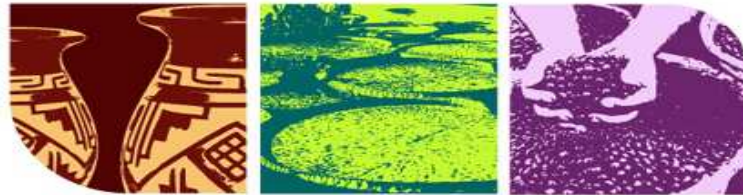




Congresso **Serpro** de
Tecnologia e **Gestão**
aplicadas a **Serviços Públicos**



DE 3 A 5 DE DEZEMBRO DE 2012
REGIONAL BELÉM - PA

Proposta de Novas Tecnologias Livres para Comunicação Multimídia no Governo

Estêvão Chaves Monteiro

Tema: Sistemas Distribuídos de Tempo Real e Multimídia

Folha de Rosto

Título do Trabalho : Proposta de Novas Tecnologias Livres para Comunicação Multimídia no Governo

Tema : Sistemas Distribuídos de Tempo Real e Multimídia

Autor : Estêvão Chaves Monteiro

Currículo : Analista desenvolvedor de sistemas. Programador Java certificado. Instrutor de POO, UML/RUP, Java e JavaScript. Atuações nos sistemas e-Processo, SispeiWeb e Midas Extrator. Experiente com elicitação, análise e modelagem de requisitos de software; modelagem de projeto de software; programação OO com design patterns, revisão de código, otimização e refatoramento; desenvolvimento Ajax/Web 2.0; webdesign intermediário. Interesses adicionais em multimídia, hipermídia e computação gráfica. Fluente em Inglês; iniciante em Japonês, Mandarim e Cantonês.

Resumo

As redes de informação estão cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas e organizações e vêm avançando no volume e complexidade de informação que conseguem transmitir. Videoconferência, streaming e vídeo sob demanda são cada vez mais relevantes à comunicação humana, à disseminação de conhecimento e ao ensino à distância. A área de vídeo e áudio digitais está em constante evolução, acompanhando os desenvolvimentos de infraestrutura de rede e hardware, além da TV digital. Os formatos de compressão, otimização psicovisual, otimização psicoauditiva e resiliência a erros de transmissão vêm avançando e, junto com eles, as ferramentas livres de produção de vídeo e áudio vêm se sobressaindo como as melhores de suas categorias, sobrepunhando as implementações proprietárias. O presente estudo analisa e critica os novos formatos e ferramentas, explorando suas possibilidades de implantação em organizações governamentais como o Serpro; demonstra, primariamente, produção de vídeo para transmissão sob demanda, aplicável a ensino à distância e comunicação interna da organização, mas também explora a relevância das mesmas ferramentas para transmissão em tempo real.

Palavras-chaves : Multimídia, ensino à distância, streaming, videoconferência, HTML5, codecs, Matroska/WebM, VP8, Ogg Vorbis, MPEG-4 Advanced Video Coding (AVC)/H.264, MPEG-4 Advanced Audio Coding (AAC), x264, ffmpeg.

Sumário

Folha de Rosto.....	1
Resumo	2
Introdução	4
1. Compressão.....	5
2. Formatos de Arquivo (Contentores).....	7
3. Formatos de Áudio e Vídeo.....	9
4. Advanced Video Coding.....	11
5. Advanced Audio Coding.....	12
6. WebM.....	14
7. Comparação de Codecs de Vídeo.....	18
8. Estudo de Caso: TV Serpro.....	20
9. Ferramentas Conversoras.....	21
10. Ferramentas de Captura.....	22
Conclusões	24
Referências	25

Introdução

As redes de informação estão cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas e organizações e vêm avançando no volume e complexidade de informação que conseguem transmitir. **Videoconferência, streaming e vídeo sob demanda** são cada vez mais relevantes à comunicação humana, à disseminação de conhecimento e ao ensino à distância. A área do vídeo e áudio digitais está em constante evolução, acompanhando o desenvolvimento das infraestruturas de rede e hardware, bem como da TV digital. Os formatos de **compressão** e suas técnicas de **otimização psicovisual, otimização psicoauditiva e resiliência a erros de transmissão** vêm avançando e, junto com eles, as **ferramentas livres** de produção de vídeo e áudio vêm se sobressaindo como as melhores de suas categorias, sobrepujando as implementações proprietárias.

O presente estudo analisará e criticará os novos formatos e ferramentas, explorando suas possibilidades de implantação em organizações governamentais, usando o Serpro como estudo de caso. O foco primário será a produção de vídeo para transmissão sob demanda via rede, aplicável a **ensino à distância (EAD), comunicação interna** da organização e **gravação de eventos**. Em segundo plano, serão contempladas as possibilidades trazidas pelas tecnologias estudadas a **transmissão em tempo real**. Os propósitos ao atualizar a infraestrutura organizacional para tecnologias mais novas e avançadas são: **reduzir os custos de armazenamento**, preservando a mesma qualidade de imagem e som em cerca de **metade do tamanho** de arquivo; **reduzir o tráfego de rede**, já que as transmissões serão reduzidas pela metade; **maior resiliência a erros de transmissão; melhor interoperabilidade** com ferramentas atuais, inclusive navegadores de Internet, bem como dispositivos móveis.

A pesquisa produziu uma constatação inesperada: a maioria (e melhores) das ferramentas livres identificadas para captura de vídeo são baseadas no sistema operacional (SO) **Windows**, quando o esperado seria no Linux. De fato, as opções para Linux são consideravelmente limitadas, enquanto as opções para Windows são **mais sofisticadas e práticas**, especialmente no que tange a **usabilidade**. Considerando a presença de mercado do Windows, inclusive no governo brasileiro, este fato pode ser considerado conveniente, mesmo porque

algumas das ferramentas Windows podem ser usadas no Linux através da camada de compatibilidade Wine, ao passo que aplicações Linux não são tão facilmente emuladas ou recompiladas para Windows. Ademais, a restrição de SO se aplica apenas aos produtores de conteúdo; demais setores da organização se concernem apenas com a reprodução, que independe do SO.

