

Construção de uma Base de Vídeos Digitais Estereoscópicos

Leonardo Antônio de Andrade

Pedro Dolosic Cordebello

Rudinei Goularte

USP – São Carlos

Maio/2010

Sumário

1. Introdução	4
2. Construção da Base de Vídeo Estereoscópica.....	9
2.1. Considerações Iniciais	9
2.2. Câmeras Estereoscópicas	10
2.2.1. Acoplagem de duas Câmeras Paralelas.....	10
2.2.2. Considerações sobre as Limitações da Captação	11
2.3. Captação e Pré-Processamento de Vídeos Estereoscópicos.....	12
2.4. Escolha de Material para a Base.....	14
2.5. Codificação Realizada	27
2.6. Considerações Finais	28
Referências Bibliográficas	29

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Câmera estereoscópica digital em operação. A câmera possui dois blocos óticos de captação de imagem na câmera, afastados 6,5 cm (simulando a visão humana).....	5
Figura 1.2 – Par de imagens a serem exibidas nos monitores da linha WOWvx da Philips, lançada em 2008: a) Imagem Bidimensional e b) Mapa de Profundidade da imagem. O hardware do monitor realiza os cálculos a partir do mapa de profundidade e exibe a imagem tridimensional	6
Figura 1.3 – Projeção de Luz Polarizada. Dois projetores com filtros polarizadores projetam o par estereoscópico de imagens sobre uma tela metalizada. Através do uso de um óculos com filtros polarizadores, o expectador visualiza a imagem tridimensional.....	6
Figura 1.4 – Gráfico década a década de 1910-2000, mostrando o número de títulos lançados em cada década	7
Figura 2.1: Câmeras corretamente posicionadas (Mendiburu 2009, p.50).....	10
Figura 2.2: Parte superior de imagens sobrepostas para ajuste de paralaxe	13
Figura 2.3: Utilização do filtro deblocking do MSU, aplicado sobre a imagem A e obtendo a imagem B.	14

1

Introdução

Desde o final do século XIX, quando câmeras de película captavam os primeiros filmes, até as atuais câmeras digitais que captam vídeo em alta resolução, as imagens bidimensionais têm sido o suporte majoritário para o homem registrar a história e produzir conteúdo ficcional. Com registros bidimensionais uma importante informação para visualização tem sido descartada, a profundidade, presente apenas em poucas obras audiovisuais nos últimos dois séculos (Supia, 2007). Para que a profundidade possa estar presente em um registro visual, é necessário gravar um par de imagens bidimensionais: o par estéreo. Um par de imagens estéreo é composto de imagens captadas por um par de câmeras, ligeiramente afastadas (imitando a posição dos olhos), como ilustrado na Figura 1.1.



Figura 1.1 – Câmera estereoscópica digital em operação. A câmera possui dois blocos óticos de captação de imagem na câmera, afastados 6,5 cm (simulando a visão humana)

Os seres humanos conseguem visualizar a profundidade devido à estereoscopia, capacidade de interpretação de um par de imagens estéreo para visualização de uma imagem tridimensional (Machado, 1997). A estereoscopia é processada no cérebro, onde a fusão das duas imagens resulta em informações quanto à profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos, gerando uma sensação de visão de 3D (Stereographics, 1997).

Atualmente monitores especiais (Figura 1.2) e salas de cinema (Figura 1.3), trabalham com técnicas que permitem a visualização de imagens em movimento com profundidade. A essas técnicas se dá o nome de visualização estereoscópica, e seu armazenamento e difusão digital são uma realidade.

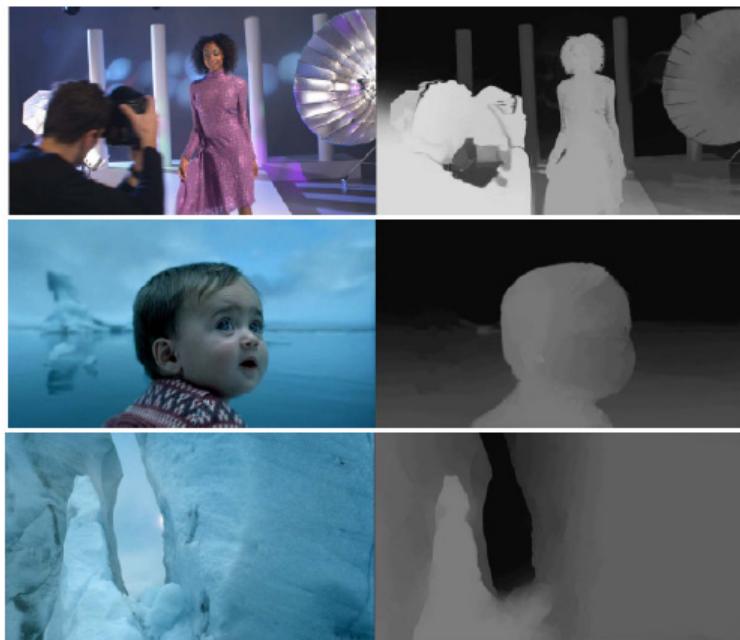


Figura 1.2 – Par de imagens a serem exibidas nos monitores da linha WOWvx da Philips, lançada em 2008: a) Imagem Bidimensional e b) Mapa de Profundidade da imagem. O hardware do monitor realiza os cálculos a partir do mapa de profundidade e exibe a imagem tridimensionalmente

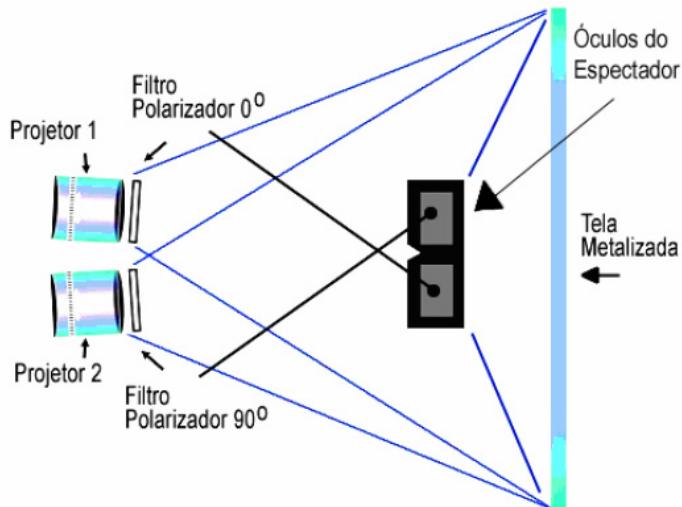


Figura 1.3 – Projeção de Luz Polarizada. Dois projetores com filtros polarizadores projetam o par estereoscópico de imagens sobre uma tela metalizada. Através do uso de um óculos com filtros polarizadores, o expectador visualiza a imagem tridimensional

A representação do espaço tridimensional através de um par de imagens é uma técnica que foi registrada em 1838, com a invenção de um aparelho denominado estereoscópio¹. Na

¹ Aparelho que permite fazer uso da estereoscopia, a capacidade de reprodução da visão binocular humana a partir de duas imagens bidimensionais (Godoy, 2005). No início essas imagens eram ilustrações. Quatro décadas depois elas foram substituídas por fotografias.

mesma década são datados os primeiros registros fotográficos da história (Patterson, 1989). Apesar de serem contemporâneos, o uso do estereoscópio com pares de fotografias data de meados de 1880. Nessa época houve a popularização das máquinas fotográficas que tiravam pares de fotos para livros que exploravam o recurso da estereoscopia para entretenimento (Adams, 2001).

