

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

LUIZ FELIPPE LAZZARIN

**DISTRIBUIÇÃO DE VÍDEO ESCALÁVEL BASEADA NA RECOMENDAÇÃO
H.264/SVC EM UM SERVIÇO DE WEBTV**

CRICIÚMA

2014

LUIZ FELIPPE LAZZARIN

**DISTRIBUIÇÃO DE VÍDEO ESCALÁVEL BASEADA NA RECOMENDAÇÃO
H.264/SVC EM UM SERVIÇO DE WEBTV**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. MEng. Evânio Ramos Nicoleit

CRICIÚMA

2014

LUIZ FELIPPE LAZZARIN

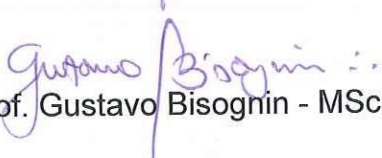
**DISTRIBUIÇÃO DE VÍDEO ESCALÁVEL BASEADA NA RECOMENDAÇÃO
H.264/SVC EM UM SERVIÇO DE WEBTV**


Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da Computação na Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Codificação de Vídeo.

Criciúma, 24 de Novembro de 2014.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Evânio Ramos Nicoleit - M.Eng. - UNESC - Orientador


Prof. Gustavo Bisognin - MSc. - UNESC


Prof. Paulo João Martins - MSc. - UNESC

Dedico este trabalho a meus pais Luiz Carlos e Ednara, a minha vó Cleir, e aos meus colegas de trabalho no Kiron.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e a minha vó por me auxiliarem no ingresso e mantimento no curso de Ciência da Computação na UNESC, conseqüentemente permitindo a realização deste trabalho, como também no apoio incondicional e momentos difíceis.

É com grande prazer que tive o Prof. MEng. Evânio Ramos Nicoleit como meu orientador, que além das obrigações de um orientador acabou também me auxiliando no aprimoramento do trabalho como também me incentivou a apresentação do mesmo em seminários e sempre esteve disponível e disposto a quaisquer problemas que surgiam no caminho do desenvolvimento deste trabalho.

Também agradeço ao ex-aluno e agora Cientista da Computação Evandro Stein da Fonseca que, graças a seu trabalho de conclusão de curso, deu-se no desenvolvimento da proposta deste trabalho.

Por fim agradeço a todos que estiveram presentes e me apoiaram neste ano que foi repleto de obstáculos e dificuldades. Sem vocês eu não estaria onde me encontro hoje.

“Quando você quer uma coisa, todo o Universo conspira para que possa consegui-la.”

Paulo Coelho

RESUMO

A distribuição de vídeo é atualmente uma das aplicações de grande repercussão na Web. O serviço WebTV se apresenta como alternativa potencial para a implantação de novos serviços, pois é acessível a partir da Web. Com a ampliação do uso de dispositivos de acesso, tais como *smartphones*, *tablets*, computadores, *notebooks* e outros com maior resolução, disponibilidade de taxa de bits e qualidade requeridas na transmissão demandam esquemas de codificação que ofereçam serviços flexíveis e eficientes baseados em princípios tais como escalabilidade espacial. Dentre tais esquemas, destaca-se o H.264/SVC. A transmissão de vídeo em diversas resoluções espaciais – camadas – através de um único *bitstream* é possível através da codificação escalável. Assim o decodificador seleciona a quantidade de camadas baseando-se na resolução do dispositivo solicitante e na sua conexão de acesso. Este trabalho busca avaliar o uso da escalabilidade espacial no serviço WebTV baseado no padrão H.264/SVC e integrá-la a um serviço WebTV. Foram realizadas simulações em tempo real de uma arquitetura web que disponibiliza a reprodução de um vídeo codificado com escalabilidade em diferentes resoluções espaciais, que evidenciam eficiência em termos de taxa de bits disponível no canal, qualidade e resolução espacial requeridas. Desenvolveu-se um protótipo de codificação escalável espacialmente baseado no *software* de referência *Joint Scalable Video Model* e decodificado/apresentado pela biblioteca *OpenSVCEncoder*, ambos compatíveis com o padrão H.264/SVC, que demonstra a eficiência do serviço. Constatou-se a indisponibilidade de soluções modulares - com licenças de uso livres ou proprietárias – de *codecs* para que se possa desenvolver uma solução própria dentro do serviço de WebTV. Implementou-se um serviço WebTV baseado em HTML5, que serve de repositório para vídeos e também instancia *streamings* ao vivo. A referida implementação visa oferecer um serviço de qualidade em disponibilização de programação de vídeo em escala e em transmissões ao vivo.

Palavras-chave: WebTV; IPTV; H.264 AVC/SVC; Escalabilidade Espacial.

ABSTRACT

The video distribution is currently one of the applications of wide repercussion in the Web. The WebTV service is shown as a potential alternative to the development of new services, because it's accessible through the Web. Expanding the use of access devices involving smartphones, tablets, computers, notebooks and others with higher spatial resolution, bit rate availability and required quality in the transmission requires ways of codification which offers flexible and efficient services based on principles such as spatial scalability. Among these schemes, the H.264/SVC is available and highlighted. The video transmission in multiple spatial resolutions - layers - over a unique bitstream is possible through the spatial codification. This way, the decoder selects the layer quantity based on the pending device's resolution and in its access connection. This paper discusses the use of spatial scalability in video coding based on the H.264/SVC standard and integrates it to a WebTV service. Real time simulations were made in a Web architecture that shows a scalable codified video reproduction, which highlights the efficiency in terms of available bit rate in the channel and required quality and spatial resolution. In the project was developed a spatial scalable codification prototype based in the reference software Join Scalable Video Model and then decoded/showed through the OpenSVCD decoder library, both compatible with the H.264/SVC standard, which shows the service's efficiency. It was found the unavailability of codecs modular solutions - with free use license or owned - for the development of an own solution inside the WebTV service. Was implemented a HTML5 based WebTV service, which works as video repository and also instantiates live streaming. The implementation aims to offer a quality service in video programming availability in scale and live transmissions.

Keywords: WebTV; IPTV; H.264 AVC/SVC; Spatial Scalability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura típica de transmissão IPTV	23
Figura 2 - Transferência de Vídeo em tempo real via rede IP	26
Figura 3 - Sistema de compressão de dados	29
Figura 4 - Codificação escalar de vídeo	33
Figura 5 - Modelo de distribuição de vídeo com fluxo binário escalável.....	34
Figura 6 - Executáveis do JSVM 9.19	40
Figura 7 - Comando básico utilizado para chamada do codificador H.264 AVC/SVC	41
Figura 8 - Início da codificação escalável através do H264AVCEncoderLibTestStatic.	45
Figura 9 - Sumário da codificação escalável através do H264AVCEncoderLibTestStatic	46
Figura 10 - Configurações do WAMP	51
Figura 11 - Código JS para simulação de vídeo escalável.....	53
Figura 12 - Execução do FFMPEG para divisão de resolução espacial de vídeo	54
Figura 13 - Comando de execução do MPlayer para visualização do arquivo "steam.264"	55
Figura 14 - Visualização do "stream.264" na camada 02	56
Figura 15 - Visualização do "stream.264" na camada 01	57
Figura 16 - Visualização do "stream.264" na camada 00	57
Figura 17 - Página inicial.....	59
Figura 18 - Janela de <i>login</i> de usuários	60
Figura 19 - Janela de registro de usuário	61
Figura 20 - Página "Todos os vídeos"	62
Figura 21 - Página "Vídeos públicos"	63
Figura 22 - Página "Vídeos privados"	64
Figura 23 - Página "Assistir" para visualização de vídeos armazenados no repositório	65
Figura 24 - Página "Assistir" em resolução pequena	66
Figura 25 - Página "Assistir" em resolução maior	67

Figura 26 - Código do <i>player</i> mostrando a compatibilidade com os formatos mp4, ogg e webm.....	67
Figura 27 - Página de <i>streaming</i> ao vivo.....	68
Figura 28 - Página "Fazer upload"	69
Figura 29 - Pós <i>upload</i> de vídeo	70
Figura 30 - Página "Meus vídeos" com vídeos pendentes de liberação.....	71
Figura 31 - Página "Editar vídeo" após liberação de vídeo	72
Figura 32 - Página "Criar streaming" com <i>streaming</i> existente	74
Figura 33 - Simulação executando na camada 03	75
Figura 34 - Simulação executando na camada 02	75
Figura 35 - Simulação executando na camada 01	76
Figura 36 - Simulação executando na camada 00	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Arquivo de configuração "main.cnf"	42
Tabela 2 - Arquivo de configuração da camada "layer00.cnf"	43
Tabela 3 - Arquivo de configuração da camada "layer01.cnf"	44
Tabela 4 - Arquivo de configuração da camada "layer02.cnf"	44
Tabela 5 - Colunas do relatório da codificação através do H264AVCEncoderLibTestStatic	46
Tabela 6 - <i>Bitstreams</i> gerados para simulação por meio do FFMPEG	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVC	Advanced Video Coding
AVI	Audio Video Interleave
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AVI	Audio Video Interleave
CSS	Cascading Style Sheets
FPS	Frames per Second
HEVC	High Efficiency Video Coding
HTML	HyperText Markup Language
IEC	International Electrotechnical Commission
ISSO	International Standardization for Organization
ITU	International Telecommunications Union
IP	Internet Protocol
IP STB	Internet Protocol Set Top Box
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	ITU Telecommunication Standardization Sector
JS	JavaScript
JSVM	Join Scalable Video Model
JVT	Joint Video Team
MP4	MPEG-4 Part 14
MPEG	Moving Pictures Experts Group
MVC	Model-View-Controller
NTSC	National Television Standards Committee
PAL	Phase Alternating Line
PHP	Hypertext Preprocessor
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
SVC	Scalable Video Coding
SNR	Signal-Noise Ratio
SECAM	Système Electronique Couleur Avec Memorie
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação

UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
VCEG	Video Coding Experts Group
VoD	Video on Demand
WMV	Windows Media Video

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO GERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE SINAIS TELEVISIVOS	21
2.1 TV DIGITAL	21
2.2 IPTV	22
2.3 WEBTV	24
2.4 TRANSMISSÃO DE VÍDEO IP	25
3 SERVIÇO DE WEBTV ESCALÁVEL	27
3.1 COMPRESSÃO DE VÍDEO DIGITAL	27
3.2 TIPOS DE REDUNDÂNCIA	29
3.2.1 Redundância Espacial	30
3.2.2 Redundância Temporal	30
3.2.3 Redundância Psicovisual	31
3.3 PADRÃO ITU H.264	31
3.4 H.264/SVC	32
3.4.1 Escalabilidade	33
4 TRABALHOS CORRELATOS	35
4.1 ESTRUTURA DE IMPLANTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE VÍDEO UTILIZANDO OS CONCEITOS DE IPTV	35
4.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA ESCALABILIDADE ESPACIAL NA RECOMENDAÇÃO H.264/SVC PARA CODIFICAÇÃO DE VÍDEO	35
4.3 QUALIDADE DE SERVIÇO E DE EXPERIÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO DE VÍDEO ESCALÁVEL EM REDES PAR-A-PAR (P2P)	36
4.4 CODIFICAÇÃO ESCALÁVEL DE VÍDEO PARA RECEPÇÃO FIXA NO SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL (SBTVD)	36
5 TRABALHO DESENVOLVIDO	38
5.1 METODOLOGIA	38
5.1.1 Protótipo de Codificação Escalável	39

5.1.2 Modelagem do Sistema de WebTV	47
5.1.3 Desenvolvimento do WebTV	50
5.2 RESULTADOS DO TRABALHO	54
5.2.1 Demonstração de Vídeo Codificado com Escalabilidade	54
5.2.2 Serviço WebTV	58
5.2.3 Demonstração da Simulação em Diferentes Resoluções Espaciais	74
6 CONCLUSÃO	77

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a TV aberta no Brasil ainda é em grande parte analógica, com baixa qualidade, unidirecional, sem interatividade e com canais de programação limitados (MURER, 2007). Por outro lado, aos poucos, a TV digital vem sendo implantada no País, incorporando recursos multimídia, computacionais e Web para a provisão de serviços de melhor qualidade de imagem e interatividade aos usuários.

Uma forma alternativa de difusão de conteúdo que é realidade atualmente é a TV via *Web*, que consiste na transmissão de conteúdo televisivo em canais por meio de streamings através da Web. Neste contexto destacam-se dois tipos de tecnologias: IPTV e WebTV.