1. Compressão

Vídeo digital puro representa um volume de dados consideravelmente desproporcional ao que seria adequado aos meios físicos de armazenamento e telecomunicações contemporâneos. Por exemplo, um vídeo de 5 minutos em definição padrão de TV (720x480) reproduzido à taxa de 30 **imagens por segundo (frames per second ou FPS)** com 24 bits de cores (RGB) seria um arquivo de 8,7 gigabytes, ou seja, quase um disco DVD inteiro (dupla-face). Mas, DVDs são comercializados com filmes inteiros de até 2 horas ou mais. Isto é possível pois vídeo puro caracteriza-se substancialmente por redundâncias espaciais e temporais que podem ser matematicamente analisadas e reduzidas através de numerosas técnicas, ao que se chama de compressão. Assim, o vídeo do exemplo, que teria uma **taxa de bits (bit-rate)** de 248,8 Mbit/s (milhões de bits por segundo), terá, ao ser comprimido em formato MPEG-2 (padrão do DVD-Vídeo), meros 6 Mbit/s, ou seja, **2,4% do volume original**, sem perda relevante de detalhe. Enfatize-se, ainda, que MPEG-2 é um formato obsoleto, de 1996; formatos mais modernos, como o MPEG-4 AVC/H.264 usado na TV digital de **alta definição (high definition ou HD)**, entregam a **mesma qualidade** com até **metade desse volume**. Tais avanços permitem reduzir custos de transmissão e armazenamento ou manter os custos e aumentar a definição de vídeo.

Evidentemente, conteúdo de vídeo tipicamente ocorre casado com conteúdo de áudio. E também o áudio é visado para compressão, embora em proporções muito menores que o vídeo; afinal, as ondas sonoras são fenômenos mais discretos do que o mapa de pontos de cor (pixels) que compõe uma imagem, então por natureza requerem muito menos dados para digitalizar. Áudio digital convencional baseia-se em 16 bits e taxa de amostragem de 44.100 por segundo, ou seja, 44,1 kHz (kiloHertz), o que resulta na taxa de 705,6 kbit/s por canal. Os cálculos e comparações abordados no presente estudo se limitarão a áudio monoaural (1 canal) e estéreo (2 canais), portanto referenciaremos para

áudio puro apenas as taxas de 705,6 e 1411,2 kbit/s. Para ilustrar a relevância da compressão de áudio, o avançado formato HE-AAC v2 consegue preservar audibilidade comparável a emissoras de rádio com meros 32 kbit/s em estéreo, ou seja, **2,3%** do volume de dados original; enquanto música de qualidade é preservada virtualmente sem falhas humanamente perceptíveis com 192 kbit/s (**13,6%** do original).

Compressão de sinais de vídeo e áudio digital não se baseia apenas em redundâncias que podem ser simplificadas, mas também no descarte de detalhes que pouco contribuem para a qualidade percebida. Assim, os métodos de compressão se distinguem entre **sem perdas (lossless)** e **com perdas (lossy)**. Compressão sem perdas é a mais simples, baseada na já mencionada redução de redundâncias; por exemplo, **estimação de movimento** entre uma imagem de uma sequência e a seguinte. O tipo de compressão sem perdas mais universal e puramente matemático é a **codificação entrópica**, cujas variações mais comuns são os métodos **Huffman** e **aritmético binário**. Compressão com perdas é baseada no estudo da percepção humana, reduzindo aqueles detalhes cuja falta será menos percebida: no caso de vídeo, por exemplo, quanto mais **movimento** existe numa cena, menos detalhes são percebidos; em áudio, sons baixos são **mascarados** por sons altos. Esses são os princípios da **otimização psicovisual / psicoauditiva**, um dos principais fatores de qualidade de um compressor (mais comumente chamado de **codificador** ou **encoder**).

É importante enfatizar que quanto mais sofisticado um método (formato) de compressão, maior poder computacional é necessário para reproduzir o conteúdo. Não é à toa que formatos antigos como MPEG-2 ainda são amplamente utilizados no setor telecomunicações. Além disso, a qualidade da implementação do **decodificador (decoder)** é fundamental para o desempenho da reprodução. Portanto, os avanços nos formatos são limitados pelo estado tecnológico dos equipamentos de reprodução, além dos já mencionados fatores de meios físicos de transmissão e armazenamento. Ou seja, a publicação e padronização de formatos considera primariamente a viabilidade comercial de todo o aparato necessário. A Organização Internacional de Padrões – **ISO** é a principal definidora de padrões industriais de multimídia, através do Grupo de Especialistas em Filmes – **MPEG**.

Formatos de compressão sofisticados também exigem potência dos encoders; até mais do que dos decoders. Entretanto, exceto no caso de transmissão ao vivo, a codificação não precisa ocorrer na mesma velocidade que a decodificação. Assim, é possível ganhar qualidade e/ou reduzir o volume de dados de um vídeo comprimido investindo mais tempo durante a codificação. O que não significa, todavia, que um encoder mais lento que outro necessariamente produz maior qualidade; a qualidade da implementação do encoder é fundamental para sua velocidade computacional. É fundamental também para a preservação dos detalhes importantes do conteúdo original; isto é tão evidente que o encoder Lame MP3, por estar tão otimizado e aperfeiçoado, é notoriamente competitivo com os melhores encoders de AAC, que é um formato inerentemente superior em vários aspectos técnicos. Naturalmente, transmissão em tempo real precisa sacrificar qualidade para maior velocidade (menor **latência**), então o estudo desse tipo de aplicação costuma enfatizar aspectos diferentes da codificação.

2. Formatos de Arquivo (Contentores)

Áudio e vídeo digitais normalmente não são empregados em formato binário puro, mas sim dentro de contentores. O contentor é necessário para combinar o áudio e o vídeo num único arquivo; ou seja, realiza a **multiplexação** ou **muxing**. Portanto, a extensão de um arquivo de vídeo e/ou áudio quase sempre indica o formato do contentor, não das gravações contidas. Como a maioria dos contentores é projetada para admitir diversos formatos de vídeo e áudio, a extensão do arquivo não indica muito sobre eles. A organização dos dados em contentor é conveniente também para guardar descrições e etiquetas (**metadados**) sobre as gravações, como título, autor, álbum e ano. Contentores mais sofisticados permitem, ainda, **múltiplas gravações** de áudio (por exemplo, opção entre estéreo e surround e/ou entre Português e Inglês), **legendas** e marcação de **capítulos** (como em DVDs).

Atualmente, os contentores mais relevantes são MP4, Matroska e Flash, cada qual com suas vantagens. **MP4** é o padrão industrial, presente em todos os tipos de eletrônicos de dispositivos móveis a vídeo-games, e foi adotado pela multinacional Apple como formato padrão para todos os seus produtos, como

iPod, iPhone e iPad. Tecnicamente, MP4 admite qualquer formato de áudio e vídeo, mas enquanto padrão industrial, impõe uma lista branca. Embora proprietário, dispensa royalties, portanto de livres uso e implementação. A ferramenta livre predominante para muxing de MP4 é o **MP4Box**.