Nas décadas de 1920 e 1950, a estereoscopia cinematográfica foi amplamente explorada. Diversas produções foram captadas e exibidas estereoscopicamente. Na década de 1920 com produções experimentais de grande repercussão e na década de 1950 o cinema investiu em produções estereoscópicas para recuperar o público que experimentava a nova mídia da TV (Supia, 2007). Somente nos anos 2000, tivemos um crescimento equiparável a década de 1950 em produções 3D (Mendiburu, 2009), como é mostra a **Figura 1.4**.

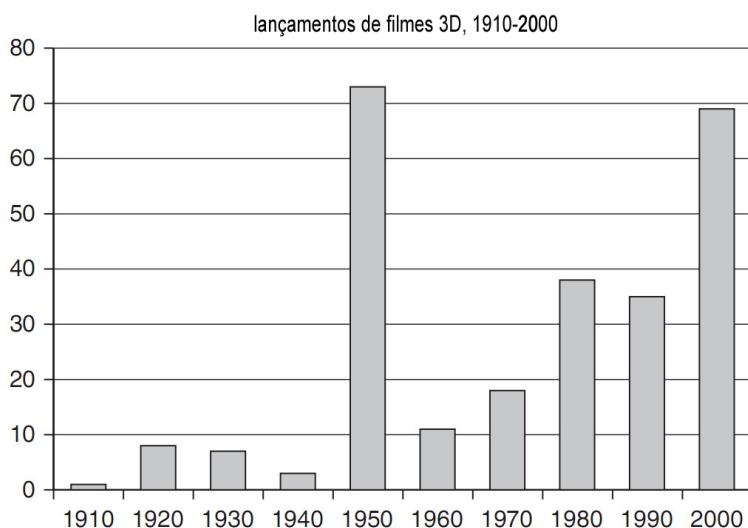


Figura 1.4 – Gráfico década a década de 1910-2000, mostrando o número de títulos lançados em cada década

No campo do vídeo digital atualmente, existem diversas tecnologias para exibição estereoscópica, contudo os métodos de codificação para o vídeo digital estéreo não evoluíram do mesmo modo. Os arquivos que guardam as informações estereoscópicas resumem-se a gravar informações dos dois vídeos (o par estéreo) em um único arquivo de tamanho maior, lado-a-lado (*side by side*), ou um sobrepostos um sobre o outro (*under/over*) (Lipton, 1997). O método proposto pode ser efetivo para a exibição via projeção de pares de imagens com luz polarizada (Figura 1.3), e para visualização via óculos obturadores², que são tecnologias de alto custo.

A visualização anaglífica se apresenta como um método de baixo custo, pois com apenas um monitor ou projetor comuns e óculos de filtros (lentes) coloridos, é possível visualizar um par de imagens estereoscópicas (Figura 1.4) (Wood, 2000). A desvantagem desse método

² Segundo essa técnica, o observador, ao visualizar a tela do computador ou televisor, deve utilizar óculos especiais, cujas lentes são feitas de cristal líquido. As lentes podem ficar instantaneamente transparentes ou opacas de acordo com um controle eletrônico. Os óculos obturadores fecham ora a imagem do olho direito, ora a imagem do olho esquerdo, de maneira síncrona com a exibição.

em relação aos anteriormente citados, está na sua susceptibilidade aos métodos de codificação de vídeo.

Nos métodos de luz polarizada e óculos obturadores a sensação de profundidade é obtida quando os olhos do observador captam o par de imagens estéreo provenientes, respectivamente, do par de vídeos sendo projetados. Assim, o método de codificação do vídeo é irrelevante (Meneses et al, 2002). Já no caso da visualização anaglífica o observador assiste a um vídeo resultante da fusão do par de vídeos estéreo, onde tal fusão obedece a processos precisos em relação às cores. Ao utilizar os óculos de filtros (lentes) coloridos o observador consegue com que a imagem fundida seja separada (uma para cada olho), restaurando o par estéreo original que dará a sensação de profundidade (Godoy, 2009).

Atualmente, as regras para determinação de bases de vídeos para teste, limitam-se a vídeos bidimensionais. Uma base de vídeo para testes foi proposta em (Andrade & Goularte, 2009), onde avaliando as regras para bases dimensionais aplicou-se para dados pares de vídeo estereoscópicos, com vídeos captados por câmeras paralelas. A introdução da estereoscopia traz uma série de novos parâmetros, como o alinhamento das câmeras e a visualização em diversos paralaxes. Assim, neste trabalho buscou-se avaliar as regras bidimensionais de construção de bases de vídeo, aliando-as as problemáticas de captação tridimensional para propor uma base de dados estereoscópica seguindo duas metodologias: a de imagens lado a lado e a Anaglífica Colorida³, com as combinações de cores complementares ciano/vermelha e magenta/verde.

³ A codificação Anaglífica Colorida consiste em guardar metade das informações dos canais de cor; a partir de dois vídeos com o espaço de cor RGB, codifica-se um novo arquivo RGB, sendo duas de suas componentes vindas de um dos vídeos e a terceira vinda do outro vídeo do par estéreo.

Construção da Base de Vídeo Estereoscópica

2.1. Considerações Iniciais

Apesar de ter seus fundamentos lançados há mais de um século e meio, a estereoscopia ainda enfrenta dificuldades para sua disseminação. As tecnologias de visualização (óculos, monitores, projetores, etc.) vêm se desenvolvendo, evidenciando que a área da estereoscopia está em evolução (Dogson, 1998) (Perlin, 2001). Isso contrasta com as técnicas de codificação e armazenamento, que se encontram estagnadas. Desde Lenny Lipton (Lipton, 1982) (Lipton, 1997), na década de 1990, até os dias de hoje, a gravação de vídeo estereoscópico em um arquivo digital é realizada armazenando o par de vídeos estéreo em um único arquivo de vídeo, colocando-os lado-a-lado ou sobrepostos, sem especificar um tipo de compressão. Nenhuma técnica de codificação para esse tipo de vídeo foi desenvolvida desde então. Isso torna complexos e custosos os processos de produção (captação de imagens), reprodução (exibição de imagens), edição e armazenamento de vídeos estéreo (Andrade, 2008).

Em direção ao estabelecimento de um método para codificação de vídeos estereoscópicos, é necessária uma base de vídeos, para que testes de compressão de dados e de qualidade da imagem possam ser efetuados. Contudo, existem apenas regras para elaboração de bases bidimensionais, e a estereoscopia traz uma série de novos parâmetros que devem ser analisados que não existem na análise bidimensional.

Em relação ao armazenamento, foram escolhidas duas técnicas: a de vídeos lado-a-lado, proposta por Lypton, e a anaglífica colorida, na combinação ciano e vermelho e na combinação magenta e verde. Tais técnicas de armazenamento foram selecionados para que os vídeos possam ser visualizados com diversas técnicas, tais como polarização, multiplexação e monitores auto-estereoscópicos (com os vídeos lado-a-lado) e com a técnica de filtros coloridos (para os vídeos anaglíficos).

2.2. Câmeras Estereoscópicas

2.2.1. Acoplagem de duas Câmeras Paralelas

A captação de imagens segundo a abordagem de câmeras em arranjo binocular é um procedimento sistemático e laborioso, onde diversos parâmetros devem ser ajustados contínua e simultaneamente. Isso porque o mais sutil desajuste do par estéreo surtirá uma experiência senão desconfortável ao espectador, catastrófica ao objetivo de mimetizar a aparência espacial de objetos sólidos.