Internet Protocol Television (IPTV) é um serviço de TV digital que utiliza o protocolo *Internet Protocol* (IP) através de redes dedicadas de alta velocidade. De acordo com a *International Telecommunications Union* (ITU): IPTV é definida como serviços multimídia tais quais televisão/vídeo/áudio/texto/gráficos/dados são entregues por redes baseadas em IP gerenciadas para prover os níveis de *Quality of Service* (QoS)/*Quality of Experience* (QoE), segurança, interatividade e confiabilidade requeridos.

WebTV, ou distribuição de TV via *Web*, envolve a transmissão de sinais de áudio, vídeo e aplicações pela Web podendo ser na forma de Vídeo sob demanda ou streaming em tempo real, sem a garantia de qualidade de serviço - QoS, taxa de perda de pacotes e taxa de transmissão.

A WebTV pode alavancar a implantação de diversos novos serviços, haja vista a quantidade de potenciais consumidores deste meio de comunicação de massa (LACERDA et al, 2007), pois o sinal é acessível por qualquer computador conectado à Web. A interatividade promovida por este serviço, que pode ser fechado ou aberto, dependendo da aplicação, é um diferencial. Entende-se por serviço fechado aquele que promove restrição de acesso, seja por meio de senhas, criptografias, chaves específicas, dentre outras técnicas, ao contrário do serviço aberto, cujo acesso é livre.

Nos últimos anos, tem se verificado uma evolução nos padrões internacionais para compressão e codificação de vídeo e áudio. Uma consequência desta padronização é o crescente interesse em técnicas de compressão mais

complexas e eficientes, que combinem altas taxas de compressão com alta qualidade. Diversos esquemas de codificação digital de vídeo têm sido propostos procurando atender as mais diferentes aplicações, classificadas de acordo com a relação entre taxa de bits e qualidade requerida. A codificação tipicamente pode ser feita em MPEG-2, MPEG-4, MPEG-4 AVC, WMV, AVI, dentre outros codificadores.

O padrão H.264/AVC - *Advanced Video Coding* - é atualmente o estado da arte em codificação de vídeo e possibilita que vídeos sejam manipulados por diferentes tipos de dispositivos, tais como: dispositivos móveis, *tablets*, aparelhos celulares, com baixas resoluções, e aparelhos de TV de alta definição. É requerida, portanto a transmissão de vídeo em diferentes resoluções (escalabilidade espacial e temporal) compatíveis com estes tipos de dispositivos.

Escalabilidade, de forma geral, refere-se a capacidade de extração de partes do *bitstream* de um vídeo codificado para adaptá-lo as diferentes necessidades e/ou preferências do usuário, assim também como as diferentes capacidades de receptores e/ou a condições das redes de comunicação (NUNES, 2009).

O padrão H.264/AVC possui uma extensão desenvolvida que visa o suporte à escalabilidade denominado H.264/SVC – *Scalable Video Coding* (WIEGAND et al, 2007, tradução nossa). Esta extensão possibilita a adição ou retirada de camadas dentro do fluxo de *bits*, adequando-se a escala de acordo com a aplicação. O H.264/SVC provê suporte a múltiplas resoluções de exibição com um único *bitstream* (SEGALL; SULLIVAN, 2007, tradução nossa). Contudo, o padrão H.264 define a forma de decodificação e, novas propostas de arquiteturas de codificação estão sempre surgindo, por vezes baseadas no mesmo padrão. Assim, nesta Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso, busca-se analisar o uso da escalabilidade espacial no serviço WebTV de distribuição de vídeo, avaliando a qualidade na decodificação de vídeos, em diferentes resoluções, comparativamente com diferentes codificadores baseados no padrão H.264/SVC e implementar, contemplando os aspectos técnicos avaliados, uma Arquitetura de WebTV Escalável em um servidor Web.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso da escalabilidade espacial no serviço WebTV baseado no padrão H.264/SVC.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta proposta consistem em:

- a) compreender os conceitos associados aos serviços de IPTV, WebTV e distribuição de vídeo envolvendo escalabilidade espacial;
- b) apresentar possibilidades de implementação de um serviço de WebTV escalável;
- c) observar os codificadores baseados no padrão H.264/SVC para o desenvolvimento da implementação;
- d) avaliar os diferentes codificadores baseados no padrão H.264/SVC com respeito a qualidade na decodificação de vídeo em diferentes resoluções (outras características também podem ser avaliadas, dependendo da evolução da pesquisa, tais como: complexidade computacional, taxa de bits requerida, facilidade de integração ao serviço WebTV, licença de uso, dentre outras) e;
- e) implementar um serviço de WebTV escalável baseado na recomendação H.264/SVC em um servidor Web.

1.3 JUSTIFICATIVA

A evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) tem despertado cada vez mais o interesse pela distribuição de TV via Web, seja por parte dos fornecedores de serviços, bem como pelos usuários ávidos por consumir este tipo de conteúdo. As novas TIC apresentam vários meios de distribuição de conteúdo televisivo, a começar pela própria televisão digital aberta, com alta definição (BECKER, 2007). A TV via Web atende um público com exigências que envolvem interatividade e controle sobre a programação, bem como quanto a qualidade de imagem e som.

A transmissão de conteúdo, que caracteriza o tipo de serviço, necessita de um canal que pode ser:

- a) uma rede de alta velocidade dedicada para este fim, com garantias de níveis de QoS / QoE, segurança, interatividade e confiabilidade sobre o protocolo IP, chamando de IPTV ou;
- b) via *Web*, sem a garantia de qualidade de serviço, taxa de perda de pacotes e taxa de transmissão, caracterizando a WebTV.

WebTV pode oferecer diversos tipos de suporte, rodando em dispositivos com diferentes resoluções espaciais. Estes suportes podem aproveitar a rede disponível para acessar os conteúdos. Técnicas de compressão e codificação possibilitam elevar a qualidade dos vídeos recebidos, reduzindo a sua taxa de bits e a sua complexidade computacional.

Uma alternativa para adequar a disponibilidade do conteúdo em diferentes suportes é por meio do uso da escalabilidade, que se baseia no conceito de camadas de enriquecimento, onde a primeira camada, chamada de camada base, possui menos informação do que as camadas superiores, chamadas de camadas de aprimoramento/enriquecimento (*enhancement layers*). As camadas de enriquecimento são chamadas assim, pois a cada nova camada vão adicionando-se novas informações para prover mais detalhes, como por exemplo, informações para uma resolução mais elevada. Como há apenas um sinal a ser transmitido no canal, de forma escalável, o dispositivo/rede do usuário pode selecionar até qual camada de resolução lhe é compatível e conveniente, processando apenas as informações associadas (SOUZA, 2011).

O padrão H.264 alcança uma alta taxa de compressão, muito superior aos padrões já existentes, para diferentes resoluções espaciais (RICHARDSON, 2003, tradução nossa), além disso, o padrão possui uma extensão que o faz suporte a escalabilidade, denominado H.264/SVC. Contudo, o padrão define a estrutura de decodificação, deixando aberta a possibilidade pela seleção de esquemas codificadores. Assim, esta pesquisa é motivada pelo estudo do serviço WebTV com a integração de recursos de escalabilidade espacial, um campo promissor de pesquisa, desenvolvimento e inovação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por seis capítulos, sendo abordados conceitos sobre TV na Web e codificação escalável baseada no padrão H.264/SVC, e apresentado resultados em relação ao protótipo de codificação e visualização de um vídeo escalável, como também a apresentação do sistema desenvolvido baseado em um serviço de WebTV.

O Capítulo 1 deste trabalho apresenta a definição do problema, bem como objetivos gerais e específicos que são abordados no mesmo. Contém também a justificativa deste trabalho, apontando-se a importância da TV via Web como também desta tecnologia denominada Codificação Escalável.

No Capítulo 2 aborda conceitos básicos em relação a distribuição de sinais televisivos através da Web, também sendo abordados conceitos específicos em relação aos tipos de serviço de TV pela Web: IPTV e WebTV.

Já Capítulo 3 tem-se inicialmente conceitos sobre codificação de vídeos para serem disponibilizados via Web e sua importância. Aliado a este conceito é também explorado conceitos sobre codificação escalável, tomando-se como padrão o H.264/AVC e SVC.

No Capítulo 4 são apresentados uma série de trabalhos que serviram de referência para este, pois os mesmos abordavam assuntos da mesma área.

No Capítulo 5 tem-se a metodologia empregada neste trabalho, sendo apresentados recursos utilizados para o desenvolvimento de um protótipo de codificação escalável como também a modelagem do serviço de WebTV desenvolvido. Também consta neste capítulo os resultados referentes a metodologia desenvolvida, tais como a decodificação do vídeo codificado com escalabilidade e é apresentado o serviço de WebTV desenvolvido.

Por fim, no Capítulo 6 é relatada uma conclusão referente aos resultados obtidos.

2 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE SINAIS TELEVISIVOS

A televisão tem estado, e continua sendo, presente na sociedade como um dos maiores meios de comunicação disponíveis durante décadas. Com o tempo o perfil dos consumidores de TV tem se alterado, cada vez exigindo maior qualidade na transmissão do conteúdo e recursos que deem maior interação.

Voltando algumas décadas atrás, um dos grandes feitos foi a adaptação da TV para poder disponibilizar imagens coloridas (Televisão Cromática), superando sua anterior limitação de poder processar somente imagens com tons de cinza (Televisão Acromática). Poucas décadas em seguida surgiu a TV Digital como alternativa em relação ao tipo de transmissão, fornecendo uma qualidade de som e imagem superior além de disponibilizar maior interatividade entre o usuário e a TV (MEGRICH, 2009).

2.1 TV DIGITAL

TV Digital, uma tecnologia que reúne imagem de alta definição, interatividade, grande número de canais, som digital e uma recepção superior de sinal. O sistema de transmissão de dados é feito semelhante aos computadores: por meio de códigos binários. As informações codificadas digitalmente podem ser copiadas e transmitidas sem nenhuma perda de qualidade, sendo assim, mais rápida e precisa (VELHO et al, 2004).

A TV Digital foi um dos grandes passos na inovação tecnológica, que a partir da transmissão de imagem e vídeo através de dados binários é aberto um leque infinito de possibilidades.

Com a TV digital, é possível, por exemplo, buscar um resumo do capítulo de uma novela ou responder a perguntas (*quiz*) sobre os personagens e a trama para testar os seus conhecimentos. Também é possível consultar informações estatísticas durante um jogo de futebol, verificar as últimas notícias, indicadores econômicos e a previsão do tempo. Outra vantagem que a TV Digital nos trouxe foi a questão de mobilidade, um dos principais benefícios disto é a possibilidade de assistir à programação em dispositivos móveis e portáteis, como celulares, *tablets*, TVs portáteis, *notebooks*, entre outros (DTV, 2012).

Partindo do conceito de maior qualidade de imagem e som e interatividade entre o consumidor e a TV, e aliando-se a popularização da Internet banda larga, surge o IPTV e WebTV.

2.2 IPTV

Como o nome já sugere, IPTV é o serviço de transmissão (*streaming*) de programas de TV ao vivo e de vídeo sob demanda através de uma rede privada utilizando o protocolo IP. Em geral, o serviço é acessado pelo usuário doméstico através de uma conexão à Web em Banda Larga.

O IPTV também pode ser compreendido como um sistema de televisão privado, com distribuição sobre uma rede não pública, ao contrário do que acontece com a Internet. Com o avanço da tecnologia de codificação de vídeos e o grande crescimento da capacidade e disponibilidade de alta banda de rede para usuários finais, a transmissão de vídeo em pacotes IP se tornou possível, fazendo do IPTV uma realidade (WALKO et al, 2005, tradução nossa).

O conceito de IPTV é definido como serviços multimídia como televisão / vídeo / áudio / gráficos / data entregues por meio de uma rede baseada no protocolo IP, de forma a prover níveis requeridos de segurança, Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*) e Qualidade de Experiência (QoE – *Quality of Experience*), interatividade e confiabilidade (ITU-T, 2006, tradução nossa).