Tabela 1: Contentores Comuns

Extensão	Descrição
MOV	QuickTime Movie, a primeira plataforma multimídia para computadores pessoais, da Apple. 1991.
AVI	Audio Video Interleave, criado para a plataforma Video for Windows para competir com QuickTime. 1992.
MPG / VOB / EVO	MPEG-1 Program Stream, padrão industrial internacional pela ISO. 1993.
RM	RealMedia, focada em Internet (streaming). 1997.
ASF / WMV	Advanced Streaming Format, tipicamente usado para Windows Media Video, criado para competir com RealMedia e QuickTime devido às limitações do AVI. 1999.
OGM	Ogg Media, plataforma livre da Xiph.org. 2002.
SWF / FLV / F4V	Flash Video, focado em Internet. 2002/2003/2007.
MKV / WebM	Matroska, projeto livre mais sofisticado que OGM. 2003.
MP4	Formato de Arquivo MPEG-4, padrão industrial internacional pela ISO, derivado do MOV. 2003.

Matroska, por sua vez, é um bem-sucedido projeto de software livre, pretendendo oferecer flexibilidade, versatilidade e compatibilidade máximas, proporcionar menus sofisticados como de DVD-Video, e facilitar streaming robusto. Assim, Matroska se tornou o favorito na produção doméstica e distribuição de conteúdo ponto-a-ponto, com numerosas ferramentas livres robustas para Linux, Windows, Mac OS X e outros, adquirindo relevância tal que já é suportado por TVs digitais e eletrodomésticos afins. Além disso, a multinacional Google está promovendo o Matroska com sua versão chamada **WebM**, visando padronizar o vídeo na Web (ver 6. WebM). Tecnicamente, Matroska é mais sofisticado que MP4, mas possui menos presença de mercado. A ferramenta livre predominante para muxing de Matroska é **MKVToolNix**.

Por fim, **Flash Video** é o formato predominante na transmissão de vídeo via Web (usado, por exemplo, pelo Youtube) e é produzido pela Adobe Systems (originalmente Macromedia). A versão F4V é baseada no formato básico de arquivo de mídia ISO, assim como o MP4, e é mais adequada para os formatos avançados MPEG-4 (AVC e AAC) do que a versão FLV, que está caindo em desuso. Entretanto, recentemente a Adobe anunciou estar se retirando do mercado de dispositivos móveis, no qual vinha limitado ao Android (Google) e enfrentava o antagonismo da Apple. Até onde a presente pesquisa determinou, não existe uma ferramenta livre relevante que visa especificamente muxing de FLV/F4V como ocorre com MP4 e MKV, mas os softwares multimídia **ffmpeg** (apenas linha de comando) e **Avidemux** (com interface visual) oferecem essa funcionalidade.

3. Formatos de Áudio e Vídeo

O formato de áudio ou vídeo é o que efetivamente determina como a onda sonora ou a sequência de imagens foi gravada e comprimida e como poderá ser reproduzida. Cada formato tem suas características, particularidades e vantagens. Como já exposto, em regra, quanto mais sofisticado o formato, menor o tamanho de arquivo (para a mesma qualidade) mas maior o esforço computacional. Assim, a evolução dos formatos está intimamente ligada aos desenvolvimentos de hardware e indústria. As Tabelas 3 e 2 ilustram essa evolução e apresentam os formatos mais relevantes ao presente estudo.

Tabela 2: Formatos de Áudio Lossy Comuns

Formato	Descrição
MPEG-1/2 Audio Layer III	Abreviado MP3. Padrão industrial internacional para áudio estéreo em telecomunicações e o mais notório formato de áudio digital para Internet. Transparência a partir de 96 kbit/s por canal. 1988.
MPEG-2/4 Advanced Audio Coding	Abreviado AAC. Sucessor oficial do MP3, mais eficiente e permitindo até 48 canais. Transparência a partir de 80 kbit/s por canal. O perfil HE-AAC v2 mantém qualidade de rádio em 32 kbit/s estéreo. 1999.
Windows Media Audio	Desenvolvido pela Microsoft para competir com MP3 e Real Audio. Menos eficiente que AAC. 1999.
Vorbis	Formato livre e aberto da Xiph.org. Qualidade equivalente ao AAC. 2002.

Tabela 3: Formatos de Vídeo Lossy Comuns

Formato	Descrição
MPEG-1 Video / H.261	Qualidade VHS, para Video-CD. 1988.
MPEG-2 Video / H.262	Qualidade de TV padrão (SD-TV), para Super VCD e DVD. 1996.
H.263	Mais eficiente que MPEG-1 e MPEG-2, visando videoconferência. Tornou-se a base de vários formatos para Internet, mas não alcançou relevância industrial. 1996.
Real Video	Baseado em H.263, visa streaming. 1997.
MPEG-4 Visual	Baseado em H.263. 1999.
Windows Media Video	Baseado no MPEG-4 Visual, competidor contra QuickTime e Real Video. 1999.
Theora	Formato livre e aberto da Xiph.org, sem patentes, com qualidade próxima ao MPEG-4 ASP. 2002.
MPEG-4 Advanced Video Coding / H.264	Abreviado AVC. Padrão industrial internacional primário para conteúdo HD. 2003.
SMTPE VC-1 / WMV9	Padrão industrial internacional secundário para conteúdo HD, desenvolvido pela Microsoft. Competidor contra AVC. 2006.
SMTPE VC-2 / Dirac	Padrão industrial livre e aberto desenvolvido pela BBC, para armazenamento de vídeo profissional. 2008.
VP8	Formato livre e aberto da Google; competidor à altura do AVC na Internet. 2008.

Existem vários métodos matemáticos para medir a perda de qualidade de um formato de compressão lossy. O mais básico chama-se **pico de relação entre sinal e ruído (PSNR)**, no qual o sinal corresponde à imagem original e o ruído corresponde à imagem comprimida. Entretanto, esse método é hoje considerado obsoleto devido a inconsistências substanciais entre a qualidade medida e a qualidade percebida pela visão humana; uma alternativa recente é o **índice de similaridade estrutural (SSIM)**, que considera as relações entre pixels adjacentes na tentativa de identificar estruturas coesas na imagem.

Alguns formatos, especialmente os padrões industriais como os do MPEG e do SMTPE, definem perfis de complexidade e níveis de transmissão. Assim, um

formato pode possuir um perfil que visa dispositivos móveis (caracterizados por baixa potência) e um que visa computadores pessoais (muito mais potentes), bem como um nível adequado para TV padrão e outro para TV de alta definição. Esta organização promove flexibilidade e compatibilidade, mas deve ser considerada ao comparar a qualidade e eficiência entre formatos diferentes.