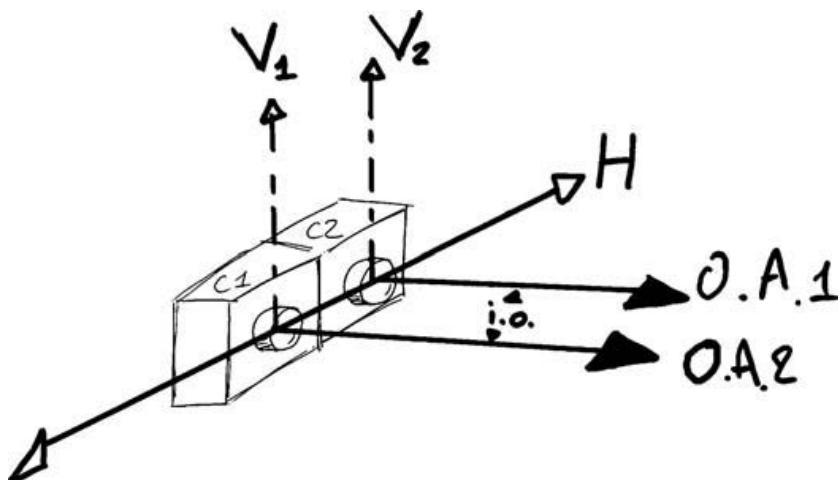


Figura 2.1: Câmeras corretamente posicionadas (Mendiburu 2009, p.50)

O posicionamento relativo das câmeras, no arranjo binocular, deve obedecer a um alinhamento rigoroso, de modo a não incorrer tais distorções à geometria das imagens obtidas. Seus eixos ópticos (“O.A.”, na figura), devem resguardar a distância interocular em relação ao centro óptico das objetivas; esta distância pode ser maior para a hiperestereoscopia⁴, contanto que tais eixos permanecam paralelos, enquanto que para as situações de foco próximo os eixos se cruzem quando da simulação do envesgamento

⁴ Ao realizar a captação de imagens estereoscópicas, a distância interocular das câmeras devem ser 6,5cm (Lipton, 1982), para simular a visão humana. Ao captar planos gerais de paisagens, com grande profundidade de campo, pode-se afastar as câmeras além dessa distância, obtendo-se imagens gravadas com hiperestereoscopia.

estrábico. A rotação dos eixos verticais (“V”, na figura) proporciona tal ajuste. Finalmente, é imperativo que as câmeras possuam os respectivos pontos nodais reposando sobre o mesmo eixo horizontal (“H”), ao longo do qual o movimento de translação das câmeras pode ser executado para as situações de hiperestereoscopia (Mendiburu, 2009).

Comprimento focal da objetiva, distância de foco, abertura de diafragma e velocidade de obturação (shutter), constituem os parâmetros técnicos de ajuste individual cujos valores devem permanecer idênticos em ambas as câmeras (Woods, 2003).

2.2.2. Considerações sobre as Limitações da Captação

A aquisição de imagens estereoscópicas em campo apresenta algumas limitações, principalmente quando diversos fatores de comprometimento ocorrem simultaneamente.

Na prática, pode-se observar em situações de variação da zoom (comprimento focal), algumas destas dificuldades, visto que enquanto ajuste mecânico complexo, a excursão da lente zoom não se dará de forma absolutamente simétrica em duas objetivas idênticas, salvo em equipamentos muito precisos, caros, e adequados para tal. Vale ressaltar o fato de que a visão humana, desprovida deste recurso “zoom”, torna-se ainda mais susceptível às aberrações de variação focal quando observa uma imagem esterescópica em movimento de zoom assimétrico (em cada câmera existe uma image que difere da outra, em relação à manipulação do zoom) (Godoy, 2009).

O posicionamento da câmera binocular ante os objetos a serem registrados também é estratégico, uma vez que os diversos ajustes citados anteriormente devem ser estabelecidos, sendo conveniente ensaiar a *mise-en-scène* antes de se proceder à gravação, monitorando as imagens de modo adequado. Uma vez que o espectador reposará o foco de seus olhos sobre uma tela bidimensional, onde o efeito tridimensional será sintetizado, compete exclusivamente ao estereoscopista acomodar os diversos planos de profundidade, conforme a paralaxe desejada, assegurando o conforto visual necessário (Woods, 2003).

Do mesmo modo que a distância de foco é continuamente ajustada de modo autônomo pelo cristalino, nos olhos, e manualmente pelo cinegrafista, o envesgamento estrábico também se faz automaticamente para os olhos, enquanto cabe também ao cinegrafista estereoscópico julgar o que está em primeiro plano visual. Evidentemente, há o foco autônomo para câmeras de vídeo, porém tal conformação se dá mediante um mecanismo de *feedback* passivo, e não lógico - a objetiva prioriza focalizar o objeto diante de si e mais próximo ao seu centro, conforme um telêmetro acoplado determinar. Isto justifica a inexistência do foco automático em aplicações profissionais de fotografia, vídeo e cinema, onde instrumentos de

aferição assistem ao operador, que por sua vez determina o ajuste continuamente (Mendiburu, 2009). Neste ponto, justifica-se a intervenção humana contínua durante o processo de aquisição de imagens esteroscópicas, bem como as desvantagens decorrentes, a exemplo de situações inusitadas, onde o cinegrafista perde o foco. Para a imagem tridimensional, a perda de paralaxe mostra-se muito mais devastadora do que um mero lapso no foco, assinalando um aspecto crucial no processo, cujo negligenciamento incorrerá descartar as imagens (Godoy, 2009).

Aplicações onde ocorre a transmissão ao vivo de imagens estereoscópicas, como na futura TV 3D, apontam para uma situação mais crítica no âmbito operacional, pois o rigor na aquisição deve ser contínuo, visto que pouco ou nenhum pós-processamento ocorrerá de modo satisfatório aos espectadores.

2.3. Captação e Pré-Processamento de Vídeos Estereoscópicos

Para a captação de dois vídeos que irão compor a base de vídeos estereoscópicos, foi realizada uma captação de vídeo com duas câmeras Canon HV30, que produzem vídeo codificado em MPEG-2, com a taxa de 24 quadros por segundo em resolução HD (1920x1080). Estas câmeras foram montadas paralelas sobre um tripé, utilizando uma base metálica intermediária. A base é necessária para deixar as duas câmeras perfeitamente paralelas. A distância entre os centros focais das câmeras, foi fixado em 6,5 cm.

É importante frisar que mesmo as duas câmeras estando perfeitamente paralelas, isso não acarrete em imagens com paralaxes ajustadas em 100%. Pequenas imperfeições internas à câmera (físicas, como a posição do bloco ótico, ou eletrônicas, como o ajuste idêntico de abertura mínima e máxima de zoom) podem acarretar em desajuste de paralaxe. Se esse erro for pequeno, como no caso de câmeras perfeitamente paralelas, é possível realizar um pré-processamento para corrigí-lo.