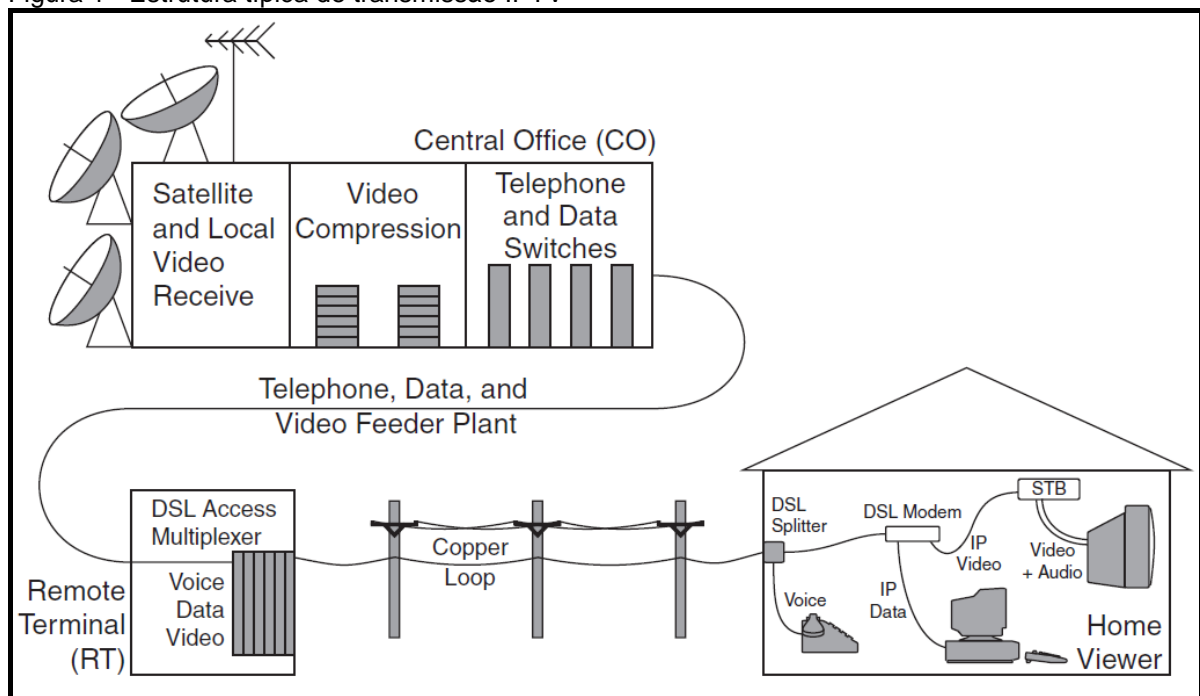
Um *IP Set Top Box* (IP STB) pode ser usado para acesso a um serviço IPTV através de um aparelho de televisão tradicional (RODRIGUES, 2006). IP STB é um dispositivo eletrônico que adapta a transmissão de dados empacotados via IP para a televisão em um formato que é acessível para o usuário final. Este aparelho geralmente é localizado na residência do usuário, e contém o software e hardware necessários para converter e controlar os sinais IPTV da rede de banda larga em sinais que possam ser vistos em um televisor, permitindo que o usuário navegue pela programação como desejar (MITTAL, 2012).

Assim, a grande diferença entre a WebTV e a IPTV reside na utilização de uma rede que garante a qualidade de serviço necessária para uma boa experiência de uso por quem assine o serviço (SILVA; LOVISOLO, 2007).

O IPTV é um serviço semelhante aos serviços de TV a cabo fornecidos por empresas de telecomunicações, sendo este também de maneira privada. Neste caso, os provedores de serviço e acesso compreendem a mesma entidade, e este é responsável por fornecer o meio de acesso ao sistema que pode ser por um dispositivo ou software de visualização para o cliente. Em geral, o provedor de serviço adota uma solução de um determinado fabricante para construir uma infraestrutura de serviço ponto a ponto, inteiramente localizada em seu próprio ambiente, composta por codificadores de vídeo, servidor de vídeos ao vivo, servidor de vídeos sob demanda, plataformas de gerenciamento de usuários e dispositivos de visualização do cliente. Toda a informação trafega em uma rede fechada (privada), segura e gerenciada pelo provedor de serviço, este o qual deve disponibilizar garantia de QoE e QoS e também é responsável pelo controle sobre o conteúdo distribuído. Contudo, há uma restrição do serviço de acordo com a localidade do atendida pelo provedor (RODRIGUES, 2006).

Na Figura 1 tem-se uma estrutura simples de como o sistema IPTV é formado até ser entregue ao consumidor.

Figura 1 - Estrutura típica de transmissão IPTV



Fonte: Simpson (2008, p. 15).

2.3 WEBTV

Podemos compreender a WebTV como a conversão do conteúdo da televisão para a *Web*, sendo desta forma possível que o usuário possa assistir a programas/vídeos a partir de seu computador, com uma interatividade maior do que a proporcionada pela televisão atual (RIBEIRO, 2009).

Já segundo Bonfanti (2008), WebTV pode ser considerada como todo e qualquer conteúdo visual (vídeo) ou audiovisual (áudio e vídeo) assistido principalmente pelo computador e que pode gerar à partir de transmissões ao vivo ou de vídeos para download, uma programação própria.

O conceito sobre IPTV ter sido apresentado anteriormente se dá ao fato de os dois conceitos apresentarem características similares, ambos se tratando de serviços de distribuição de vídeo através de redes IP, porém o que mais diferencia um do outro é que o serviço IPTV é fornecido de forma fechada e com garantia de QoE e QoS, enquanto a WebTV baseia-se no conceito de transmissão de vídeo em rede aberta (na *Web*), tornando-o um serviço de maior acessibilidade e implementação. Em contrapartida, uma das maiores desvantagens deste serviço se dá a ausência de QoE e QoS, podendo, dependendo de vários fatores (como a largura de banda do usuário e a qualidade do servidor de hospedagem do serviço e dos vídeos), se tornar de má qualidade.

A interatividade do telespectador com o conteúdo transmitido pelo sistema de TV Digital é limitada se comparada a interatividade proporcionada pela WebTV. O telespectador pode escolher sua programação, assistir a mais de um canal ao mesmo tempo, consultar seu *webmail* enquanto assiste à programação de TV, mas não pode, ainda, interferir no conteúdo do programa utilizando, por exemplo, o controle remoto. Já no formato da WebTV isso é possível graças a infraestrutura em que esse tipo de TV está alicerçado, que é a *Web* (RIBEIRO, 2009).

O processo de enviar sinais de televisão sobre uma rede IP conhecida como WebTV, além do conteúdo ser visto principalmente em um computador conectado a *Web* para assistir programas e canais de TV, envolve a realização de *downloading* selecionando um vídeo em uma localidade da Internet, tipicamente um *website* ou *streaming* de vídeo e esta definição pressupõe o tráfego de conteúdo através da Internet pública, numa infraestrutura que poderá incluir ADSL, WI-FI, TV a

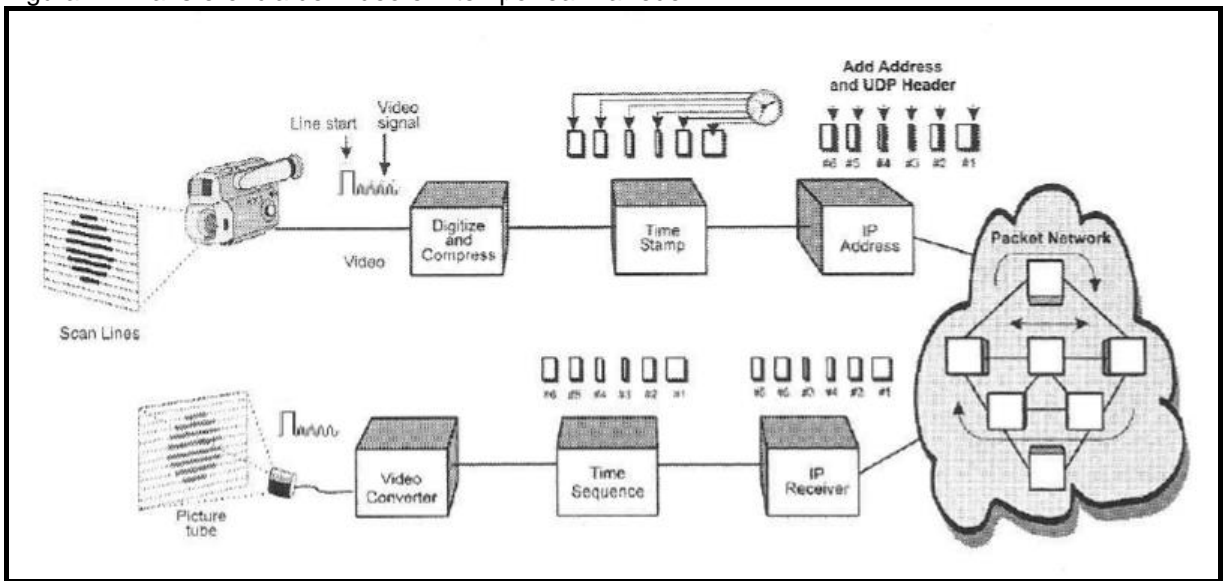
cabo e satélite, sem garantia de qualidade de serviço, podendo haver pausas ou interrupções no envio do conteúdo. A maioria dos conteúdos da WebTV são disponíveis para o telespectador selecionar o que ele quer assistir no momento mais conveniente e os arquivos de vídeo são relativamente curtos (SIMPSON, 2008, tradução nossa).

2.4 TRANSMISSÃO DE VÍDEO IP

É a transferência de informações de vídeo e áudio por meio de pacotes que transitam uma rede através do protocolo IP. Para que ocorra uma transmissão de vídeo, alguns métodos são aplicados para que este seja enviado ao destinatário, como: digitalização, codificação, endereçamento, transferência, recepção, decodificação e conversão do vídeo para seu formato original (FONSECA, 2012).

Na Figura 2 é demonstrado um processo de transferência de vídeo através de uma rede IP desde sua gravação, onde inicialmente uma câmera realizando a captura de vídeo/áudio que pode ser tanto analógica em formatos NTSC, PAL ou SECAM como digitais (MPEG-2, MPEG-4, VC-1, AVI, dentre outros). Caso o vídeo for analógico, é necessária a digitalização e/ou compressão do mesmo para que seja transmitido via IP dentro do padrão digital. Logo depois o vídeo digital em mãos são acrescentados endereços de IP para cada um dos pacotes e então transferi-los por meio de uma rede IP para que estes sejam recuperados pelo destinatário, re combinando os pacotes e extraindo o seu conteúdo digital em seu formato original por meio de conversão (HARTE, 2007, tradução nossa).

Figura 2 - Transferência de Vídeo em tempo real via rede IP



Fonte: Harte (2007, p. 412).

3 SERVIÇO DE WEBTV ESCALÁVEL

Quando sinais de vídeo são transportados através de uma rede IP, geralmente os mesmos são comprimidos, ou seja, a quantidade de *bits* que é necessária para reproduzir o vídeo e o áudio é reduzida para que assim seja exigido menos da largura de banda tanto do usuário receptor quando do servidor, e esse é um requisito excepcional para a distribuição de vídeos em um serviço WebTV de qualidade.

Os vídeos digitais são constituídos por uma cadeia de quadros sequenciados, cada quadro compreende a uma imagem com um determinado número de *pixels* (SILVA, 2006).

A qualidade de imagem e som é um quesito excepcional quando o usuário está disposto a assistir algum vídeo, seja na TV Digital, IPTV ou WebTV, e isso exige uma quantidade de *bits* significativamente maior, tornando uma requisição de banda de rede pesada. Como a WebTV não garante QoE e QoS e a dependência de qualidade fica tanto para a rede e largura de banda do usuário quanto para o servidor em que está hospedado o vídeo requisitado, é crucial a utilização de métodos que minimizem a quantidade de *bits* de um arquivo de vídeo, sempre buscando manter tanto a qualidade de vídeo quanto a de som adequada com o dispositivo e a preferência do usuário.

A compressão é essencial para que aplicações ou serviços que manipulem vídeos digitais ocorra com sucesso, pois um vídeo sem nenhuma compressão acumula uma quantidade de *bits* muito elevada.