Os critérios de seleção para formatos propostos pelo presente estudo para comunicação no governo são:

- custo zero de licenciamento: não onerar o erário público;
- presença de mercado: buscar a máxima compatibilidade com equipamentos populares, afim de promover inclusão digital;
- eficiência de compressão: reduzir custos de armazenamento e transmissão; e
- facilidade de produção e distribuição.

4. Advanced Video Coding

O formato de vídeo disponível ao público mais sofisticado e que oferece a melhor relação entre tamanho de arquivo e qualidade da imagem reproduzida é o MPEG-4 AVC, também conhecido pela sua referência ITU-T¹ H.264. Seu contentor oficial é o MP4, mas também é frequentemente encontrado em MKV, FLV e F4V. O formato de áudio recomendado é o AAC.

O AVC formato introduziu inovações como:

- codificação entrópica adaptativa a contexto e por método aritmético binário;
- filtro de deblocking (suavização) interno ao ciclo de feedback de quadros;
- referenciamento de quadros distantes além dos adjacentes;
- tamanho variável de macroblocos de estimação de movimento;
- quantização adaptativa;
- predição ponderada; e
- diversas outras técnicas avançadas de predição inter-quadros / estimação

¹ Setor de Padronização de Telecomunicações da União Internacional de Telecomunicações.

de movimento.

Os perfis mais relevantes do AVC são Constrained Baseline (CBP) e High (HiP). O HiP aplica todas as técnicas mais avançadas de compressão do formato, porém só é suportado por dispositivos mais potentes, como computadores pessoais. O CBP dispensa a codificação aritmética binária, blocos bipreditivos, blocos 8x8 e matrizes de quantização escalada, perdendo visivelmente qualidade (ou tamanho) comparado ao HiP, mas mantendo vantagem em relação a MPEG-4 Visual e outros derivados do H.263. AVC-CBP é suportado por virtualmente todos os dispositivos móveis atuais. Os níveis mais relevantes do AVC são 3.0 (SD), 3.1 (HD / 720p) e 4.0 (Full HD / 1080p).

AVC é uma tecnologia proprietária e sujeita a royalties, mas somente quando explorada comercialmente; ainda assim, transmissão gratuita de conteúdo AVC pela Internet é isenta. O encoder **x264**, amplamente considerado o melhor software encoder de vídeo do mundo (mais otimizado em qualidade de imagem produzida, eficiência e velocidade de compressão), é publicado como código aberto e livre sob a licença GPL, e embutido em diversas ferramentas de conversão de vídeo livres como VLC Player, MeGUI, Hybrid, AviDemux e Handbrake. Existem, ainda, diversos decodificadores gratuitos e abertos (Windows Media Player, Adobe Flash, VLC Player e outros derivados do libavcodec). Portanto, o formato AVC pode ser usado por organizações governamentais brasileiras sem custos de licenciamento. Além disso, em 2012 noticiou-se que quatro (Apple, Cisco, Fraunhofer e Polycom) dos 28 donos das patentes do AVC estão negociando com os demais a isenção integral do perfil CBP, em reação à concorrência do WebM/VP8 da Google; tal proposta chama-se **WebVC** e é apelidada Patent Pool Lite.

5. Advanced Audio Coding

O formato de áudio AAC foi desenvolvido para corrigir falhas de projeto do MP3 que causam diversos problemas, como:

- abafamento de sons de percussão;
- pré-eco excessivo;
- aliasing excessivo;

- limitação de resolução de frequência;
- joint stereo limitado ao quadro inteiro (em vez de diferenciar entre faixas de frequência diferentes);
- lacuna inicial na reprodução; e
- verificação limitada de integridade de dados.

Além de resolver esses problemas, o AAC permite até 48 canais e até 96 kHz de amostragem, e oferece os seguintes recursos (que compõem perfis de aplicação diferentes):

- TNS - formação temporal de ruído (otimização perceptual);
- Predição Reversa (para compatibilidade com modelos anteriores);
- PNS - substituição de ruído perceptual (compressão de ruído);
- SBR - replicação de banda espectral (perfil HE-AAC); e
- PS - estéreo paramétrico (perfil HE-AAC+).

Inicialmente, o perfil AAC que substitui o MP3 é o Low Complexity (**AAC-LC**). Posteriormente, SBR foi adicionado, formando o perfil High Efficiency (**HE-AAC**), caracterizado por preservação substancial de qualidade em bit-rates muito baixos (menos de 80 kbit/s em estéreo) por comprimir muito mais as frequências mais altas. Por fim, PS foi adicionado, para o perfil **HE-AAC+**, permitindo qualidade razoável em bit-rates ainda mais baixos: 32 kbit/s em estéreo é comparável a emissoras de rádio.

AAC é uma tecnologia proprietária que cobra royalties apenas por encoders e decoders, não pela distribuição de conteúdo. Os mesmos decoders gratuitos mencionados acima para AVC também suportam AAC. As opções de encoders devidamente licenciados são restritas, entretanto. O encoder **FAAC** é código aberto que pode ser alterado sob licença LGPL, e de fato é embutido em diversas ferramentas gratuitas como VLC Player, MeGUI, Hybrid, Avidemux e Handbrake; porém, a rigor, essas ferramentas deveriam alertar sobre as patentes infringidas pelo componente. Sendo gratuitas, é provável que sejam legalmente isentas de royalties, assim como ocorre com o AVC, que só cobra royalties por uso comercial. Por outro lado, a qualidade produzida pelo FAAC é relativamente muito

baixa, muito pior que os encoders AAC do Nero, QuickTime e Fraunhofer, pior que Vorbis, e até pior que o Lame MP3, mesmo com as limitações inerentes ao formato MP3.

Os melhores encoders AAC disponíveis gratuitamente ao público são os oferecidos pelas empresas Nero, Apple e Fraunhofer. O encoder no Nero é um programa de linha de comando licenciado gratuitamente para uso pessoal não-comercial e avaliação tecnológica, então *a priori* não para uso organizacional sistemático, mesmo que no âmbito governamental ou acadêmico. As ferramentas MeGUI e Hybrid oferecem interface visual para trabalhar com esse encoder. O encoder da Apple é distribuído dentro da plataforma QuickTime, que é licenciada gratuitamente para usuários finais e também para organizações, mas, para esse último caso, requer cadastro. O encoder pode ser diretamente invocado através do programa de linha de comando QAAC, que por sua vez é embutido no Hybrid, que oferece interface visual para a tarefa. Finalmente, o encoder da Fraunhofer não é licenciado ao público, mas encontra-se embutido no Winamp Player, gratuito, na forma de uma biblioteca DLL, que também pode ser aproveitada pelo Hybrid através do programa de linha de comando Fhgaacenc. Obviamente, o uso de tal encoder como solução organizacional no âmbito governamental é, no mínimo, questionável, portanto não recomendado.

