Caso II, (c) Caso III.	182
Figura 4.86: PSNR média para a sequência <i>Foreman</i> , para 3 níveis diferentes de qualidade (QP, TQ) versus tempo de processamento.	184
Figura 4.87: Variação da PSNR do frames WZ, ao longo dos da	

sequência *Foreman*, para diferentes passos de quantização *intraframe* e diferentes qualidades: {QP=24, TQ=18},{QP=28, TQ=10},{QP=32, TQ=4}. 185

Figura 4.88: PSNR do frame Wyner-Ziv, substituindo-se as bandas com número de níveis igual a zero pelas correspondentes da informação lateral, para sequência *News*, com QP = 28 (intra) e TQ = 13 (WZ). 186

Figura 4.89: PSNR do frame Wyner-Ziv, substituindo-se as bandas com número de níveis igual a zero pelas correspondentes da informação lateral, para sequência *News*, com QP = 28 (intra) e TQ = 13 (WZ). 186

## Lista de Tabelas

Tabela 4.1: Métodos de cálculo da faixa dinâmica do coeficiente DC	105
Tabela 4.2: Composição dos bitplanes da k-ésima banda.	112
Tabela 4.3: número total de bits transmitidos por banda, conforme o número de bitplanes codificados.	113
Tabela 4.4: PSNR média e número de parâmetros laplacianos que necessitam ser calculados em função do nível de granularidade.	133



## Lista de Siglas e Abreviaturas

<b>ADSL</b>	<b>A</b> synchronous <b>D</b> igital <b>S</b> ubscriber <b>L</b> ine
<b>APP</b>	<b>A</b> <b>P</b> osteriori <b>P</b> robability
<b>ARPS</b>	<b>A</b> daptive <b>R</b> ood <b>P</b> attern <b>S</b> earch
<b>AVC</b>	<b>A</b> dvanced <b>V</b> ideo <b>C</b> oding
<b>BCJR</b>	<b>B</b> ahl- <b>C</b> ocke- <b>J</b> elinek- <b>R</b> aviv
<b>BP</b>	<b>B</b> elief <b>P</b> ropagation
<b>Codec</b>	<b>C</b> odificador e <b>d</b> ecodificador
<b>Coset</b>	<b>C</b> odeword <b>s</b> et
<b>CRC</b>	<b>C</b> yclic <b>R</b> edundancy <b>C</b> heck
<b>DCT</b>	<b>D</b> iscrete <b>C</b> osine <b>T</b> ransform
<b>DS</b>	<b>D</b> iamond <b>S</b> earch
<b>DSC</b>	<b>D</b> istributed <b>S</b> ource <b>C</b> oding
<b>DVC</b>	<b>D</b> istributed <b>V</b> ideo <b>C</b> oding
<b>eIRA</b>	<b>e</b> xtended <b>I</b> rregular <b>R</b> epeat <b>A</b> ccumulate
<b>ES</b>	<b>E</b> xhaustive <b>S</b> earch
<b>GOP</b>	<b>G</b> roup of <b>P</b> ictures
<b>HVS</b>	<b>H</b> uman <b>V</b> isual <b>S</b> ystem
<b>IDCT</b>	<b>I</b> nverse <b>D</b> iscrete <b>C</b> osine <b>T</b> ransform
<b>ITU-T</b>	<b>I</b> nternational <b>T</b> elecommunication <b>U</b> nion - <b>T</b> elecommunications
<b>KLT</b>	<b>T</b> ransformada de <b>K</b> arhunen- <b>L</b> oève
<b>LDPC</b>	<b>L</b> ow <b>D</b> ensity <b>P</b> arity- <b>C</b> heck
<b>LDPCA</b>	<b>L</b> DPC <b>A</b> cumulado
<b>LIA</b>	<b>L</b> DPC <b>I</b> rregular, <b>A</b> cumulado e <b>A</b> daptativo
<b>LLR</b>	<b>L</b> og- <b>L</b> ikelihood <b>R</b> atio
<b>LSB</b>	<b>L</b> east <b>S</b> ignificant <b>B</b> its
<b>MAD</b>	<b>M</b> ean <b>A</b> bsolute <b>D</b> ifference
<b>MAP</b>	<b>M</b> aximum <b>A</b> <b>P</b> osteriori
<b>ML</b>	<b>M</b> aximum <b>L</b> ikelihood
<b>MMS</b>	<b>M</b> ultimedia <b>M</b> essaging <b>S</b> ervice
<b>MPEG</b>	<b>M</b> oving <b>P</b> icture <b>E</b> xperts <b>G</b> roup

<b>MSB</b>	<b>Most Significant Bits</b>
<b>MSE</b>	<b>Mean Square Error</b>
<b>MV</b>	<b>Motion Vector</b>
<b>NCC</b>	<b>Número de Casos Confiáveis</b>
<b>NTSS</b>	<b>New Three Step Search</b>
<b>PDWZ</b>	<b>Pixel Domain Wyner-Ziv</b>
<b>PRISM</b>	<b>Power-efficient, Robust, high compression, Syndrome-based Multimedia (coding)</b>
<b>PSNR</b>	<b>Peak Signal-to-Noise Ratio</b>
<b>QCIF</b>	<b>Quarter Common International Format</b>
<b>QP</b>	<b>Quantization Parameter</b>
<b>RCPT</b>	<b>Rate-Compatible Punctured Turbo</b>
<b>RD</b>	<b>Rate-Distortion</b>
<b>SISO</b>	<b>Soft Input-Soft Output</b>
<b>SP</b>	<b>Sum-Product</b>
<b>SES</b>	<b>Simple and Efficient TSS</b>
<b>4SS</b>	<b>Four Step Search</b>
<b>TDWZ</b>	<b>Transform Domain Wyner-Ziv</b>
<b>TQ</b>	<b>Tabela de Quantização</b>
<b>TSS</b>	<b>Three Step Search</b>
<b>WZ</b>	<b>Wyner-Ziv</b>