3.1 COMPRESSÃO DE VÍDEO DIGITAL

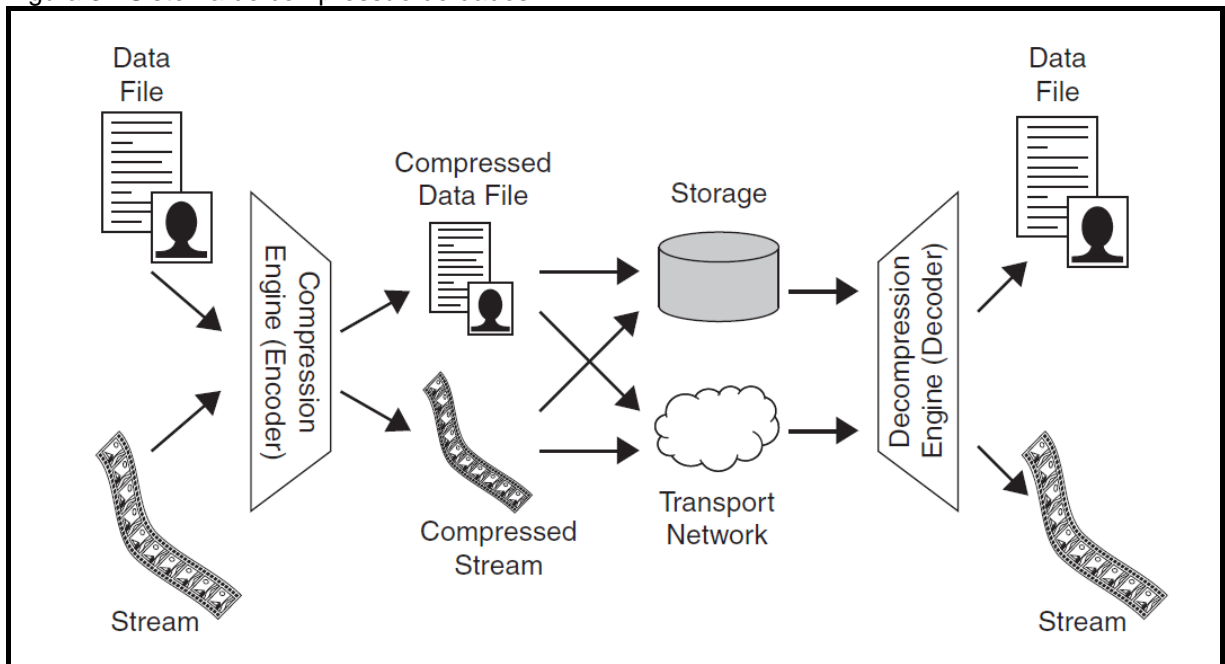
A compressão de um vídeo digital consiste na eliminação de dados redundantes, visando reduzir o tamanho do arquivo de vídeo e otimizar a transmissão do vídeo através da rede IP. A compressão é fundamental para que se torne possível a utilização em grande escala, pois a não codificação de um vídeo digital traria taxas de *bits* elevadíssimas dificultando manipulação dos mesmos (ASCENSO, 2003).

Se em uma transmissão não ocorresse a compressão do vídeo, um arquivo imenso seria gerado, resultando em baixo desempenho e excesso de armazenamento. Podemos citar como exemplo um vídeo com resolução de 720x480 pixels com uma taxa de 30 quadros por segundo e 24 *bits* por *pixel*, a taxa (*bitrate*) desse vídeo sem nenhuma compressão seria de 249 milhões de *bits* por segundo (249 Mbps) em uma TV Digital com definição normal. Numa reprodução curta de 10 minutos desse vídeo seriam necessários aproximadamente 19 bilhões de bytes (19GB) de armazenamento (CARVALHO, 2007). As técnicas de compressão buscam justamente eliminar esta condição, trabalhando principalmente as redundâncias geradas entre os quadros na estrutura de um vídeo digital (SOUZA, 2011).

Por mais que sejam necessários todos os quadros de um vídeo para que este seja reproduzido com uma definição de alta qualidade, estas sequências de quadros possuem um elevado grau de redundância, o que significa que boa parte dos *pixels* contidos nos quadros é desnecessária quando se é possível reaproveitá-los. O objetivo da compressão de um vídeo é justamente a utilização de técnicas avançadas que possibilitem a máxima eliminação de dados desnecessários, para que assim o arquivo de vídeo contenha uma quantidade de bits significativamente menor, possibilitando maior facilidade em armazenamento e conseqüentemente eleve o desempenho na sua transferência.

Na Figura 3 tem-se um diagrama simples de um sistema de compressão. A entrada pode ser um arquivo de computador, como um documento, uma imagem ou uma gravação de vídeo/áudio. Também pode conter na entrada um *streaming* de dados, como vídeo digital ou sinal de áudio. O resultado final, ou a saída, do sistema de compressão contém um segundo arquivo ou *streaming* que possui uma quantidade de *bits* menor do que no arquivo/*streaming* de entrada.

Figura 3 - Sistema de compressão de dados



Fonte: Simpson (2008, p. 91).

A codificação, ou compressão, de arquivos de multimídia é tratada pelos codificadores e decodificadores, esses também denominados por *codecs*. Os *codecs* são algoritmos visando remover redundâncias desenvolvidos para compressão de áudio e vídeo digital, alcançando altas taxas de redução (NUNES, 2009) com ou sem perda de dados, dependendo da preferência e ocasião.

É constante a evolução nos padrões internacionais para compressão e codificação de vídeo e áudio. Uma consequência desta padronização é o crescente interesse em técnicas de compressão mais complexas e eficientes, que combinem altas taxas de compressão com alta qualidade. Diversos esquemas de codificação digital de vídeo têm sido propostos procurando atender as mais diferentes aplicações, classificadas de acordo com a relação entre taxa de bits e qualidade requerida. A codificação tipicamente pode ser feita em MPEG-2, MPEG-4, MPEG-4 AVC, WMV, AVI, dentre outros codificadores (MEGRICH, 2009).

3.2 TIPOS DE REDUNDÂNCIA

Como já citado, a compressão de vídeos se baseia nas redundâncias contidas dentre os seus frames, e se tratando de redundâncias, três tipos podem ser

trabalhados para uma efetiva compressão: Redundância Temporal e Espacial, Redundância Psicovisual (SOUZA, 2011).

3.2.1 Redundância Espacial

Quando é feita uma compressão baseada em redundância Espacial, são observados os *frames* que compõe o vídeo e logo identificados pontos (*pixels*) que possuem uma intensidade próxima a outros pontos do mesmo *frame* (NASCIMENTO, 2013).

A redundância Espacial é também chamada de redundância intraquadro ou redundância *interpixel*, que nada mais é do que a correlação existente entre os pixels espacialmente distribuídos em um mesmo *frame* (AGOSTINI, 2007).

Na redundância espacial são observados *pixels* vizinhos em um *frame* que possuam valores semelhantes. Este tipo de redundância pode ser reduzido em uma operação chamada de codificação intraquadro, presente em alguns padrões de codificação atuais (RICHARDSON, 2003, tradução nossa), como no H.264.

3.2.2 Redundância Temporal

Em um vídeo qualquer, é muito comum que ocorram cenas desse vídeo na qual não ocorram modificações visuais em alguma parte do cenário durante uma quantidade significativa de frames, e seria um desperdício processar todo um novo frame. A redundância temporal visa reaproveitar esses blocos de *pixels*, economizando uma grande quantidade de *bits* a serem processados.

Também é parte da redundância temporal quando ocorre de um determinado bloco de pixels se desloque de um *frame* para o outro em um vídeo qualquer, como a movimentação de um objeto qualquer em uma cena, ou a simples movimentação da câmera. Os padrões de codificação atuais alcançam bons resultados focando na redundância temporal, no padrão de codificação adotado na pesquisa H.264/AVC se caracteriza por grandes ganhos de compressão por trabalhar com blocos de *pixels* reduzindo consideravelmente a redundância temporal (SOUZA, 2011).

A redundância temporal, também chamada de redundância interquadros, é identificada quando não há modificação em *pixels* de uma mesma posição em diferentes *frames* temporalmente próximos no decorrer de um vídeo digital (GHANBARI, 2003).

3.2.3 Redundância Psicovisual

A redundância psicovisual baseia-se no sistema visual humano e suas sensibilidades, visando remover de uma imagem aquilo que não é significativamente perceptível e que também não prejudique na qualidade visual (RICHARDSON, 2003, tradução nossa). Um exemplo disso é de o olho humano ser muito mais sensível às mudanças de luminância do que de cromaticidade, assim um sistema pode eliminar algumas informações de cores sem que as pessoas percebam ou, caso isso ocorra, notem pouca diferença. Para que este tipo de redundância seja aplicado, parte da informação original da imagem é eliminada de forma irreversível pelo codificador (SOUZA, 2011).

3.3 PADRÃO ITU H.264

O padrão H.264, também conhecido como H.264/AVC é atualmente o estado da arte em codificação de vídeo. Foi desenvolvido com o objetivo de dobrar a taxa de compressão em relação aos demais padrões existentes até então, e também possibilita que vídeos sejam manipulados por diferentes tipos de dispositivos, tais como: dispositivos móveis, tablets, aparelhos celulares, com baixas resoluções, e aparelhos de TV de alta definição. É requerida, portanto, a transmissão de vídeo em diferentes resoluções (escalabilidade espacial e temporal) compatíveis com estes tipos de dispositivos, o qual faz parte do objetivo deste trabalho.

O padrão foi desenvolvido pela JVT (Joint Video Team), um grupo formado por especialistas do VCEG da ITU-T e do MPEG da ISO/IEC com o propósito de desenvolver especificações avançadas de codificação de vídeo. O H.264/AVC traz uma significativa melhora na codificação de vídeo, suas especificações possuem sintaxe simples e uma integração de codificação de vídeo com os protocolos atuais e arquiteturas multiplex. Assim, o H.264/AVC dá suporte a

diversas aplicações como transmissão de vídeo e *streamings* (KOWN; TAMHANKAR; RAO, 2005, tradução nossa).

O foco do padrão de compressão H.264 é voltado inteiramente para a compressão dos quadros contidos nas imagens. A sua eficiência de compressão supera aqueles presentes em todos os padrões anteriormente desenvolvidos (MEGRICH, 2009).

H.264 se concentra especialmente em compressão eficiente dos frames de um vídeo. Suas principais características se dão em eficiência de compressão (provendo uma compressão significativamente melhor do que qualquer outro padrão anteriormente desenvolvido), eficiência de transmissão (com uma série de recursos internos para apoiar uma confiável e robusta transmissão sobre uma variedade de canais e redes), e focar em aplicações de compressão de vídeo populares (RICHARDSON, 2003, tradução nossa).

3.4 H.264/SVC

O padrão H.264/AVC possui uma extensão desenvolvida que visa o suporte à escalabilidade denominado H.264/SVC (WIEGAND et al, 2007). Esta extensão possibilita a adição ou retirada de camadas dentro do fluxo de bits, adequando-se a escala de acordo com a aplicação. O H.264/SVC provê suporte a múltiplas resoluções de exibição com um único *bitstream* (SEGALL; SULLIVAN, 2007, tradução nossa).

A arquitetura sofisticada do padrão H.264/SVC é particularmente designada para aumentar as capacidades do *codec* enquanto ainda oferece uma solução flexível de codificação que suporta três tipos de escalabilidade: temporal, espacial e SNR (WIEN et al, 2007, tradução nossa).

A extensão SVC do padrão H.264 busca manter a alta qualidade que é alcançada na extensão AVC, o que o diferencia da AVC é a subdivisão em uma ou mais camadas de *bitstreams* intermediários que possam ser decodificados separadamente (SCHWARZ; MARPE; WIEGAND, 2007, tradução nossa).

3.4.1 Escalabilidade

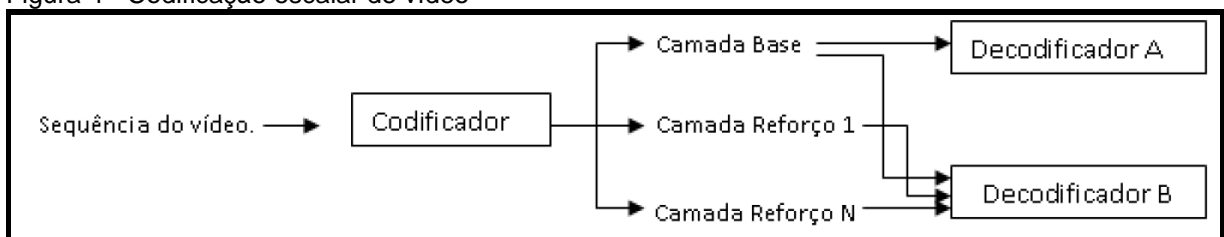
Recentes esforços de investigação em termos de codificação de vídeo desenvolveram-se na área da codificação escalável de imagem e vídeo. Os principais objetivos no estudo e desenvolvimento de técnicas de codificação escalável são de alcançar uma compressão eficiente, elevada flexibilidade em termos de adequação aos meios de transmissão e baixa complexidade (ASCENSO, 2003).