6. WebM

O Consórcio WWW (W3C), órgão internacional responsável pela definição e desenvolvimento das tecnologias usadas na Web, vem há anos discutindo com o mercado de tecnologia as definições do padrão de hipertexto **HTML5**. Evidencie-se que o HTML4 foi estabelecido em 1997, então há 15 anos não ocorre atualização substancial do padrão. Uma dos pontos de discussão é a reprodução de vídeo integrada ao navegador. Hoje, são necessários plug-ins como o Adobe Flash para assistir vídeos em sítios como Youtube, que por sinal são softwares proprietários. A polêmica de qual formato será definido como padrão gira em torno das opções de software livre, enquanto os donos de formatos proprietários tentam pender a balança ao seu favor.

Até 2007, a intenção do W3C era definir como padrão o vídeo **Theora** com áudio **Vorbis** dentro do contentor **OGM**. Entretanto, várias controvérsias foram debatidas sobre essa escolha e voltou-se à indefinição. Vorbis é um formato de

áudio livre e aberto, bem-sucedido e adotado por numerosos softwares e jogos eletrônicos; sua qualidade é equivalente aos melhores encoders AAC. Porém, vídeo Theora oferece baixa qualidade comparado aos formatos atuais e é considerado obsoleto, assim como o limitado contentor OGM. Além disso, grupos interessados em royalties acusam risco de patentes “submarinas”, ou seja, o risco de serem identificadas em definições essenciais do formato violações de patentes.

Em 2010, a Google adquiriu a empresa On2, desenvolvedora da família de codecs TrueMotion, da qual fazem parte o VP3 (a base do Theora) de 2000, o VP6 (usado pelo Flash Video) de 2003 e o VP8 de 2008. VP3 e VP8 eventualmente foram publicados como código aberto com licenças gratuitas, respectivamente em 2002 e 2010; no caso do VP8, uma licença simples do tipo BSD. A Google assumiu o desenvolvimento do VP8 para torná-lo viável como formato padrão da Web, casado com áudio Vorbis dentro do contentor WebM, que nada mais é que um perfil simplificado do Matroska visando HTML. De especial relevância, nessa empreitada a Google conta com o apoio da Fundação Mozilla, produtora do popular navegador Firefox.

VP8 baseia-se nos mesmos conceitos que o H.264/AVC mas vem sendo desenvolvido com especial atenção a evitar toda e qualquer técnica patenteada, contornando-as com soluções alternativas que às vezes são só menos sofisticadas, mas muitas vezes são menos eficientes. As perdas são inevitáveis, mas, o objetivo do VP8 não é competir com H.264 de igual para igual, mas sim aproximar-se ao máximo dele, como uma boa opção livre para todos. Quando a Google publicou a licença livre do VP8, em 2010, a licenciadora MPEG LA (que nada tem a ver com o grupo ISO MPEG) convocou publicamente donos de patentes a se manifestarem sobre o VP8, tal qual fez com o VC-1 (que havia sido licenciado gratuitamente pela Microsoft), e alega ter confirmado 12 patentes essenciais empregadas no formato; entretanto, até agosto de 2012, nada foi definido, e a Google continua desenvolvendo ativamente o codec. Nesse meio-tempo, a MPEG LA vem sendo investigada pelo Departamento de Justiça americano quanto a alegações de atentados à livre competição; supostamente, a instituição vem ativamente atacando toda e qualquer tentativa de estabelecer codecs livres de patentes, desde o Ogg Theora. Por outro lado, o VP8 imita o AVC

muito mais que o VC-1, que não conseguiu evitar patentes essenciais.

O codec (decoder e encoder) referencial da Google é a biblioteca **libvpx**. O projeto livre ffmpeg desenvolveu, com participação relevante de Jason Garrett-Glaser (desenvolvedor-líder do x264), o decoder **ffvp8**, que, em julho de 2010, tinha desempenho 30% melhor em plataformas 32 bits e 60% melhor em 64 bits. Nessa época, o libvpx era 16% mais lento que o decoder AVC do ffmpeg, que por sua vez era 35% mais lento que o decoder do Theora. Entretanto, o histórico de alterações do libvpx até junho de 2012 relatava otimizações que, acumuladas, alcançam a ordem de 60%, o que sugere que as duas implementações hoje estejam equivalentes.

Garrett-Glaser analisou profundamente o libvpx no seu blog, ao longo de 2010; tais análises foram amplamente divulgadas e tiveram grande repercussão na mídia especializada, inclusive em um episódio em que a opinião de Steve Jobs sobre o VP8 se resumiu a repassar o link para uma dessas análises. O desenvolvedor do x264 explica detalhadamente as formas como o VP8 imita o AVC procurando enfaticamente evitar as patentes, e com isso sofre perdas significativas de qualidade e eficiência. Entretanto, conclui que, dentro dessas restrições, o encoder faz seu trabalho muito bem em termos de qualidade, faltando apenas as otimizações de código necessárias para ter boa performance e ser competitivo. Sugeri como recursos de otimização a árvore de macroblocos, quantização Trellis, melhor uso de cache de CPU através da redução de passes (um passe para todas as fases em vez de um passe por fase) e otimizações psicovisuais (tuning), consideradas um dos maiores trunfos do x264. De fato, o tuning era um dos principais pontos de melhoria, já que na primeira versão pública do VP8 foi programado orientado a análise PSNR em vez de SSIM. Um defeito grosseiro identificado no libvpx é a tendência a saltos de qualidade: alguns quadros-I são extremamente detalhados enquanto os demais quadros caem bruscamente de qualidade. Além disso, até hoje a compressão baseada em bit-rate comporta-se de maneira exótica, principalmente em modo de passe único, frequentemente ignorando completamente o bit-rate alvo.

De 2010 a 2012, a Google implementou diversos aprimoramentos ao encoder:

- desempenho 90% mais rápido;
- tuning alterado para SSIM e aprimorado por 13%;
- quantização Trellis;
- multithreading;
- bitpacking experimental, podendo aumentar a velocidade por 13%;
- escalabilidade temporal (FPS variável);
- escalabilidade espacial (resolução variável);
- estéreo 3D;
- denoiser temporal com compensação de movimento; e
- uso do contentor IVF para vídeo puro.