Utilizando as câmeras Canon HV30 montadas paralelas (distância focal de 6,5 cm), foram captados vários planos, entre os quais se destacaram os vídeo ARV01 e CORR01 (Vide tabela 2.1). Na captação do vídeo ARV01, as imagens das câmeras não necessitaram de nenhum pré-processamento, pois suas paralaxes estavam ajustadas, e devido a alta luminância, não houve necessidade de ajuste de brilho/contraste. Na captação do vídeo CORR1, houve necessidade de ajuste de paralaxe e de brilho/contraste. Uma forma simples de verificar se a paralaxe está ajustada, é pela sobreposição de quadros de um par estéreo

dos vídeos em camadas, atribuindo-se uma taxa de transparência à imagem que está situada na camada superior. Utilizando um software de manipulação de vídeo e outro de imagens, como o AVIDemux e o GIMP⁵, é possível abrir os arquivos de vídeos no AVIDemux e exportar imagens BMP, que podem ser lidas no GIMP. Coloca-se então as imagens em camadas sobrepostas e atribuindo 50% de transparência a imagem que estiver na camada superior, e é procurado um ponto focado nas duas imagens. A partir desse ponto sobreposto, é possível observar se a paralaxe está ajustada. No caso do par estéreo do vídeo CORR1, houve um desnível vertical das câmeras, o que ocasionou em desajuste de paralaxe, como mostra a **Figura 2.2**.

Se os desníveis de paralaxe ocorrerem e não forem corrigidos, eles podem gerar imagens que geram desconforto na visualização. Estes problemas no ajuste da paralaxe são chamados de *crosstalk* e devem ser resolvidos em cada plano captado para a correta percepção de profundidade (StereoGraphics, 1997).

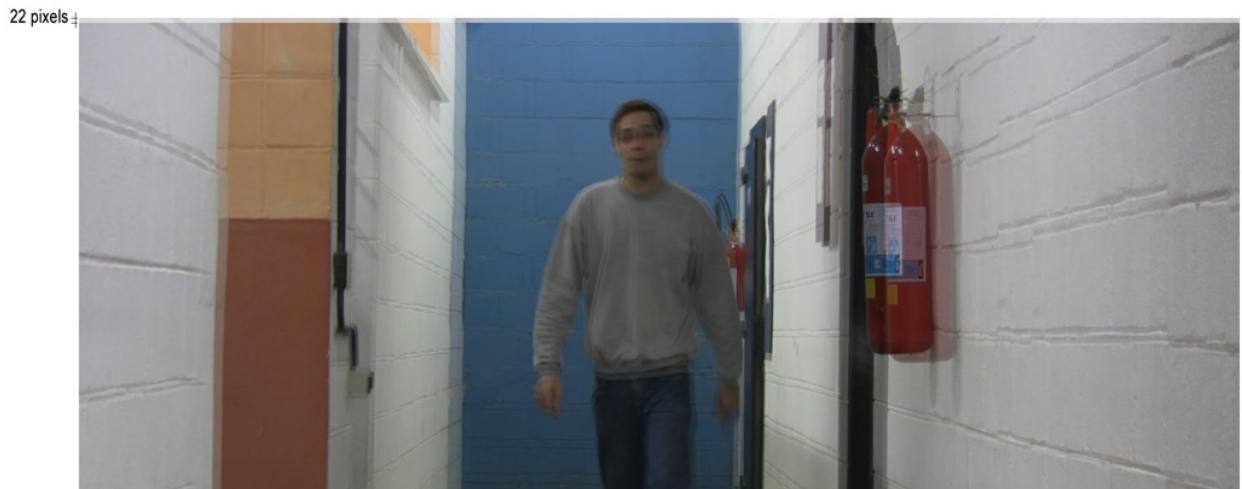


Figura 2.2: Parte superior de imagens sobrepostas para ajuste de paralaxe

Ao observarmos as imagens sobrepostas verificamos que existem 22 pixels de ajuste vertical de diferença entre as duas imagens do par estéreo. Com o auxílio do software VirtualDub⁶, foi possível realizar o corte (*crop*) de 22 pixels na parte inferior do Vídeo 1 e de 22 pixels na parte superior do vídeo 2, utilizando um filtro interno do software (*nullcrop*). Depois foi realizado um ajuste de tamanho da janela do vídeo de 1920x1036 para 1920x1080, e para tal operação foi utilizado o filtro interno do software *resize*, onde o tipo o

⁵ Os softwares AVIDemux e GIMP são softwares de código aberto que operam em diferentes sistemas operacionais (Windows, Linux e MacOSX). O AVIDemux e realiza conversões de vídeo e áudio, e o GIMP manipula imagens. Ambos contam com implementações de código aberto. <http://avidemux.org/> e <http://gimp.org>

⁶ O software Virtual Dub é um software livre que opera no sistema operacional Windows e realiza conversão de vídeo e áudio. <http://virtualdub.org/>

modo de filtragem foi ajustado em bícubico. Como o número de pixels foi pequeno, cerca de 2% do total de linhas, a deformação do plano foi mínima e aceitável.

Outra etapa do pré-processamento dos vídeos consistiu em amenizar os efeitos causados pela codificação dos vídeos com MPEG-2. A codificação MPEG-2 utiliza transformada DCT (*Discrete Cosine Transform*) e sua respectiva quantização, que acarretam na presença de artefatos de compressão ou *blockiness* (Ebrahimi et al, 2004). Para minimizar esse ruídos, os vídeos foram processados no software VirtualDub com o filtro *deblocking*, desenvolvido pelo MSU⁷. O efeito do filtro deblocking pode ser visualizado na Figura 2.3.

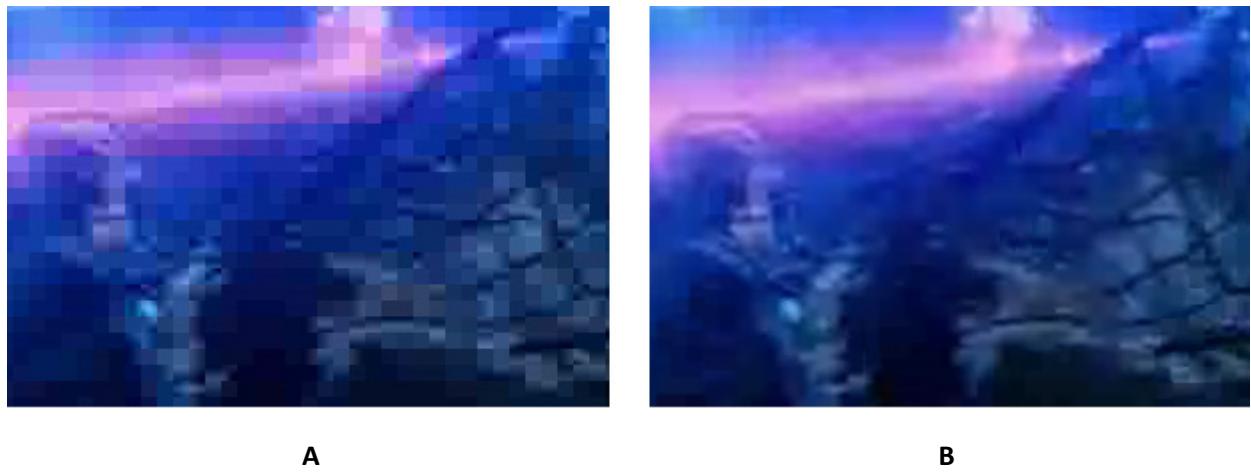


Figura 2.3: Utilização do filtro *deblocking* do MSU, aplicado sobre a imagem A e obtendo a imagem B.

2.4. Escolha de Material para a Base

Apesar de a literatura reportar conjuntos de vídeos bidimensionais padronizados (ITU-T, 2004) (ITU-T, 2008) para que desenvolvedores possam realizar testes (de conformidade, de qualidade, etc.), não existem tais conjuntos para vídeos estereoscópicos.