Escalabilidade trata-se da técnica de extração de partes do *bitstream* de um vídeo codificado para adaptá-lo as diferentes necessidades e/ou preferências do usuário, assim também como as diferentes capacidades de receptores e/ou a condições das redes de comunicação (NUNES, 2009).

Quando um vídeo é codificado em alta qualidade, um arquivo de alto *bitrate* é gerado, fazendo com que usuários com baixa velocidade de rede sofram com a transferência do mesmo. Se o vídeo fosse codificado em baixa qualidade, usuários com um equipamento de bom desempenho e uma rede de alta velocidade não iriam usufruir de sua infraestrutura. Mesmo que o vídeo fosse codificado em qualidade intermediária, ambos os tipos de usuários não seriam contemplados. Uma solução para isso é a utilização da escalabilidade, onde somente seriam requeridos/processados os detalhes e *bits* necessários de acordo com a rede e dispositivo do usuário.

Preparar um vídeo com codificação escalável permite que um decodificador decodifique seletivamente apenas uma parte do fluxo de *bits*. Esse processo pode ser observado a seguir na Figura 4, onde o vídeo é codificado por processo escalar, logo o decodificador pode selecionar a quantidade desejada de camadas, sendo a última camada a de maior qualidade (RICHARDSON, 2003, tradução nossa).

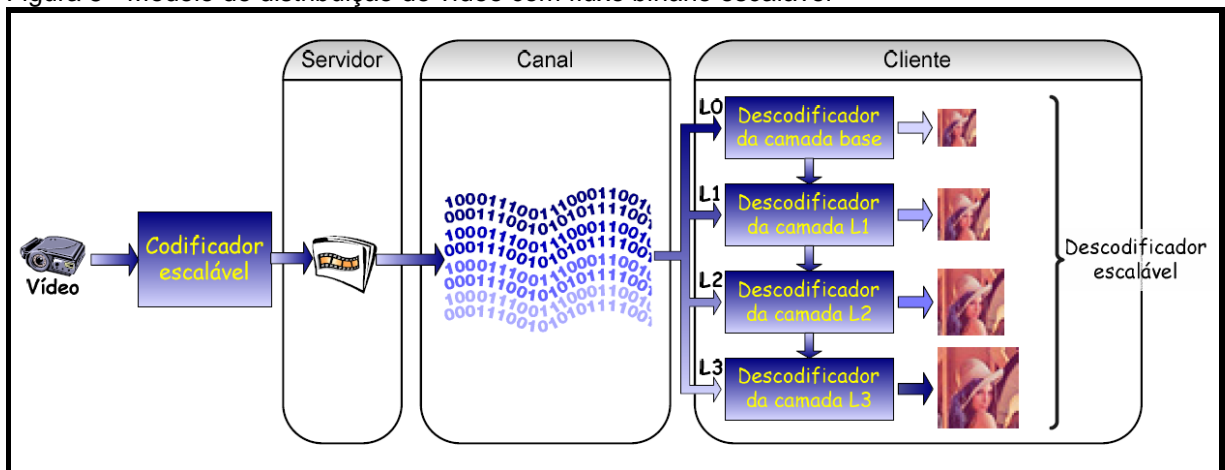
Figura 4 - Codificação escalar de vídeo



Fonte: Richardson (2003, p. 142).

Para complementar a figura anterior, na Figura 5 é apresentado um modelo de distribuição de vídeo com um único fluxo binário escalável. Inicialmente o codificador gera apenas um único fluxo binário, escalável, com uma qualidade final correspondente à qualidade máxima que é desejada. Esse fluxo pode ser dividido em dois ou mais subconjuntos de bits, normalmente constituídos por segmentos disjuntos ao longo do tempo, também conhecidos como camadas de enriquecimento. Assim que é feita uma requisição para assistir ao vídeo, cada codificador escalável recebe e decodifica uma ou mais camadas (de forma hierárquica) do fluxo binário de acordo com o que for necessário para o dispositivo.

Figura 5 - Modelo de distribuição de vídeo com fluxo binário escalável



Fonte: Ascenso (2003, p. 4).

4 TRABALHOS CORRELATOS

Alguns trabalhos serviram de referência para o desenvolvimento desta monografia, mesmo aqueles que não se tratavam de elaborações de serviços de WebTV, mas além do rico conteúdo que traziam, alguns eram voltados a serviços semelhantes ao proposto neste trabalho, sendo um deles o seguinte.

4.1 ESTRUTURA DE IMPLANTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE VÍDEO UTILIZANDO OS CONCEITOS DE IPTV

Após observar a eficácia de serviços IPTV que eram utilizados para *streaming* de jogos esportivos ao vivo, Fonseca (2012) propôs em seu trabalho de conclusão de curso de Ciência da Computação – UNESC - o desenvolvimento de uma estrutura para implantação deste tipo de serviço.

Sendo IPTV um serviço semelhante ao WebTV, esse trabalho trouxe informações de grande valia, como todo o conceito sobre o serviço de IPTV, no qual possui informações sobre a transmissão de vídeo por uma rede IP, exemplos de estruturas físicas de um serviço desse tipo, e principalmente a descrição de técnicas para a compressão de vídeo e áudio.

Este trabalho marcou uma iniciativa para o desenvolvimento de um sistema com um serviço de distribuição de vídeo com fins educacionais disponibilizado pelo Laboratório de Pesquisa Informática Aplicada – Kiron, denominado Kiron IPTV.

E as técnicas de escalabilidade nas codificações de vídeos baseadas na Recomendação H.264/SVC, que são objeto de estudo deste trabalho, serão incorporadas ao sistema Kiron IPTV.

4.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA ESCALABILIDADE ESPACIAL NA RECOMENDAÇÃO H.264/SVC PARA CODIFICAÇÃO DE VÍDEO

Em sua monografia desenvolvida para graduação em Ciência da Computação na UNESC, Souza (2011) aproveita os aprimoramentos em relação aos

padrões de codificação de vídeo, conseqüente do crescimento da utilização e manipulação de vídeos digitais em alta resolução, e avalia o desempenho da codificação em escalabilidade espacial.

Além do conceito sobre vídeos digitais, esta monografia trata sobre a compressão e codificação de vídeos, discutindo os tipos de redundância e métricas para a comparação entre padrões de codificação de vídeo. Logo após abordar estes conceitos, entra no contexto da codificação escalável, onde além de detalhar todo o processo desse tipo de codificação são abordadas as principais técnicas de codificação escalável até aquele tempo.

Para realizar a avaliação de desempenho, Souza (2011) utiliza o software de referência disponibilizado pelo JVT, que possibilita a codificação com provisão de escalabilidade espacial.

4.3 QUALIDADE DE SERVIÇO E DE EXPERIÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO DE VÍDEO ESCALÁVEL EM REDES PAR-A-PAR (P2P)

Em sua dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica na Universidade de Brasília, Galvis (2013) observa a considerável demanda em serviços redes P2P, tanto aquelas destinadas a distribuir vídeos ao vivo (*streaming*) quanto sob demanda (VoD, do inglês *Video-on-Demand*), e avaliou métodos para atribuir QoS e QoE ao serviço.

O surgimento do padrão de codificação de vídeo escalável H.264/SVC foi constatado como contribuição para melhoria na qualidade percebida pelo usuário final nestes tipos de redes.

O que motivou o trabalho de Galvis (2013) foi a limitação na literatura disponível acerca do mapeamento entre QoS e QoE em uma rede P2P para vídeos escaláveis. Com isso ele desenvolveu-se uma avaliação daquela situação.

4.4 CODIFICAÇÃO ESCALÁVEL DE VÍDEO PARA RECEPÇÃO FIXA NO SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL (SBTVD)

Nunes (2009) observou que com o início das transmissões de televisão digital no Brasil em 2007, surgiram diversos estudos acerca deste assunto

procurando aprimorar a qualidade do serviço. Um dos primeiros e grandes aprimoramentos foi a adoção do padrão H.264/AVC para a codificação de vídeo em alta definição.

A partir dessas evoluções no SBTVD, o trabalho feito por Nunes (2009) – dissertação para Mestrado em Engenharia na Universidade de São Paulo, discute as ferramentas de suporte à escalabilidade na codificação multimídia como forma de evolução.

Uma das constatações desta pesquisa é a vantagem significativa da promovida pela escalabilidade sobre uma transmissão simultânea equivalente, evidenciando uma possível adoção do padrão SVC no SBTVD.

5 TRABALHO DESENVOLVIDO

É constante a busca por aperfeiçoamentos na distribuição online de vídeos, principalmente quando procura-se oferecer um serviço a um público alvo abrangente envolvendo desde usuários que possuem conexão de baixa qualidade até aqueles que dispõem de taxa para prover qualidade do vídeo sem interrupções.

Assim, este trabalho aborda a transmissão de vídeo de forma escalável, cuja funcionalidade baseia-se na codificação e decodificação de vídeo em várias camadas. No momento de assistir/consumir o vídeo, o decodificador deve decodificar somente a quantidade compatível e necessária de *bitstream* com a resolução do suporte de visualização do usuário.

Dependendo do dispositivo de acesso, seja um computador, um *tablet* ou um *smartphone*, o decodificador irá decodificar somente as camadas requeridas e compatíveis com o dispositivo, conseqüentemente evitando excessos de transmissão de dados para o usuário.

A partir do estudo e testes de codificação escalável, será discutida a possibilidade de incorporação desse tipo de codificação em um serviço de WebTV.

5.1 METODOLOGIA

A metodologia empregada na elaboração deste trabalho inicia-se com o levantamento bibliográfico dos assuntos abordados, tais como: TV Digital, IPTV, WebTV, transmissão de vídeo através de IP, tipos de redundância na codificação de vídeos, padrão ITU H.264, H.264 SVC e escalabilidade espacial.

Após o estudo acerca da fundamentação teórica dos assuntos abordados, iniciou-se a busca por pacotes de software de código aberto e licença de uso livre que oferecessem codificação, decodificação e apresentação de vídeos baseados na codificação escalável, buscando-se qualidade compatível com o dispositivo de acesso, complexidade computacional, taxa de bits requerida e licença de uso.

Foram identificados e testados alguns *softwares* codificadores/decodificadores/visualizadores baseados no padrão H.264/SVC de licença livre. Dentre os *softwares* obtidos foi feita uma análise a respeito da sua capacidade de codificação direta de um *bitstream* não escalável para um escalável,

variando-se os formatos de arquivos de entrada, enquanto para os decodificadores foi analisado sua disponibilidade e complexidade computacional em relação a integração dentro de um servidor web e o mesmo ser executado através de navegadores – Google Chrome, Internet Explorer e Mozilla Firefox.

Para codificação somente foi encontrado um *software* de referência, enquanto para decodificação e visualização, após testes de comparação, foi selecionado uma biblioteca de *softwares* que compõe um reprodutor e decodificador de vídeos escaláveis.

Também avaliou-se tecnologias para o desenvolvimento do serviço de WebTV para obter-se uma melhor performance e um *layout* que seja responsivo em relação aos diferentes dispositivos de acesso, tais como a utilização de padrões HTML5, *codec* H.264/AVC e *frameworks* para desenvolvimento da estrutura do sistema.

Com base nisso foi possível dar-se início ao desenvolvimento de um protótipo de codificação e decodificação de vídeo escalável tanto quanto a implementação do serviço de WebTV escalável.

5.1.1 Protótipo de Codificação Escalável

Para o protótipo de codificação e decodificação escalável, que foi feita separadamente do serviço, foi utilizado o software de referência *Joint Scalable Video Model* (JSVM), aliado ao OpenSVCDencoder. Foram as únicas implementações de sistemas de codificação e decodificação respectivamente encontradas. Entretanto, ressalta-se que as mesmas não são utilizadas para serem incorporadas aos serviços web, pois a complexidade computacional requerida pelos mesmos é alta e incompatível ao atendimento a especificações de processamento em tempo real.