Por enquanto, o libvpx (opcionalmente distribuído como vpxenc) é o único encoder publicado para VP8. Existe um projeto baseado em x264 chamado xvp8, mas nenhuma versão foi concluída ou publicada. O libvpx foi incluído no projeto ffmpeg então pode ser usado pelos inúmeros programas derivados, como VLC Player e Mencoder; também é suportado pelo conversor Hybrid.

Em termos de eficiência na qualidade (qualidade por tamanho), o VP8 é melhor que XviD, Theora, Dirac e AVC-Baseline; comparável a VC-1; e pior que AVC-Main e AVC-High. De fato, Garrett-Glaser resumiu o VP8 a “uma imitação do AVC-Baseline com uma melhor codificação entrópica”. Como o mercado está se direcionando para os dispositivos móveis como smartphones e tablets, nos quais o AVC-Baseline é o formato predominante, e a Google produz o sistema operacional Android para esses dispositivos, a competição promete ser interessante. No PC (Windows e Linux), os navegadores Google Chrome 6+, Mozilla Firefox 4+ e Opera 10.60+, usados por cerca de 60% dos internautas no mundo em 2012, já suportam WebM nativamente, sem necessidade de instalações adicionais como Adobe Flash ou codecs; pode-se simplesmente arrastar um arquivo WebM para o navegador e ele o reproduz imediatamente. Por outro lado, WebM não é oficialmente suportado em computadores da Apple.

7. Comparação de Codecs de Vídeo

Os codecs livres libtheora, libvpx e x264 foram selecionados para comparação de qualidade visual, pelas suas relevâncias já abordadas. Para uniformizar as condições de comparação, a compressão foi realizada em um único passe, apesar de ser recomendável a compressão em 2 passes nas aplicações baseadas em vídeo previamente digitalizado. A fonte usada é a cena de abertura do filme Batman Begins ©, em formato MPEG2 Video de resolução 720x480 a 6.400 kbit/s, comercializado em DVD no Brasil. O bit-rate escolhido para comparação foi de 700 kbit/s, 30% abaixo do típico 1.000 kbit/s usado para essa resolução transmissões Web, afim de enfatizar os defeitos de compressão que distinguem a qualidade dos encoders.

Para comprimir com libtheora foi utilizada a função Converter/Salvar do VLC Player. Para libvpx e x264 foi utilizado o conversor visual Hybrid. A configuração usada para libvpx foi: perfil “complex”, qualidade “good” e CPU “3”. Duas configurações foram usadas para x264: perfil “Constrained Baseline” (CBP), tuning “Film”; e perfil “High” (HiP), tuning “Film”.



Ilustração 1: Cena comprimida com libtheora



Ilustração 2: Cena comprimida com libvpx



Ilustração 3: Cena comprimida com x264 (CBP)



Ilustração 4: Cena comprimida com x264 (HiP)

As imagens corroboram as assertivas levantadas na pesquisa bibliográfica: a qualidade do Theora é substancialmente inferior ao VP8 e AVC, sendo nitidamente visíveis virtualmente todos os macroblocos de quantização / estimação de movimento; o VP8 é sutilmente mais nítido que o AVC-CBP; e o AVC-HiP produz a melhor qualidade de todas.

As imagens originais podem ser conferidas nos links:

- <http://estevaomonteiro.com/conserpro/700-libtheora.png>
- <http://estevaomonteiro.com/conserpro/700-libvpx.png>
- <http://estevaomonteiro.com/conserpro/700-x264cbp.png>
- <http://estevaomonteiro.com/conserpro/700-x264hip.png>

8. Estudo de Caso: TV Serpro

A empresa pública Serviço Federal de Processamento de Dados – Serpro mantém o sítio TV Serpro (<http://www.tv.serpro.gov.br>). O sítio é desenvolvido sobre a plataforma Zope/Plone, conforme o padrão dos portais da empresa, e oferece vídeo sob demanda na forma de vídeo Theora e áudio Vorbis em contentor OGV (OGM), empregando a applet Java de streaming **Cortado**, mantida pela Xiph.org, a desenvolvedora de Theora e Vorbis. Tipicamente, os vídeos ocorrem na resolução de 420x308 pixels, com entre 1.500 e 2.000 kbit/s; o áudio ocorre em monoaural de 60 kbit/s com 48 kHz de amostragem.

Muitas otimizações podem ser propostas para tal infra-estrutura multimídia do Serpro. Em primeiro lugar, pode-se limitar o Cortado a **fallback**, ou seja, alternativa ao HTML5-Video, acionado apenas quando o navegador do usuário não suportar o recurso nativamente. Ou seja, Firefox, Chrome e Opera dispensariam a applet, que só seria necessária para navegadores como Internet Explorer e Safari (Apple). Em segundo lugar, a empresa pode avaliar a possibilidade de passar a produzir vídeos novos em formato WebM (VP8 com Vorbis), que consegue qualidades substancialmente superiores e é nativamente suportado pelos três navegadores supracitados. Tal decisão terá que considerar a imposição sobre o consumidor do conteúdo de instalar plugins caso queira assisti-lo nos navegadores não suportados. Outra opção seria mudar o formato para Flash com AVC e AAC, já que o Adobe Flash conta com uma presença de

mercado dominante e está instalada em mais de 50% dos computadores pessoais no mundo. A adoção de VP8 ou AVC permitiria **aumentar a resolução** dos vídeos para alta definição 720p (**1280x720**) com o mesmo bit-rate usado hoje, ou manter a resolução e **reduzir o bit-rate** por 70% (em torno de **400 kbit/s**) mantendo a mesma qualidade.

A teoria da amostragem determina que digitalizar áudio requer o dobro de amostras para a frequência que se deseja reproduzir. Assim, como a audição humana alcança até 22 kHz, áudio é digitalizado para 44 kHz. (Por questões de conveniência computacional, 48 kHz também é comum.) Porém, o conteúdo da TV Serpro é composto predominantemente por entrevistas e a voz humana abrange até 11 kHz. Portanto, mais bit-rate pode ser economizado, ou qualidade ganhada, reduzindo a amostragem das gravações de entrevistas para **22 kHz**.

9. Ferramentas Conversoras

Foram testadas várias ferramentas Windows de conversão de vídeo gratuitas: VirtualDub, VirtualDubMod, Avidemux (Linux também), Handbrake (Linux também), MeGUI (Linux com Wine) e Hybrid (Linux também). São softwares livres e abertos, exceto Hybrid, que é apenas gratuito. Todas são opções adequadas, com vantagens diferentes. Exceto Handbrake, incluem também funções básicas de edição não-linear, como corte de cenas indesejadas.