O comitê de TV Digital ITU-T (International Telecommunication Union), propõe alguns critérios para a criação de bases de testes (ITU-T, 2004) de vídeos 2D:

- Uma seqüência estressando cor.
- Uma seqüência estática (com pouco movimento).
- Uma seqüência estressando luminância;
- Devem existir várias seqüências.
- Devem existir seqüências com detalhes de espaço e movimentação.

⁷ O MSU Graphics&Media Lab Video Group é composto por um grupo de pesquisadores russos, da Universidade de Moscou. http://compression.ru/video/deblocking/index_en.html

- Todas as seqüências originais não podem ter ruído.

Com base nesses critérios, realizou-se uma busca na Web por pares de vídeo estereoscópicos. Foi encontrado no site do software *stereoscopic player*⁸ (um reproduutor de vídeos estereoscópicos), alguns pares de vídeos lado-a-lado ou sobrepostos um sobre o outro, disponibilizados para testes. Todos esses vídeos foram produzidos por câmeras digitais posicionadas paralelamente. Todos esses vídeos haviam recebido o ajuste de paralaxe.

Após efetuar a solicitação de uso dos vídeos para seus respectivos cinegrafistas e um animador, diversos planos foram selecionados para compor a base. Somados a estes planos, foram acrescentados dois vídeos captados (ARV01 e CORR01, discutidos na seção 2.3) além da contribuição de Hélio Godoy, pesquisador da UFMS e cinegrafista 3D que contribuiu com dois planos (CRUZ01 e TRAV01).

Em concordância com os critérios estabelecidos pelo ITU-T para vídeos bidimensionais, para a análise dos planos foram estabelecidos os seguintes critérios:

- **Enquadramento do Plano:** refere-se a onde e como posicionar a câmera durante as gravações. Determinar o enquadramento significa pensar sobre qual área vai aparecer na cena e qual o ponto de vista mais indicado para que a ação seja registrada. Alguns tipos de enquadramento são:
 - **plano geral ou de conjunto:** mostra uma paisagem;
 - **plano médio:** mostra um ambiente;
 - **plano detalhe:** mostra uma parte do corpo ou objeto.
- **Movimento e Informações dentro do Plano:** com a estereoscopia, a movimentação torna-se presente em mais uma dimensão, o que traz muitas possibilidades tendo como base o vídeo bidimensional. Como as câmeras dos planos selecionados sempre foram paralelas, não houveram planos de visualização de paralaxe negativa (invasão da tela). As movimentações acontecem apenas com paralaxe positiva próxima de zero e paralaxe positiva, de acordo com a profundidade de cada plano.
- **Cores:** planos com maior e menor incidência de cores, com luminância alta e média devem estar contemplados na base estereoscópica.

Foi realizado um pré-processamento nos planos selecionados para diminuir o ruído gerado por compressão de dados utilizando o Software Virtual Dub, aplicando o filtro *deblocking* como citado anteriormente. Este pre-processamento foi realizado para garantir de todas as amostras estivessem sem ruídos. Os planos selecionados para a base estereoscópica são mostrados na **Tabela 2.1**.

⁸ <http://3dtv.at>

Tabela 2.1: Vídeos selecionados para a base de testes, seus respectivos autores e número de quadros.

Vídeo	Imagen	Autor	N. de Quadros
ARV01		Leonardo Andrade (cinegrafista)	400
CORR01		Leonardo Andrade (cinegrafista)	260
CRUZ01		Hélio Godoy (cinegrafista)	450
DO01		Nikolai Vialkowitsch (cinegrafista) (Copyright: parallax raumprojektion)	460

DO02		Nikolai Vialkowitsch (cinegrafista) (Copyright: parallax raumprojektion)	110
DO03		Nikolai Vialkowitsch (cinegrafista) (Copyright: parallax raumprojektion)	330
DO04		Nikolai Vialkowitsch (cinegrafista) (Copyright: parallax raumprojektion)	170
DO05		Nikolai Vialkowitsch (cinegrafista) (Copyright: parallax raumprojektion)	220

DZ01		Eric Deren (animador) (Copyright: Dzignlight Studios)	216
DZ02		Eric Deren (animador) (Copyright: Dzignlight Studios)	130
DZ03		Eric Deren (animador) (Copyright: Dzignlight Studios)	130
DZ04		Eric Deren (animador) (Copyright: Dzignlight Studios)	160

FW01		Takashi Sekitani (cinegrafista)	540
FW02		Takashi Sekitani (cinegrafista)	400
HEI01		Meinolf Amekudzi (cinegrafista) (Copyright: Dongleware)	360
HEI02		Meinolf Amekudzi (cinegrafista) (Copyright: Dongleware)	350

HEI03		Meinolf Amekudzi (cinegrafista) (Copyright: Dongleware)	220
HEI04		Meinolf Amekudzi (cinegrafista) (Copyright: Dongleware)	380
MP01		Meinolf Amekudzi (cinegrafista) (Copyright: Dongleware , Mouldpenny)	600
OLD01		Werner Bloos (cinegrafista)	470

OLD 02		Werner Bloos (cinegrafista)	200
OLD03		Werner Bloos	470
OLD04		Werner Bloos (cinegrafista)	160
RV01		Detlef Krause (cinegrafista) (Copyright: Cinovent)	130

RV02		Detlef Krause (cinegrafista) (Copyright: Cinovent)	420
RV03		Detlef Krause (cinegrafista) (Copyright: Cinovent)	340
RV04		Detlef Krause (cinegrafista) (Copyright: Cinovent)	160
RV05		Detlef Krause (cinegrafista) (Copyright: Cinovent)	190

RV06		Detlef Krause (cinegrafista) (Copyright: Cinovent)	100
SKY01		Eric Deren (cinegrafista)	200
SKY02		Eric Deren (cinegrafista)	500
TRAV01		Hélio Godoy (cinegrafista)	600

A Tabela 2.2 mostra as características das amostras, de acordo com os critérios discutidos anteriormente.

Tabela 2.2: Vídeos estereoscópicos em relação aos critérios de avaliação.

Vídeo	Enquadramento	Movimento e Informações Internas ao plano	Cores
ARV01	Plano Geral	Panorâmica com pouco movimento de transeuntes, em plano pouco profundo.	Presença de verde e muitas variações; presença de outras cores com algumas variações. Alta luminância.
CORR01	Plano Médio	Câmera e cenário estáticos; um transeunte se move do fundo para proximidades do primeiro plano.	Predominância de branco e azul; Pouca variação de cores. Média luminância.
CRUZ01	Plano Geral	Movimentação de pessoas em primeiro plano e cidade no cenário de fundo, estático.	Presença de verde e algumas variações; poucos matizes de cores.
DO01	Plano Geral	<i>Travelling semi-circular</i> , com câmera orbitando objeto em primeiro plano e fundo em translação .	Predominância de amarelo; alta luminância e contraste
DO02	Plano Detalhe	Câmera e cenário estáticos; movimentação de transeuntes no plano profundo	Presença de verde e algumas variações; poucos matizes de cores.
DO03	Plano Médio	Movimentação na perspectiva diagonal; câmera estacionária.	Alta luminância, onde se faz predominante o azul claro celeste.
DO04	Plano Detalhe	Câmera e cenário estáticos; movimentação de alta rotação na partida da hélice em primeiro plano	Alta luminância, onde se faz predominante o azul claro celeste e matizes de verde.
DO05	Plano Geral	Objeto quase estático, oscilando no primeiro plano e cenário se movimentando lentamente ao fundo.	Presença de verde e algumas variações, com alta luminância e contraste.
DZ01	Plano Geral	Rotação do objeto em primeiro plano	Alto contraste, fundo em camafeu. Tons saturados entre verde e azul.