5.1.1.1 JSVM

Neste trabalho foi utilizado o JSVM em sua versão 9.19. O JSVM é o *software* de referência para a extensão de codificação escalável SVC, desenvolvido pelo grupo JVT em C++. O mesmo foi compilado e instalado em uma máquina com sistema operacional Windows 7 64 bits, disponibilizada pelo laboratório Kiron -

UNESC. Vale observar também que os executáveis foram adicionados às variáveis globais do sistema para facilitar a execução dos mesmos.

O software conta com uma variedade de executáveis que trabalham com o padrão H.264 os quais podem ser observados na Figura 6.

Figura 6 - Executáveis do JSVM 9.19

AvcRewriterStatic.exe	05/12/2011 11:18	Application	1.062 KB
BitStreamExtractorStatic.exe	05/12/2011 11:18	Application	744 KB
DownConvertStatic.exe	05/12/2011 11:18	Application	138 KB
FixedQPEncoderStatic.exe	05/12/2011 11:18	Application	213 KB
H264AVCDecoderLibTestStatic.exe	05/12/2011 11:19	Application	674 KB
H264AVCEncoderLibTestStatic.exe	05/12/2011 11:19	Application	1.012 KB
MCTFPreProcessorStatic.exe	05/12/2011 11:19	Application	437 KB
PSNRStatic.exe	05/12/2011 11:19	Application	94 KB
QualityLevelAssignerStatic.exe	05/12/2011 11:19	Application	534 KB
SIPAnalyser.exe	05/12/2011 11:19	Application	95 KB
YUVCompareStatic.exe	05/12/2011 11:19	Application	59 KB

Fonte: Autor.

A seguir segue uma breve descrição para cada executável:

- a) DownConvertStatic: cria amostras das sequências de um vídeo em escalabilidade espacial ou temporal;
- b) H264AVCEncoderLibTestStatic: este é o codificador AVC/SVC, que, a partir de uma entrada de vídeo, pode ser utilizado para gerar um novo *bitstream* de uma só camada - modo AVC - ou múltiplas camadas - modo SVC;
- c) H264AVCDecoderLibTestStatic: decodificador SVC, utilizado para decodificar *bitstreams* tanto AVC quanto SVC e reconstruir sequências cruas (sem compressão) do vídeo. Quando for necessário a decodificação de uma camada intermediária o executável BitStreamExtractorStatic deve ser utilizado;
- d) BitStreamExtractorStatic: extrai subcamadas (camadas intermediárias) do *bitstream*, sejam elas com uma menor resolução espaço-temporal e/ou um *bitrate* de um *bitstream* do tipo SVC.
- e) AvcRewriterStatic: remove o suporte a escalabilidade de um *bitstream*. Para que este executável funcione, é necessário que o *bitstream* tenha sido codificado com suporte a esta funcionalidade.

- f) `QualityLevelAssignerStatic`: utilizado para gerar um *bitstream* com camadas de qualidade adicionais a partir de um *bitstream* escalável.
- g) `MCTFPreProcessorStatic`: ferramenta que permite pré-filtrar uma sequência de imagens/*bitstream*. Anteriormente fazia parte do fluxo de codificação, agora é opcional.
- h) `PSNRStatic`: utilizado tanto para calcular o *bitrate* de um *bitstream* como medir o *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) entre duas sequências de vídeo.
- i) `FixedQPEncoderStatic`: esta ferramenta pode ser usada para controlar o codificador e ajustar a taxa de bits de um *bitstream* gerado.
- j) `SIPAnalyser`: analisa e seleciona previsões entre as camadas do *bitstream*.

Como pode-se notar, o JSVM disponibiliza várias possibilidades de configurações com o codificador H.264. Neste trabalho foi utilizado apenas um dos executáveis para que fosse possível criar um *bitstream* com escalabilidade e que o mesmo pudesse ser apresentado em um *player* escalável especialmente. A seguir essa ferramenta será detalhada.

5.1.1.1.1 Pré-execução do `H264AVCEncoderLibTestStatic`

Conforme descrito preliminarmente, o executável `H264AVCEncoderLibTestStatic` tem como função codificar um vídeo através do padrão H.264/AVC e/ou H.264/SVC. Após o processamento, o codificador gera como saída um arquivo comprimido no formato .264, e também gera um *bitstream* no formato YUV para cada camada que foi requisitada.

Contendo o JSVM instalado na máquina, basta executar o `H264AVCEncoderLibTestStatic` através do terminal passando os parâmetros mínimos do executável como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Comando básico utilizado para chamada do codificador H.264 AVC/SVC

```
C:\Users\luizfelippe>H264AVCEncoderLibTestStatic -pf main.cnf
```

Fonte: Autor.

No exemplo acima, que foi utilizado neste trabalho, é necessário somente o parâmetro “-pf”, que informa o arquivo onde contém todos os parâmetros da codificação desejada. Além das configurações de codificação, também é especificado no arquivo, caso a codificação seja do tipo escalável/SVC, os arquivos de configuração de cada camada adicional.

Para o protótipo de codificação escalável, foi efetuado neste trabalho uma codificação de um vídeo exemplar em três camadas. Na Tabela 1 tem-se os parâmetros usados para a codificação efetuada, tendo-se alguns comentários em relação às configurações que exigem especial atenção.

Tabela 1 - Arquivo de configuração "main.cnf"

Parâmetro	Valor	Comentário
AVCMode	0	0 = SVC / 1 = AVC
OutputFile	stream.264	Arquivo de saída no formato H.264
FrameRate	30	Quantidade de quadros por segundo [Hz]
MaxDelay	1200.0	Estrutura máxima de latência [ms]
FramesToBeEncoded	120	Número de quadros a serem codificados
CgsSnrRefinement	1	
EncodeKeyPictures	1	
MGSControl	1	
MGSKeyPicMotRef	1	
GOPSize	1	Número de camadas em escala temporal
IntraPeriod	4	
NumberReferenceFrames	1	
BaseLayerMode	1	
SearchMode	4	
SearchFuncFullPel	0	
SearchFuncSubPel	0	
SearchRange	16	
BiPredIter	2	
IterSearchRange	2	
LoopFilterDisable	0	
LoopFilterAlphaC0Offset	0	
LoopFilterBetaOffset	0	
NumLayers	3	Número de camadas em escala espacial
LayerCfg	layer00.cnf	Arquivo de configuração da camada 00
LayerCfg	layer01.cnf	Arquivo de configuração da camada 01
LayerCfg	layer02.cnf	Arquivo de configuração da camada 02
SuffixUnitEnable	1	
MMCOBaseEnable	1	
TLNestingFlag	0	
TLPicIdxEnable	0	
RCDOBlockSizes	1	
RCDOMotionCompensationY	1	
RCDOMotionCompensationC	1	
RCDODeblocking	1	

Fonte: Autor.

O protótipo foi desenvolvido baseado na codificação escalável. É necessário que sejam também configurados os arquivos de parametrização de cada camada especificada no arquivo "main.cnf". Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentadas as configurações necessárias para que a codificação de cada camada ocorra em alta qualidade e sem perda de quadros. O protótipo foi desenvolvido baseado na escalabilidade espacial, nota-se que a taxa de quadros (*FrameRate*) mantém-se constante enquanto as resoluções para cada camada (*SourceWidth* e *SourceHeight*) são distintas.

Pode-se notar que neste trabalho o vídeo foi codificado em três camadas espaciais, o qual é o número máximo de camadas possíveis a serem codificadas através do JSVM.

Tabela 2 - Arquivo de configuração da camada "layer00.cnf"

Parâmetro	Valor	Comentário
SourceWidth	224	Largura da sequência de entrada
SourceHeight	128	Altura da sequência de entrada
FrameRateIn	30	Frequência de frames de entrada [Hz]
FrameRateOut	30	Frequência de frames de saída [Hz]
InputFile	video-212x120.mp4	Sequência de entrada específica da camada
ReconFile	recfile_camada_00.yuv	Arquivo YUV reconstruído
SymbolMode	1	0=CAVLC, 1=CABAC
ClosedLoop	1	
FRExt	0	
MaxDeltaQP	0	
QP	38.0	Parâmetro de quantização
NumFGSLayers	0	
FGSMotion	0	
MeQP0	38.0	QP para estimação de movimento (fase 0)
MeQP1	38.0	QP para estimação de movimento (fase 1)
MeQP2	38.0	QP para estimação de movimento (fase 2)
MeQP3	38.0	QP para estimação de movimento (fase 3)
MeQP4	38.0	QP para estimação de movimento (fase 4)
MeQP5	38.0	QP para estimação de movimento (fase 5)
InterLayerPred	0	Predição Intra-Quadro (0: não, 1: sim, 2: adaptativo)
BaseQuality	3	Qualidade nível base (0: nenhuma, 3: todas camadas)

Fonte: Autor.

Tabela 3 - Arquivo de configuração da camada "layer01.cnf"

Parâmetro	Valor	Comentário
SourceWidth	432	Largura da sequência de entrada
SourceHeight	240	Altura da sequência de entrada
FrameRateIn	30	Frequência de frames de entrada [Hz]
FrameRateOut	30	Frequência de frames de saída [Hz]
InputFile	video-424x240.mp4	Sequência de entrada específica da camada
ReconFile	recfile_camada_01.yuv	Arquivo YUV reconstruído
SymbolMode	1	0=CAVLC, 1=CABAC
ClosedLoop	1	
FRExt	0	
MaxDeltaQP	0	
QP	35.0	Parâmetro de quantização
NumFGSLayers	0	
FGSMotion	0	
MeQP0	35.0	QP para estimação de movimento (fase 0)
MeQP1	35.0	QP para estimação de movimento (fase 1)
MeQP2	35.0	QP para estimação de movimento (fase 2)
MeQP3	35.0	QP para estimação de movimento (fase 3)
MeQP4	35.0	QP para estimação de movimento (fase 4)
MeQP5	35.0	QP para estimação de movimento (fase 5)
InterLayerPred	2	Predição Intra-Quadro (0: não, 1: sim, 2: adaptativo)
BaseQuality	3	Qualidade nível base (0: nenhuma, 3: todas camadas)

Fonte: Autor.

Tabela 4 - Arquivo de configuração da camada "layer02.cnf"

Parâmetro	Valor	Comentário
SourceWidth	848	Largura da sequência de entrada
SourceHeight	480	Altura da sequência de entrada
FrameRateIn	30	Frequência de frames de entrada [Hz]
FrameRateOut	30	Frequência de frames de saída [Hz]
InputFile	video-848x480.mp4	Sequência de entrada específica da camada
ReconFile	recfile_camada_02.yuv	Arquivo YUV reconstruído
SymbolMode	1	0=CAVLC, 1=CABAC
ClosedLoop	1	
FRExt	0	
MaxDeltaQP	0	
QP	32.0	Parâmetro de quantização
NumFGSLayers	0	
FGSMotion	0	
MeQP0	32.0	QP para estimação de movimento (fase 0)
MeQP1	32.0	QP para estimação de movimento (fase 1)
MeQP2	32.0	QP para estimação de movimento (fase 2)
MeQP3	32.0	QP para estimação de movimento (fase 3)
MeQP4	32.0	QP para estimação de movimento (fase 4)
MeQP5	32.0	QP para estimação de movimento (fase 5)
InterLayerPred	2	Predição Intra-Quadro (0: não, 1: sim, 2: adaptativo)
BaseQuality	3	Qualidade nível base (0: nenhuma, 3: todas camadas)

Fonte: Autor.

5.1.1.1.2 Execução do H264AVCEncoderLibTestStatic

Após a configuração dos arquivos, pode-se executar o comando informado na Figura 7 cuja codificação escalável a partir dos vídeos especificados no parâmetro *InputFile* de cada configuração de camada (vide Tabelas 2, 3 e 4).

Enquanto a codificação é realizada, um relatório é emitido na própria janela de comando do Windows em que foi executado o programa. São apresentados neste relatório valores tais como quadro e camada atual da codificação, tamanho em *bits* do quadro atualmente codificado e entre outros valores os quais podem ser vistos na Figura 8 no qual cada coluna do relatório é descrita na Tabela 5.