VirtualDub é um excelente editor de vídeo intermediário, mas produz apenas AVI, que não é adequado para formatos novos como AVC, AAC e Vorbis. Além disso, é limitado aos codecs das obsoletas plataformas Windows Vfw e ACM. As demais ferramentas são todas baseadas em bibliotecas livres maduras como os já mencionados x264, FAAC e Lame MP3. Delas, apenas Hybrid suporta WebM e VP8, e apenas Avidemux produz Flash Video. MeGUI e Hybrid se destacam por sua arquitetura modular, permitindo que seus componentes sejam substituídos manualmente, caso seus desenvolvedores deixem de atualizá-los. A arquitetura modular também permite o uso de ferramentas de terceiros, como os encoders AAC do Nero e do QuickTime.

Tabela 4: Ferramentas conversoras e seus formatos

Ferramenta	Contentores	Vídeo	Áudio
Avidemux	AVI, FLV, MKV, MP4, MPEG-PS, MPEG-TS, OGM	AVC, DV, FFV1, H.263, HuffYuv, MJPEG, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, Sorenson Spark, YV12 bruto	AAC, Dolby Digital AC3, MP2, MP3, PCM bruto, Vorbis
Handbrake	MKV, MP4	AVC, MPEG-2, MPEG-4	AAC, Dolby Digital AC3, MP3
Hybrid	M2TS, MKV, MOV, MP4, WEBM	AVC, MPEG-4, ProRes, VP8	AAC, Dolby Digital AC3, DTS, FLAC, MP3, PCM bruto, Vorbis
MeGUI	AVI, M2TS, MKV, MP4	AVC, MPEG-4	AAC, MP3, Vorbis
VirtualDub	AVI	Codecs VFW instalados	Codecs ACM instalados
VirtualDubMod	AVI, MKV	Codecs VFW instalados	Codecs ACM instalados

Tão importantes quanto a seleção de formatos e ferramentas são os cuidados com os parâmetros de compressão. O modo de codificação que resulta na melhor relação entre qualidade e tamanho é o de bit-rate variável (VBR); porém, para streaming, constante (CBR) pode ser mais adequado, dependendo do bit-rate e da largura de banda da conexão. Os bit-rates ideais para boa qualidade dependem da resolução e FPS do vídeo, ou da frequência de amostragem e número de canais do áudio. Vídeo na web geralmente é progressivo, não entrelaçado, e é reproduzido entre 25 e 30 FPS; nesse caso, AVC e VP8 apresentam qualidade “transparente” com 1000 kbit/s, em SD, ou 4000 kbit/s, em HD. Áudio tipicamente é 48 kHz estéreo; nesse caso, AAC e Vorbis apresentam qualidade “transparente” com 160 kbit/s.

10. Ferramentas de Captura

Cursos de ensino à distância (EAD) via vídeo-tutoriais relativos ao uso de software requerem ferramentas para capturar a tela do professor e sua voz ao microfone. Para tanto, as opções gratuitas são limitadas, especialmente visando aqueles que gravem em formatos intermediários pouco comprimidos para

manter maior qualidade ao comprimir para o formato final desejado. É importante enfatizar que converter de um formato lossy para outro degrada a qualidade da gravação, a não ser que o formato original esteja em um bit-rate muitas vezes maior que o formato final, o que torna a diferença irrelevante.

O formato intermediário ideal é aquele que comprima sem perdas, apenas reduzindo a amostragem de cores de RGB24 para YV12, que é o espaço de cores padrão para vídeo digital com perdas (ou seja, que será posteriormente convertido pelo encoder lossy de qualquer maneira). O encoder mais difundido que atende a esses requisitos é o Lagarith, mas existe a opção do x264 em modo lossless, preset Ultrafast e tuning Zero Latency.

As opções de captura no Linux são bastante limitadas. A mais comum é RecordMyDesktop, que só produz OGM. A applet Java Screencast-O-Matic é uma opção mais completa, permitindo delimitar a zona de captura na tela e optar entre MP4 (AVC + AAC), FLV (Sorenson Spark + MP3) ou AVI (MPEG4 + MP3), mas não permite configurar os parâmetros do encoder nem escolher os melhores encoders, nem gravar em vídeo YV12 puro para posterior conversão com ferramentas melhores. As ferramentas de linha de comando ffmpeg e GStreamer permitem captura mais configurável, mas exigem conhecimento técnico avançado para usar ou desenvolver uma interface visual. Ffmpeg é a maior plataforma de codecs livre, usada pela maioria das ferramentas livres de reprodução ou conversão de vídeo e áudio (inclusive os já mencionados VLC Player, Handbrake e MeGUI) e suportando mais de 100 formatos.

No Windows, a opção livre (GPL) é CamStudio, que possui seu próprio codec lossless e pode também usar codecs lossless VFW como Huffiyuv, Lagarith e x264. Grava região, região fixa (desenhada), janela ou tela cheia. Para capturar aplicações DirectX ou OpenGL pode ser usado o programa grátis MSI Afterburner, mas este caso é pouco aplicável a organizações governamentais.

Conclusões

Identificamos como formatos atuais de maior qualidade e compatibilidade no âmbito do vídeo para Web o Flash com AVC-Baseline e áudio AAC-LC, e o WebM com VP8 e áudio Vorbis. Levantamos as ferramentas gratuitas AviDemux, Handbrake, MeGUI e Hybrid para a conversão do vídeo intermediário para os formatos escolhidos. Levantamos, também, a ferramenta Screencast-O-Matic para captura de tela no Linux, e Camstudio no Windows.

Trabalhos futuros poderão explorar as capacidades dos formatos estudados no âmbito da videoconferência, uma vez que contam com recursos adicionais de resiliência a erros de transmissão, além da melhor qualidade de imagem. Não abordamos formatos de áudio de baixa latência, como CELT, que seriam pertinentes a transmissão ao vivo.

Apuramos que as ferramentas Ffmpeg e GStreamer permitem captura altamente configurável e com potencial para alta qualidade, em Linux e Windows, mas que, afim de implantar seu uso em produção de conteúdo no âmbito governamental, seria recomendável o desenvolvimento de ferramenta com interface visual amigável ao usuário comum.

As pesquisas e prospecções que resultaram no presente trabalho produziram muito mais conhecimento do que foi possível abordar dentro dos confines de espaço e escopo pré-definidos. O produto completo encontra-se publicado no sítio do autor, em <http://estevaomonteiro.com/compressaoav.htm>.