DZ02	Plano Detalhe	Dolly travelling in	Predominância de vermelho/púrpura dessaturado.
DZ03	Plano Detalhe	Rotação da câmera, pivotada no objeto em primeiro plano, relativo ao fundo	Tons dessaturados, com predominância de amarelo e bege.
DZ04	Plano Geral em Grande Angular	Panorâmica no ambiente, seguido de Dolly/truck	Grande contraste e amplo espectro de cores entre amarelo, azul e vermelho
FW01	Plano Geral	Câmera estática, com partículas se movendo em expansão centrífuga.	Fundo em camafeu, alto contraste. Predominância de amarelo dourado nas partículas
FW02	Grande Plano Geral	Câmera estática, com partículas em explosão	Fundo em camafeu, alto contraste. Presença de amarelo, verde azul, vermelho e tons mistos.
HEI01	Grande Plano Geral	Câmera estática. Grafismo faz <i>zoom in</i> no primeiro plano	Contraste médio, predominância do azul celeste, verde e vermelho-terra.
HEI 02	Plano Médio	<i>Zoom in</i> seguido de <i>pan e tilt down</i>	Alta luminância, predominância do azul celeste, verde e tons médios
HEI 03	Plano Geral	Panorâmica	Alta luminância no segundo plano; predominância de vermelho e bege sépia
HEI04	Plano Geral	Câmera estática; movimento de transeuntes na perspectiva	Alta luminância no segundo plano e amplo contraste; predominância de tons azulados .
MP01	Plano Médio	<i>Follow-shot</i> – camera segue e mantém os sujeitos do primeiro plano no quadro.	Alto contraste de luminância e crominância; presença de azul saturado na iluminação
OLD01	Plano Geral	Câmera estática, com objeto se	Alta luminância, com cores

		movendo em perspective, da esquerda para a direita	saturadas em detalhes pontuais (amarelo e vermelho). Presentes, porém dessaturados, o azul celeste e verde.
OLD02	Plano Geral	Câmera estática, com objeto se movendo em perspective, da direita para a esquerda	IDEM
OLD03	Plano Geral	Panorâmica <i>follow-shot</i>	Alta luminância com baixo contraste de cores. Presença de amarelo e vermelho
OLD04	Plano Geral indo para Detalhe	Panorâmica em <i>follow-shot</i>	IDEM
RV01	Grande Plano Geral	Dolly travelling com giro	Alta luminância e tons de azul / ciano predominantes
RV02	Grande Plano Geral variando em Plano Médio	Panorâmica seguida de <i>follow-shot</i>	Alta luminância e tons dessaturados de azul e verde. Detalhes em vermelho mais saturado
RV03	Plano Geral	Pedestal com <i>tilt down</i>	Pouco contraste, com predominância de tons azulados e detalhes pequenos em amarelo e vermelho saturados
RV04	Plano Geral	<i>Dolly travelling</i> posição de steadycam “Don Juan”	Contraste médio, com tons pastéis de verde predominantes.
RV05	Plano Geral	<i>Truck travelling</i> em panorâmica suave , onde o objeto em primeiro plano se desloca relativo ao fundo.	Médio contraste e cores dessaturadas.
RV06	Plano Geral	<i>Truck travelling</i> com giro	Contraste médio e tons dessaturados de verde, azul e marrom.

SKY01	Plano Geral	<i>Follow-shot</i> , com movimento relativo de <i>Dolly</i> ao objeto referencial, em segundo plano	Predominância de azul celeste; alto contraste e luminância.
SKY02	Plano Geral	<i>Follow-shot</i> , com movimento relativo de translação ao objeto referencial, em primeiro plano	Predominância de azul celeste e tons verdes; alto contraste e luminância.
TRAV01	Plano Geral	Câmera estática, com movimento de pessoas e veículos nos eixo de perspectiva da câmera (frente-fundo) e lateral (esquerda-direita)	Contraste médio; cores saturadas em alguns objetos pontuais, ocorrendo o laranja, vermelho, amarelo, azul e verde.

2.5. Codificação Realizada

A partir dos planos estereoscópicos selecionados, fez-se uma normatização destes, para adequar o tamanho da janela e a frequência de quadros por segundo. Todas as operações foram realizadas no software Virtual Dub, e os vídeos resultantes ficaram com 24 bits por pixel e sem qualquer compressão. A resolução desses vídeos ficou em 960x540 e com frequência de 24 quadros por segundo.

Para criar os vídeos estereoscópicos anaglíficos foi necessário separar os canais de cores dos pares originais e então criou-se um novo vídeo com a metodologia descrita na seção 3.1.3. Foi desenvolvida então uma aplicação com essa finalidade. O código foi desenvolvido em um computador com o sistema operacional Windows e na linguagem Java. Utilizando a API JMF , a partir de dois vídeos que compõe um par estéreo, é produzido um novo vídeo:

- Ciano/Vermelho: neste caso as componentes verde e azul se combinam na componente ciano (lado direito) e o vermelho fica isolado (lado esquerdo);
- Magenta/Verde: nesta combinação anaglífica o vermelho e azul se combinam na componente magenta (lado direito) e o verde fica isolado (lado esquerdo).

Este software gera uma sequencia de imagens BMP (sem compressão). Novamente utilizando o software Virtual Dub, a partir da sequencia de imagens foram codificados novos vídeos com 24 bits por pixel e sem qualquer compressão, com a resolução de 960x540 e 24 quadros por segundo.

2.6. Considerações Finais

As características discutidas na seção 2.4 (enquadramento, posição das câmeras, movimento e informações dentro do plano e cores) foram contempladas mediante o registro de cenas com ambiente natural (exceção feitas às animações DZ01, DZ02, DZ03 e DZ04), e atendem as especificações apontadas para vídeos bidimensionais pelo ITU-T (também discutidas na seção 2.4). Deve-se ressaltar que essas características foram ampliadas devido a maior complexidade de captação e visualização do vídeo estereoscópico, com dados referentes a posição das câmeras - que influencia no paralaxe de visualização, e ao movimento, que passa a acontecer em diferentes posições dentro de um mesmo plano.

A montagem da base estereoscópica discutida neste trabalho foi realizada com câmeras digitais dispostas paralelamente em relação aos seus eixos óticos, e não variaram a distância interocular durante as filmagens. Com isso, foram realizadas filmagens de planos detalhes e outros próximos com a distância interocular de 6,5 cm e filmagens de planos gerais com hiperestereoscopia (com a distância interocular maior do que 6,5 cm). Considerando as limitações da captação, uma gama de planos foi coberta. Contudo, novos vídeos provenientes de câmeras que realizam envesgamento, e assim produzem paralaxe negativo (invasão de tela), não estão contemplados pela base estereoscópica proposta. Espera-se que no futuro animações possam ser geradas, e na questão da captação de vídeos, espera-se que com avanços tecnológicos os vídeos estereoscópicos possam ser captados com as propriedades de visualização citadas, para agregar novos paradigmas aos estudos de compressão de dados com vídeos estereoscópicos.

Para a realização de testes com os vídeos apresentados, ressalva-se que devido as características similares apontadas na **Tabela 2.2** os vídeos OLD01 e OLD02 são semelhantes, sendo portanto necessária apenas a utilização de um deles. O mesmo ocorre para os vídeos OLD03 e OLD04.