Figura 8 - Início da codificação escalável através do H264AVCEncoderLibTestStatic.

```
C:\Users\luizfelippe>H264AVCEncoderLibTestStatic -pf "main.cnf"
JSUM 9.19.8 Encoder

profile & level info:
=====
DQ= 0: Main @ Level 1.2
DQ= 16: Scalable High @ Level 2.1
DQ= 32: Scalable High @ Level 3.1

[ C1 ] [ C2 ][ C3 ][ C4 ] [ C5 ] [ C6 ] [ C7 ]
AU 0: I T0 L0 Q0 QP 38 Y 34.3674 U 40.8462 U 39.3065 4336 bit
0: I T0 L1 Q0 QP 35 Y 37.3158 U 43.4269 U 41.2582 9976 bit
0: I T0 L2 Q0 QP 32 Y 42.1606 U 46.4434 U 45.3555 26200 bit
AU 1: P T0 L0 Q0 QP 38 Y 34.3914 U 40.8462 U 39.3065 112 bit
1: P T0 L1 Q0 QP 35 Y 37.3591 U 43.4297 U 41.2629 248 bit
1: P T0 L2 Q0 QP 32 Y 42.1865 U 46.4506 U 45.3600 384 bit
AU 2: P T0 L0 Q0 QP 38 Y 34.3882 U 40.8200 U 39.3070 96 bit
2: P T0 L1 Q0 QP 35 Y 37.3626 U 43.4293 U 41.2595 152 bit
2: P T0 L2 Q0 QP 32 Y 42.1799 U 46.4402 U 45.3412 248 bit
AU 3: P T0 L0 Q0 QP 38 Y 34.3875 U 40.8153 U 39.3065 96 bit
3: P T0 L1 Q0 QP 35 Y 37.3566 U 43.4292 U 41.2596 152 bit
3: P T0 L2 Q0 QP 32 Y 42.2906 U 46.7092 U 45.0840 23312 bit
AU 4: I T0 L0 Q0 QP 38 Y 34.4126 U 41.5169 U 39.1233 4184 bit
4: I T0 L1 Q0 QP 35 Y 37.6905 U 43.5082 U 41.0252 9752 bit
4: I T0 L2 Q0 QP 32 Y 43.1531 U 47.7787 U 46.1851 30400 bit
AU 5: P T0 L0 Q0 QP 38 Y 33.8779 U 41.5320 U 38.9262 848 bit
5: P T0 L1 Q0 QP 35 Y 37.2404 U 43.5420 U 40.6239 4472 bit
5: P T0 L2 Q0 QP 32 Y 42.1394 U 46.3804 U 44.6924 31000 bit
AU 6: P T0 L0 Q0 QP 38 Y 33.5287 U 40.1100 U 38.4977 2760 bit
6: P T0 L1 Q0 QP 35 Y 36.8209 U 43.0795 U 40.6290 7768 bit
6: P T0 L2 Q0 QP 32 Y 41.6278 U 46.0082 U 44.7543 21904 bit
AU 7: P T0 L0 Q0 QP 38 Y 33.2885 U 40.4484 U 39.1675 2048 bit
7: P T0 L1 Q0 QP 35 Y 36.6827 U 43.1144 U 40.8601 5960 bit
7: P T0 L2 Q0 QP 32 Y 41.4544 U 46.0320 U 44.9802 24272 bit
AU 8: I T0 L0 Q0 QP 38 Y 33.7688 U 39.6585 U 39.3120 5072 bit
8: I T0 L1 Q0 QP 35 Y 37.1991 U 42.8214 U 41.2064 12248 bit
8: I T0 L2 Q0 QP 32 Y 41.5104 U 45.5943 U 44.9704 45584 bit
AU 9: P T0 L0 Q0 QP 38 Y 32.8567 U 39.8741 U 39.3270 2032 bit
9: P T0 L1 Q0 QP 35 Y 36.6623 U 42.8838 U 41.2453 5920 bit
9: P T0 L2 Q0 QP 32 Y 40.6925 U 45.3174 U 44.4822 28264 bit
AU 10: P T0 L0 Q0 QP 38 Y 32.3593 U 39.6825 U 39.3494 3216 bit
10: P T0 L1 Q0 QP 35 Y 36.1345 U 42.4746 U 41.0062 8840 bit
10: P T0 L2 Q0 QP 32 Y 40.5547 U 45.2592 U 44.7510 19656 bit
```

Fonte: Autor.

Tabela 5 - Colunas do relatório da codificação através do H264AVCEncoderLibTestStatic

Coluna	Descrição
C1	Número do quadro
C2	Camada em escala temporal
C3	Camada em escala espacial
C4	Camada em escala de qualidade
C5	QP para estipulação de movimento
C6	Valores PSNR
C7	Quantidade de <i>bits</i> codificados para o quadro

Fonte: Autor.

Ao final tem-se um sumário com os resultados da codificação efetuada, o qual pode ser visto na Figura 9. Nota-se que as resoluções espaciais mantêm-se coerentes em relação aos parâmetros especificados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Figura 9 - Sumário da codificação escalável através do H264AVCEncoderLibTestStatic

```

AU  118: P  T0 L0 Q0  QP 38  Y 34.9747  U 37.4612  U 36.4858  168 bit
    118: P  T0 L1 Q0  QP 35  Y 38.7802  U 40.1386  U 40.0608  984 bit
    118: P  T0 L2 Q0  QP 32  Y 43.2700  U 44.2648  U 43.6799  3552 bit
AU  119: P  T0 L0 Q0  QP 38  Y 34.9035  U 37.5754  U 36.5286  176 bit
    119: P  T0 L1 Q0  QP 35  Y 38.5537  U 40.0183  U 39.8990  912 bit
    119: P  T0 L2 Q0  QP 32  Y 43.2192  U 44.3701  U 43.6961  3752 bit
AU  120: I  T0 L0 Q0  QP 38  Y 35.1368  U 37.2935  U 36.4323  4280 bit
    120: I  T0 L1 Q0  QP 35  Y 38.9153  U 40.1224  U 40.1687  8760 bit
    120: I  T0 L2 Q0  QP 32  Y 43.7165  U 44.2407  U 44.3665  21872 bit

SUMMARY :
          bitrate  Min-bitr  Y-PSNR  U-PSNR  U-PSNR
224x128 @ 30.0000  101.2701  101.2701  31.4365  38.6281  38.6739
432x240 @ 30.0000  386.7114  386.7114  34.9793  41.1880  41.6229
848x480 @ 30.0000 1344.8807 1344.8807 39.4867  44.6732  45.0121

```

Fonte: Autor.

Finalizada a codificação, um fluxo de bits é gerado no formato H.264 com o nome “stream.264”, previamente especificado no arquivo “main.cnf”, detalhado na Tabela 1. Nos resultados deste trabalho tem-se uma amostra da visualização deste bitstream através do MPlayer que é vinculado ao OpenSVCEncoder.

5.1.2 Modelagem do Sistema de WebTV

Para atender as necessidades de implementação deste serviço e para que o mesmo também seja utilizado para fins acadêmicos e de pesquisa, é destacado alguns requisitos e softwares que será aqui discutido.

5.1.2.1 Estrutura do serviço

Primeiramente foram identificadas algumas funcionalidades que definem um serviço de WebTV, tal como a transmissão de vídeos sob demanda ou *streaming* em tempo real.

Também foram selecionados recursos adicionais ao serviço para garantir alguma segurança ao sistema e privacidade de conteúdo e também ferramentas que auxiliam no gerenciamento do sistema:

- a) Cadastro de usuários: dentro do serviço, usuários sem cadastro poderão assistir vídeos armazenados no servidor com acesso público. Porém aqueles que possuem um *login* terão acesso também aos vídeos privados e também aos *streamings*.
- b) Nível de acesso do usuário: dependendo do nível de acesso do usuário cadastrado – usuário comum, fornecedor ou administrador, o mesmo poderá efetuar *upload* e gerenciamento de seus vídeos e também criar *streamings*, ou caso for um administrador poderá gerenciar todos os vídeos e usuários do sistema. Caso um usuário tente acessar uma página sem ter acesso a ela, uma mensagem de erro será apresentada na página;
- c) Upload de vídeos: o usuário que tiver acesso a essa ferramenta – fornecedor ou administrador - poderá enviar vídeos para o sistema. O vídeo enviado deve ser compatível com um dos seguintes formatos: AVI, MP4, MPEG, OGG, WEBM, FLV ou WMV. Após o *upload* finalizar, o usuário é redirecionado para uma página para atribuir informações ao vídeo como: título, descrição, categoria e nível de privacidade. Paralelamente a isso o vídeo é convertido em *background*;

- d) Conversão do vídeo: a partir do momento em que foi finalizado o *upload*, o vídeo entra num processo de conversão que é efetuado diretamente no servidor sem que o usuário necessite esperar seu encerramento. A conversão é realizada por uma questão de compactação e padronização de formato de vídeo. Com isso, o vídeo torna-se compatível com o *player* do HTML5 e sua resolução é dimensionada por padrão para 480p e também seu espaço requerido de armazenamento é compactado;
- e) Criar *streamings*: o fornecedor ou administrador pode criar *streamings*, porém somente poderão efetuar isso com a ajuda de um *software* terceiro, tal como *VLC Media Player*. Com o *VLC*, o usuário irá instanciar um *streaming* e, a partir do sistema *WebTV*, o usuário irá apontar o endereço do mesmo para o endereço que foi gerado pelo *software*, e assim será disponibilizado uma página contendo o *player* que reproduz o vídeo referente ao vídeo que está no ar;
- f) Gerenciamento de usuários e vídeos: sendo uma função exclusiva do administrador, o usuário com este nível de permissão terá como possibilidade, além das funções previamente citadas, a modificação e/ou a exclusão de usuários ou vídeos cadastrados no sistema.

5.1.2.2 HyperText Markup Language 5 (HTML5)

Foi adotada, como padrão de desenvolvimento *front-end*, a versão 5 do HTML por, além de apresentar uma codificação mais simples e organizada, também possuir alguns recursos os quais não existiam nas versões anteriores.

Um dos recursos que se destaca para o desenvolvimento do serviço *WebTV* é a capacidade de encapsular e transmitir um arquivo de vídeo sem a necessidade de *plug-ins* ou programas terceiros, porém com algumas restrições de formatos. No HTML4 era utilizado em larga escala o software *Flash* como *plugin* intermediário para transmitir vídeo encapsulado em um arquivo do tipo *FLV* através dos navegadores. Com o HTML5 basta a utilização da *tag* `<video>` e atribuir o endereço de um vídeo armazenado no servidor, sendo esse vídeo codificado e encapsulado em um formato que seja compatível com o HTML5 dos navegadores,

de preferência os mais utilizados, tais como: Google Chrome, Mozilla Firefox e Internet Explorer.

5.1.2.3 Twitter Bootstrap

Twitter Bootstrap é um *framework front-end* desenvolvido por membros desenvolvedores da rede social Twitter. Foi criado com o intuito de facilitar o desenvolvimento *front-end* de uma página ou aplicação web. O *framework* é consistido em *designs* de *templates* para componentes HTML e *Cascading Style Sheets* (CSS), tais como classes pré-moldadas as quais tornam o layout padronizado e responsivo, além de possuir alguns *designs* pré-definidos de *layout* de botões, formulários, cabeçalhos e rodapés de páginas, entre outros.

Para auxílio na estruturação e compatibilização de estilo do sistema WebTV com diferentes resoluções, é utilizado o *framework* Twitter Bootstrap, cujo código é distribuído livremente.

Além da agilização do processo de desenvolvimento do serviço, com a arquitetura de classes que o Bootstrap apresenta, a experiência do usuário torna-se sofisticada no aspecto de visualização da página.

Com a utilização deste *framework*, o usuário poderá visualizar de forma simplificada o serviço, seja através de *smartphone*, *tablet* ou computador, ou seja, em dispositivos com resoluções distintas.

5.1.2.4 PHP5 MVC

Na programação servidor, ou *back-end*, é utilizada a linguagem *Hypertext Preprocessor* (PHP) em sua versão 5.5 por ser simplificada e bem-conhecida.

Foi adotada o modelo de arquitetura *Model-View-Controller* (MVC), o qual exige uma estrutura bem definida de codificação, tal como a separação de código *front-end* e *back-end* em diferentes arquivos e a utilização de classes de acordo com a estrutura de tabelas e colunas do banco de dados, porém traz vantagens para futuras atualizações. Trabalhando-se com esse tipo de arquitetura, torna as modificações futuras do código simplificadas sem comprometer sua estrutura.

5.1.2.5 FFMPEG

O FFMPEG é um *software* de código aberto com licença de uso livre que possibilita - gravar, converter, capturar imagens de um vídeo e criar *streamings*.