Referências

- AMORIM, R; EDWARDS, J. LAME ACM Codec. 2012. Disponível em: <<http://www.rarewares.org/mp3-lame-dshow-acm.php>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- AMORIM, R. Roberto's Public Listening Tests Page. 2009. Disponível em: <<http://web.archive.org/web/20090420033815/http://www.rjamorim.com/test>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- AOYUMI. Vorbis aoTuV. 2011. Disponível em: <<http://www.geocities.jp/aoyoume/aotuv>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- APPLE. QuickTime. 2012. Disponível em: <<http://www.apple.com/quicktime>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- AUDIOCODING. FAAC. 2009. Disponível em: <<http://www.audiocoding.com/faac.html>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- BELGABOR; CHRISTIANHJW; SUIRYC. VirtualDubMod. 2011. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/virtualdubmod>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- BERRINAM; CHARLESKI; DOOM9; KURTNOISE13; SHARX1976; ZATHOR. MeGUI. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/megui>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- CODING Technologies. Coding Technologies – Products and Technologies - aacPlus. 2009. Disponível em: <<http://web.archive.org/web/20090604090937/http://www.codingtechnologies.com/products/aacPlus.htm>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- Doom9 Codec Shoot-Out 2005 - Final. 2005. Disponível em: <<http://www.doom9.org/index.html?/codecs-final-105-1.htm>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- DOOM9. Doom 9 - The Definitive DVD Backup Resource. 2012. Disponível em: <<http://doom9.org>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- ERMAC; ABSOLUTEDESTINY; ZARXRAX. A&E's Technical Guides to All Things Audio and Video. 2010. Disponível em: <<http://www.animemusicvideos.org/guides/avtech31>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- FCCHANDLER. FccHandler's stuff. 2012. Disponível em: <<http://home.comcast.net/~fcchandler>>. Acesso em: 10 agosto 2012.
- FRAUNHOFER-GESSELLSCHAFT. Fraunhofer Institute for Integrated Circuits – Products – Audio Codecs. 2011. Disponível em: <<http://www.iis.fraunhofer.de/en/bf/amm/produkte/audiocodec/audiocodecs>>. Acesso em:

10 agosto 2012.

GARRETT-GLASER, J. Diary of an x264 Developer. 2011. Disponível em: <<http://x264dev.multimedia.cx>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

GLIDDEN, R. "MPEG Plus or Patent Pool Lite? MPEG Mulls Royalty-Free Proposals." 2011. Disponível em: <<http://www.robglidden.com/2011/12/mpeg-plus-or-patent-pool-lite-mpeg-mulls-royalty-free-proposals>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

HEGEMANN, R.; LEIDINGER, A.; BRITO, R. LAME MP3 Encoder. 2011. Disponível em: <<http://lame.sourceforge.net>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

HYDROGENAUDIO. Hydrogen Audio Forums – Portal. 2011. Disponível em: <<http://hydrogenaudio.org>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

HYDROGENAUDIO. Lossless Comparison. Disponível em: <http://wiki.hydrogenaudio.org/index.php?title=Lossless_comparison>. Acesso em: 10 agosto 2012.

IANB1957; BERG, R.; SHODAN; WILBERTD. AviSynth rev. 2. 2011. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/avisynth2>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

JANHGM. CamStudio – Free Screen Recording Software. 2011. Disponível em: <<http://camstudio.org>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

LAGSALOT. Lagarith Lossless Video Codec. 2011. Disponível em: <<http://lags.leetcode.net/codec.html>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

LEE, A. VirtualDub. 2012. Disponível em: <<http://virtualdub.sourceforge.net>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

MEAN. Avidemux DokuWiki: H.264 encoding guide. 2010. Disponível em: <<http://www.avidemux.org/admWiki/doku.php?id=tutorial:h.264>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

MEAN. Avidemux. 2011. Disponível em: <<http://avidemux.sourceforge.net>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

MEWIKI. X264 Settings. 2012. Disponível em: <http://mewiki.project357.com/wiki/X264_Settings>. Acesso em: 10 agosto 2012.

MONTEIRO, E. Guia de Compressão de Áudio e Vídeo. 2012. Disponível em: <<http://estevaomonteiro.com/compressaoav.htm>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

MOSU. MKVToolnix – Matroska tools for Linux/Unix and Windows. 2012. Disponível em: <<http://www.bunkus.org/videotools/mkvtoolnix>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

MPEG LA – The Standard for Standards. 2009. Disponível em: <<http://www.mpegla.com>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

MPEG. The MPEG Home Page. 2012. Disponível em: <<http://mpeg.chiariglione.org>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

MSI; RIVATUNER. MSI Afterburner. 2012. Disponível em: <<http://event.msi.com/vga/afterburner>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

Multimedia Wiki. 2011. Disponível em: <<http://wiki.multimedia.cx>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

NERO. Nero AAC Codec. 2012. Disponível em: <<http://www.nero.com/enu/technologies-aac-codec.html>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

NU774. QAAC. 2012. Disponível em: <<http://sites.google.com/site/qaacpage>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

PETIT, E. HandBrake. 2012. Disponível em: <<http://handbrake.fr>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

RICHARDSON, I. VCodex: Expert advice on video compression. 2012. Disponível em: <<http://vcodex.com>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

RUDIAK-GOULD, B. HuffYUV. 2005. Disponível em: <<http://neuron2.net/www.math.berkeley.edu/benrg/huffyuv.html>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

SELUR, C. Hybrid. 2012. Disponível em: <<http://selur.de>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

TMKK. FhGAACEnc. 2012. Disponível em: <<https://github.com/tmkk/fhgaacenc>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

TMKK. QTAACEnc. 2011. Disponível em: <<http://tmkk.pv.land.to/qtaacenc>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

VATOLIN, D.; KULIKOV, D.; PARSHIN, A.; ARSAEV, M. Seventh MPEG-4 AVC/H.264 Video Codecs Comparison. In: EVERYTHING ABOUT DATA COMPRESSION. 2011. Disponível em: <http://compression.graphicon.ru/video/codec_comparison/h264_2011>. Acesso em: 10 agosto 2012.

VIDEOLAN. X264, the best H.264/AVC encoder. 2012. Disponível em: <<http://www.videolan.org/developers/x264.html>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

WIKIMEDIA Project. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

WISHMASTER. Video Encoding (Using MeGUI x264 Encoder). 2012. Disponível em: <<http://www.sevenforums.com/tutorials/104382-video-encoding-x264-megui.html>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

x264 (compilações executáveis). 2012. Disponível em: <<http://x264.nl>>. Acesso em: 10

agosto 2012.

XIPH.ORG. Ogg Vorbis. 2012. Disponível em: <<http://www.vorbis.com>>. Acesso em: 10 agosto 2012.

XVID. Xvid.org: Home of the Xvid Codec. 2011. Disponível em: <<http://www.xvid.org>>. Acesso em: 10 agosto 2012.