A base de vídeos estereoscópicos para testes está disponível em:

<http://200.136.217.194/videoestereo>

2.7. Agradecimentos

Agradecimentos a todos os cinegrafistas e ao animador que disponibilizaram seus vídeo para compor a base de testes desenvolvida neste trabalho: Detlef Krause, Eric Deren, Hélio Godoy, Meinolf Amekudzi, Nikolai Vialkowitsch, Takashi Sekitani e Werner Bloos.

Referências Bibliográfica

Referências Bibliográficas

- (Adams, 2001) Adams, G. O passe de mágica do turismo fantástico: o sistema de viagem estereoscópica de Underwood & Underwood. Anais do XXIV Congresso Brasileiro da Comunicação. Campo Grande, MS. Setembro de 2001. Disponível em: http://reposcom.portcom.intercom.org.br/bitstream/1904/4646/1/NP7A_DAMS.pdf em 10 de junho de 2007.
- (Andrade, 2008) Andrade, L. A.; Difusão de Filmes Estereoscópicos. Revista RUA – Especial 1 – A Era Digital e seus Desdobramentos Estéticos. ISSN 1983-3725. Disponível em: <http://www.ufscar.br/rua/site/?p=657> em 20 de setembro de 2008.
- (Andrade & Goularte, 2009) Andrade, L. A.; Goularte, R. Percepção Estereoscópica Anaglífica em Vídeos Digitais Comprimidos com Perda. Webmedia – Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, Fortaleza, 2009.
- (Andrade & Moreira, 2001) Andrade, L. A.; Moreira E. S. Estudos em Transmissões Multicasting de Vídeo Comprimido. Dissertação de Mestrado, ICMC – USP São Carlos, 2001.
- (Apple, 2007) Apple. Developer Guide – Quicktime 7. Disponível em: http://developer.apple.com/documentation/QuickTime/Conceptual/QT7_UpdateGuide/index.html em 9 de janeiro de 2007.
- (Belas Artes, 2006) Belas Artes, UFMG. Quadro a Quadro – Gênese da Animação. Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://eba.ufmg.br/panorama/genesis/genese01.html> em 20 de setembro de 2006.
- (Carvalho et al, 2004) Carvalho, F. G.; Bastos, T. A.; Raposo A.; Corseuil, E.

- T. L.; Szenberg, F.; Azevedo, L. Uma Ferramenta para a Composição de “Vídeos Interativos”. Disponível em:
<http://www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=434> em 16 de junho de 2007.
- (Costa, 2007) Costa, A.. C. O Olho Humano. Documento Técnico do Laboratório de Ensino de Ótica. Unicamp, 2007. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~accosta/olhohumano.html> em 22 de março de 2008.
- (Dodgson, 1998) Dodgson, N. A. (1998) Autostereoscopic Image Compression. Rainbow Graphics Researchs Group, Computer Laboratory, University of Cambridge, Pembroke St. Disponível em: <http://www.cl.cam.ac.uk/~nad/compr/compr.html> em 30 de agosto de 2008.
- (Ebrahimi, 2002) Ebrahimi, F. The MPEG-4 book. IMSC Press Multimedia Series, 2002.
- (Ebrahimi et al, 2004) Ebrahimi F.; Chamik M.; Winkler S. JPEG vs. JPEG 2000: An Objective Comparison of Image Encoding Quality. Proceedings of SPIE, 2004.
- (Evans et al, 1995) Evans, J.P.O.; Robinson, M.; Godber, S.X.; Petty, R.S. The Development of 3-D (Stereoscopic) Imaging Systems for Security Applications, 29th IEEE Intl. Carnahan Conference, pp. 505-511, Sanderstead, Surrey, UK, October, 1995, ISBN 0-7803-2627-X.
- (Furht, 1995) Furht, B. A Survey of Multimedia Compression Techniques and Standards – Part I: JPEG Standard. Real-Time Imaging, vol. 1, n. 1, pp. 49-67, 1995.
- (Fontoura, 2001) Fontoura, F. N. F. Estereoscopia – Curso de Especialização em Informática com ênfase em internet e aplicações de ensino, da Universidade Católica de Pelotas em 2001.
<http://atlas.ucpel.tche.br/~magic/compgraf/estereoscopia.html> em 18 de abril de 2003.
- (Godoy, 2001) Godoy, H. A. S. Documentário, Realidade e Semiose, os sistemas audiovisuais como fontes de conhecimento. São Paulo, AnnaBlume/FAPESP, 2001.

- (Godoy, 2005) Godoy, H. A. S. A Imagem Tridimensional e o Audiovisual. Publicado no site da Associação Brasileira de Cinema em outubro de 2005. Disponível no site <http://www.abcine.org.br> em 10 de junho de 2007.
- (Godoy, 2009) Godoy, H. A. S. Processos Técnicos e Artísticos para Realização de Filme Documentário 3D Estereoscópico. In: Congresso SET - Broadcast&Cable, 2009, São Paulo-SP. Revista de Radiodifusão. São Paulo - SP : EMBRASEC - EDITORA & EVENTOS, 2009. v. 03. p. 312-330.
- (Gonzalez & Woods, 2008) Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. Digital Image Processing. Third Edition. Prentice Hall, 2008.
- (Hearn & Baker, 2004) Hearn, D. Baker, M. P. Computer Graphics with OpenGL, Editora Prentice Hall, 2004.
- (Inoue & Ohzu, 1990) Inoue, T., and Ohzu, H. Measurement of the human factors of 3-D images on a large screen. Large-Screen Projection Displays II, SPIE Vol.1255, 1990.
- (ISO, 1996) ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG-1: Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s, 1996.
- (ISO, 1997) ISO/IEC IS 13818, MPEG-2: Generic coding of moving pictures and audio information, 1997.
- (ITU-T, 2004) ITU-T Recommendation J.144. Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference. International Telecommunication Union, Genebra, Suíça, 2004
- (ITU-T, 2008) ITU-T Recommendation J.247 : Objective perceptual multimedia video quality measurement in the presence of a full reference. International Telecommunication Union, 2008
- (Kirner & Tori, 2004) Kirner, C.; Tori, R. Realidade Virtual: Conceitos e Tendências. Cap. 11, p.179-201. Editora Mania de Livro, São Paulo, 2004. ISBN 85-904873-1-8.
- (Langford, 1990) Langford, Michael J. Tratado de Fotografia, um texto avanzado para Profesionales. 5^a ed. Barcelona, Omega, 1990.
- (Lipton, 1982) Lipton, L. Foundations of the Stereoscopic Cinema, a study in depth. New York, Van Nostrand Reinhold Co., 1982.
- (Lipton, 1997) Lipton, L. Stereo-Vision Formats for Video and Computer Graphics White Paper. Disponível em

- http://www.stereographics.com/support/body_stereo_formats.html em 10 de junho de 2007.
- (Macedo, 1995) Macedo, M. R. Visão Computacional a partir de Imagens Estereoscópicas. UNICAMP, 1995.
- (Machado, 1997) Machado, L. S. A Realidade Virtual em Aplicações Científicas. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada, INPE [INPE-6389-TDI/605], São José dos Campos, Abril.
- (Mancini, 1998) Mancini, A. Disparity Estimation and Intermediate View Reconstruction for Novel Applications Stereoscopic Video. Thesis of Mestre submitted to the Departament of Electrical Engineering McHill University, Montreal, Canada.
- (Mathias & Patterson, 1985) Mathias, H.; Patterson, R. Electronic Cinematography, achieving photographic control over the video image. Belmont, Wadsworth, 1985.
- (Mendiburu, 2009) Mendiburu, B. 3D Movie Making Stereoscopic Digital Cinema from Script to Screen. ISBN: 978-0-240-81137-6. Ed. Focal Press, Elsevier, 2009.
- (Meneses *et al*, 2002) Meneses, M. S.; Cruz, A. V.; Castro, I. A. e Pedroso, A. A. Estereoscopia aplicada à Neuroanatomia:Estudo comparativo entre as técnicas de filtro de cores e de polarização. Arquivos de Neuropsiquiatria 2002;60 (3-B):769-774. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/anp/v60n3B/a17v603b.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2009.
- (Murray & Willian, 1996) Murray, James D.; William van Ryper. Encyclopedia of Graphics File Formats, Second Edition. Sebastopol, Calif.: O'Reilly, 1996. ISBN 1-56592-161-5.
- (MSU, 2005) MSU Graphics & Media Lab (Video Group). JPEG 2000 Image CODECs Comparison. CODECs Comparison, Moscou, Setembro 2005.
- (MSU, 2008a) MSU Graphics & Media Lab (Video Group). Quality Measurement Tool: Metrics information. Disponível em: http://compression.ru/video/quality_measure/info_en.html, em 16/08/2008.
- (MSU, 2008b) MSU Graphics & Media Lab (Video Group). Introduction to Video CODECs Comparison. Disponível em: http://compression.ru/video/CODEC_comparison/introduction_en.html,

- em 16 de agosto de 2008.
- (Natress & Jordan, 2005) Natress, Graeme; Jordan, Larry. What is Color Sampling? Larry's Final Cut Pro, issue March 2005. <http://www.larryjordan.biz/> em 5 de novembro de 2005.
- (Nelson, 1991) Nelson, M. The Data Compression Book (Redwood City, CA: M&T Books), 1991.
- (OpenDML, 1997) OpenDML AVI File Format Subcommittee. OpenDML AVI File Format Extensions. Disponível em: <http://www.the-labs.com/Video/odmlff2-avidef.pdf> em 10 de setembro de 2008.
- (Patterson, 1989) Patterson, F. Photography and The Art of Seeing, 1989, Key Porter Books, ISBN 1-55013-099-4.
- (Pereira, 1999) Pereira, G. H. C. Y. Mpeg-2 um estudo do padrão de vídeo.
<http://homepages.dcc.ufmg.br/~gpereira/mpeg/mpeg.html>, 1999.
- (Perlin, 2000) Perlin, K., Paxia, S. and Kollin, J. (2000) An Autostereoscopic Display; SIGGRAPH 2000 Conference Proceedings. New Orleans, Louisiana. July 23-28. Disponível em:
[<http://www.mrl.nyu.edu/publications/autostereo/autostereo.pdf>](http://www.mrl.nyu.edu/publications/autostereo/autostereo.pdf).
- (Perlin, 2001) Perlin, K. et. Al. (2001) Recent Advances in the NYU Autostereoscopic Display; Proceedings of the SPIE, Vol. 4297. San Jose, California. January 22-24. Disponível em:
<http://www.mrl.nyu.edu/publications/autostereo/spie2001.pdf> em 30 de agosto de 2008.
- (Richardson, 2003) Richardson, I. E. G. H.264 and Mpeg-4 video compression. Editora Wiley. Londres, 2003. ISBN 0-470-84837-5.
- (Santos, 2000) Santos, E. T. Uma Proposta para Uso de Sistemas Estereoscópicos Modernos no Ensino de Geometria Descritiva e Desenho Técnico. Anais do III Congresso Internacional de Engenharia Gráfica nas Artes e no

- (Siscoutto & Tori, 2003) Desenho (GRAPHICA 2000), Junho, Ouro Preto, MG. (CD-ROM).
- (Steinmetz, 1995) Steinmetz, R.; et al. Multimedia: Computing, Communications and Applications. Prentice-Hall, Inc., 1995.
- (StereoGraphics, 1997) StereoGraphics Corporation. Stereographics Developers Handbook: Background on Creating Images for CrystalEyes and SimulEyes, 1997. Disponível em:
http://www.stereographic.com/support/downloads_support/handbook.pdf
 em 16 de junho 2007.
- (Supia, 2007) Supia, A. O. Monstro Brasileiro Revive em 3D. Revista Cultura e Ciência, Ano 59. No. 2. P.57-59. Disponível em:
http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0009-67252007000200024&lng=pt&nrm=iso em 10 de junho de 2007. ISBN 85-0009-6725.
- (Thakrar, 1996) Thakrar, K. & Andleigh, P.K. Multimedia Systems Design, Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
- (Tian et al, 2008) Tian, Xin; Tan, Yi-Hua; Tian Jin-Wen. A New Design for 9/7 -Tap Wavelet Filter and Its VLSI Implementation. Chinese Journal of Computers, Vol. 31, No. 3, Março de 2008.
- (Tian et al, 2007) Tian, X.; Zhou, Z.; Tan, Y.-H.; Tian, J.-W. Parallel 9/7-tap wavelet based on lifting structure. Eletronics Letters, vol 43, issue 11, pages 617-618. ISSN: 0013-5194.
- (Tommaselli, 2007) Tommaselli, A. M. G. Fotogrametria Básica – Estereoscopia e Paralaxe. Apostila. Do curso Fotogrametria I da Unesp – Presidente Prudente, 2007. Disponível em:
http://www2.prudente.unesp.br/area_doc/foto1/fotogrametria_I/FOTO5

- _6_2006.pdf em 20 de setembro de 2008.
- (Vantolin, 2006) Vatolin, Dmitriy. Subjective Comparison of Modern Video CODECs. MOS CODECs Comparison, Moscou, Janeiro 2006.
- (Wallace, 1991) Wallace, G.K. The JPEG Still Picture Compression Standard, Communications of the ACM, v. 34, n. 4, p. 30-44, Abril de1991, disponível em <ftp://ftp.uu.net/graphics/jpeg/> allace.ps.gz, 20 de novembro de 2000.
- (Welch, 1984) Welch, T. A Technique for High-Performance Data Compression, Computer, June 1984.
- (Wilt, 2006) Wilt, A. J. The DV, DVCAM & DVCPRO Formats. Disponível em: <http://www.adamwilt.com/DV.html> em 10 de setembro de 2008.
- (Winston, 1996) Winston, B. Technologies of Seeing, photography, cinematography and television. Londres, BFI Publishing, 1996.
- (Wood, 2000) Wood, D. 3D Imagery. Página Html – Nv News – Vidia, 2000. Disponivel em: <http://www.nvnews.net/articles/3dimagery/introduction.shtml> em 16 de junho de 2007.
- (Woods, 2003) Woods, A; Docherty, T.; Koch, R. Characterizing Sources of Ghosting in Time-Sequencial Stereoscopic Video Displays, in Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IX, Proceedings of SPIE vol 4660, San Jose, California, 21-23, Janeiro de 2003. Disponível em: <http://www.curtin.edu.au/cmst/publicat/2002-09.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2009
- (Ziv et al, 1978) Ziv, J., and Lempel, A. IEEE Transactions on Information Theory (A Universal Algorithm for Sequential Data Compression), vol. IT-24, pp. 530–536, 1978.
- (Zone, 2007) Zone, R. Stereoscopic cinema and the origins of 3-D film, 1838–1952. The University Press of Kentucky, 2007. ISBN: 0813124611.