Para evitar problemas de incompatibilidade de formatos e resoluções dos vídeos armazenados no servidor, foi utilizado o FFMPEG, que é executado através do PHP. Como o FFMPEG é uma ferramenta que possui dentre suas funções a codificação de vídeo, foi possível adotar como padrão para armazenamento no servidor vídeos no formato *MPEG-5 Part 14* (MP4) juntamente com o *codec* H.264/AVC.

A partir de testes realizados foram definidos parâmetros de codificação no *software* para que o vídeo ocupe espaço reduzido no servidor e qualidade de exibição compatível com a resolução dos dispositivos de visualização.

Além da utilização do FFMPEG para a codificação de vídeos, o mesmo também é utilizado para criar as *thumbnails* – miniatura representativa do vídeo - extraídas do vídeo que é carregado (*upload*) e serem apresentadas nas listas de seleção de vídeos.

5.1.2.6 VLC Media Player

O VLC é utilizado para transmissão em tempo real como servidor e codificador do vídeo a ser transmitido. Em outras palavras, VLC é um programa terceiro utilizado neste trabalho como responsável por criar *streamings* e através do serviço WebTV é registrado o endereço gerado pelo VLC ao instanciar a transmissão.

5.1.3 Desenvolvimento do WebTV

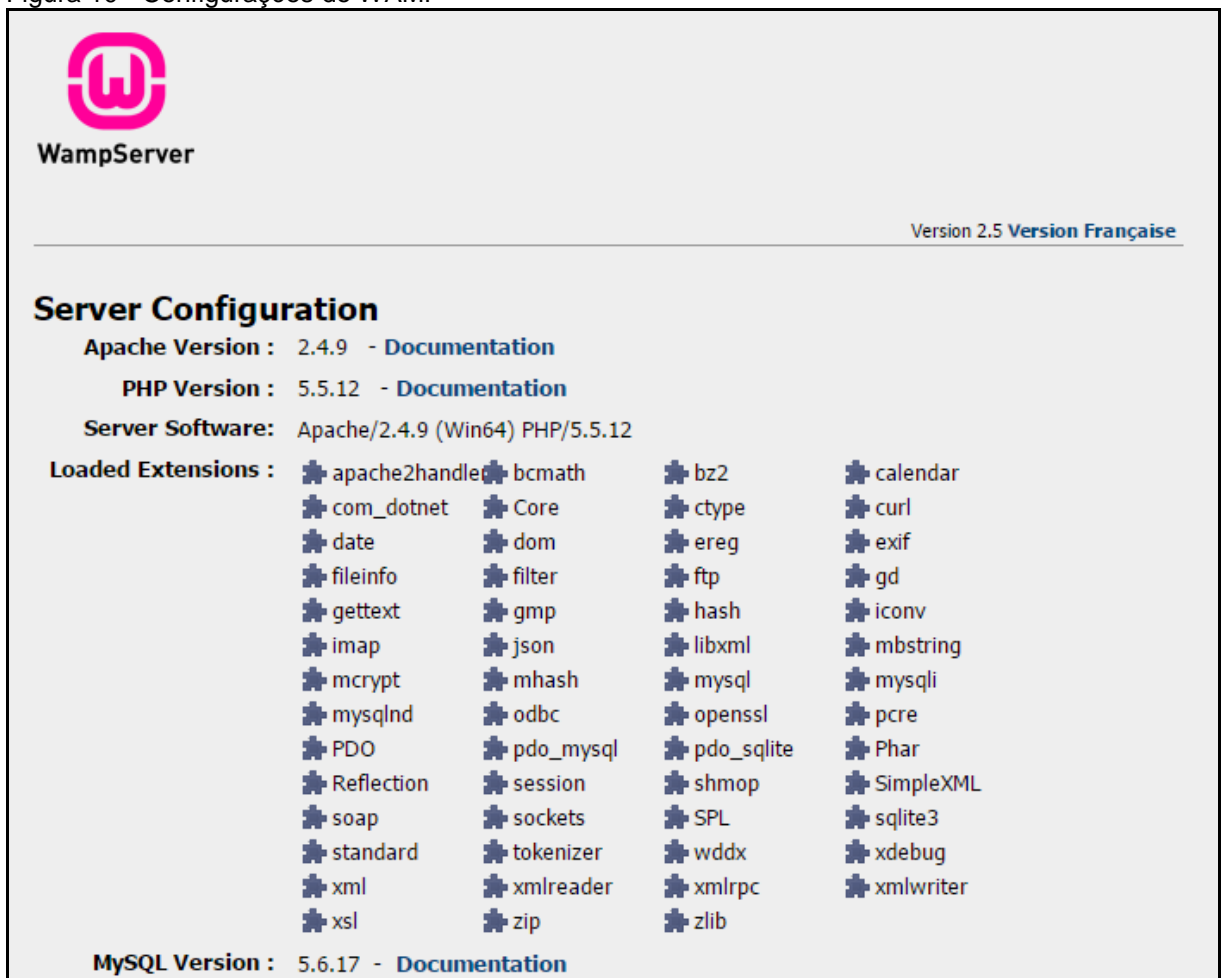
Uma vez planejada a estrutura do serviço e softwares requeridos, foi então iniciado o desenvolvimento do mesmo. O serviço foi desenvolvido sobre o sistema operacional Windows 7. Após finalizado, o serviço foi exportado para um servidor Linux.

5.1.3.1 WAMP Server

O WebTV foi inicialmente desenvolvido sobre a plataforma WAMP, que é uma junção de quatro ferramentas conjuntas e dispõe um servidor local para o Windows. O nome WAMP é um acrônimo que seu nome deu-se origem a partir das seguintes plataformas: Windows, Apache, MySQL e PHP.

Na Figura 10 pode-se observar as características da versão de cada plataforma do WAMP, tanto quanto extensões instaladas, utilizadas neste trabalho.

Figura 10 - Configurações do WAMP



The screenshot displays the WampServer configuration interface. At the top left is the WampServer logo, a pink square with a white 'W' inside. Below the logo, the text 'WampServer' is visible. On the right side, it says 'Version 2.5' and 'Version Française'. The main section is titled 'Server Configuration' and lists the following details:

- Apache Version :** 2.4.9 - [Documentation](#)
- PHP Version :** 5.5.12 - [Documentation](#)
- Server Software:** Apache/2.4.9 (Win64) PHP/5.5.12
- Loaded Extensions :** A grid of 32 extensions, each with a small gear icon to its left. The extensions are:

apache2handler	bcmath	bz2	calendar
com_dotnet	Core	ctype	curl
date	dom	ereg	exif
fileinfo	filter	ftp	gd
gettext	gmp	hash	iconv
imap	json	libxml	mbstring
mcrypt	mhash	mysql	mysqli
mysqlnd	odbc	openssl	pcre
PDO	pdo_mysql	pdo_sqlite	Phar
Reflection	session	shmop	SimpleXML
soap	sockets	SPL	sqlite3
standard	tokenizer	wddx	xdebug
xml	xmlreader	xmlrpc	xmlwriter
xsl	zip	zlib	
- MySQL Version :** 5.6.17 - [Documentation](#)

Fonte: Autor.

5.1.3.2 Ferramentas de Programação

Para a etapa de programação do WebTV foram utilizadas as ferramentas NetBeans 8.0 e o Notepad++ 6.6.3. O Notepad++ 6.6.3 foi útil na visualização dos códigos a partir do momento em que se quisesse editá-los remotamente pelo

servidor Linux, enquanto o NetBeans possui sua estrutura pronta para trabalhar com linguagens orientadas a objetos, tais como PHP 5.5 que também foi desenvolvido na arquitetura MVC, tornando mais ágil a programação sobre o Windows.

5.1.3.3 Padrão de Simulação em Diferentes Resoluções Espaciais

Como não foi encontrado uma solução de codificação e decodificação escalável compatível com uma implementação web, foi feita uma simulação em tempo real de uma arquitetura web que disponibiliza a reprodução de um vídeo codificado com escalabilidade.

A simulação baseia-se na reprodução de quatro *bitstreams* através de um *player* do HTML5, os quais são selecionados através de uma função escrita em JavaScript (JS) – ver Figura 11. Este código é executado inicialmente quando o usuário acessa a página de simulação, e também é executada toda vez em que a resolução espacial da janela do navegador do usuário é alterada. Além da troca dinâmica de *bitstreams*, também é armazenado o *index* de reprodução do vídeo, assim quando o *bitstream* é alterado o seu tempo de execução é mantido.

Figura 11 - Código JS para simulação de vídeo escalável

```

var videoElem = $('video'),
    videoSrcElem = $('video source'),
    videoCapsule = null,
    videoTime = 0,
    firstTime = false,
    camadaElemCls = $('h4.camada'),
    svcPath = 'uploads/svc/',
    videoFile0 = svcPath + 'video_layer_0.mp4',
    videoFile1 = svcPath + 'video_layer_1.mp4',
    videoFile2 = svcPath + 'video_layer_2.mp4',
    videoFile3 = svcPath + 'video_layer_3.mp4';

$(window).resize(function() {
    CheckChangeVideo();
});

$(videoElem).on('loadedmetadata', function() {
    videoCapsule = document.getElementById('video-capsule_html5_api');
    videoCapsule.currentTime = videoTime;
    videoCapsule.play();
    if (!firstTime) {
        CheckChangeVideo();
    } else {
        firstTime = true;
    }
});

function CheckChangeVideo() {
    var videoSrc = videoElem.attr('src');
    if ((videoSrc !== videoFile3) && ($(this).width() >= 848)) {
        UpdateVideoInfo(videoFile3);
        camadaElemCls.html('Camada atual: <b>03 [ 848x480 ]</b>');
    } else if ((videoSrc !== videoFile2) && ($(this).width() >= 424 && $(this).width() < 848)) {
        UpdateVideoInfo(videoFile2);
        camadaElemCls.html('Camada atual: <b>02 [ 424x240 ]</b>');
    } else if ((videoSrc !== videoFile1) && ($(this).width() >= 212 && $(this).width() < 424)) {
        UpdateVideoInfo(videoFile1);
        camadaElemCls.html('Camada atual: <b>01 [ 212x120 ]</b>');
    } else if ((videoSrc !== videoFile0) && ($(this).width() < 212)) {
        UpdateVideoInfo(videoFile0);
        camadaElemCls.html('Camada atual: <b>00 [ 106x60 ]</b>');
    }
}

function UpdateVideoInfo(videoFile) {
    videoTime = videoCapsule.currentTime;
    videoElem.attr('src', videoFile);
    videoSrcElem.load();
}

```

Fonte: Autor.

Os *bitstreams* foram codificados por meio do FFMPEG utilizando-se um exemplar de vídeo disponibilizado publicamente pela UNESCO.

A lógica utilizada na codificação se dá pela divisão de resolução de cada *bitstream* pela metade, em outras palavras, foram geradas as camadas demonstradas na Tabela 6 ordenadas em ordem de codificação.

Tabela 6 - *Bitstreams* gerados para simulação por meio do FFMPEG

Camada	Resolução
03	848x480
02	424x240
01	212x120
00	106x60

Fonte: Autor.

A execução da codificação e seus parâmetros podem ser observados na Figura 12.

Figura 12 - Execução do FFMPEG para divisão de resolução espacial de vídeo

```
C:\Users\luizfelippe>ffmpeg -i video_entrada.mp4 -vf scale=iw/2:-1 video_saida.mp4
```

Fonte: Autor.

Esta solução continuará a ser discutida na seção de resultados.

5.2 RESULTADOS DO TRABALHO

Neste capítulo será apresentado e discutido um vídeo codificado com escalabilidade decodificado e reproduzido através do OpenSVCDencoder. Também serão abordados os resultados da implementação do serviço de WebTV, sendo apresentadas interfaces e funcionalidades.

Todas as sequências demonstradas nos seguintes capítulos são baseadas em um exemplar de vídeo disponibilizado publicamente pela UNESCO.

5.2.1 Demonstração de Vídeo Codificado com Escalabilidade

Feita a codificação escalável através do *software* de referência JSVM, foi gerado um *bitstream* de saída denominado “stream.264”, este o qual aqui nos resultados será demonstrado a sua visualização através do *software* MPlayer, aliado e incluso na biblioteca OpenSVCDencoder.

5.2.1.1 OpenSVCDencoder

Tendo seu código disponibilizado abertamente e de livre uso, o OpenSVCDencoder é um *framework* no qual possui em sua arquitetura ferramentas que se comunicam e tornam a decodificação de um vídeo codificado com escalabilidade uma realidade.

O *framework* disponibiliza duas opções de *players* para a visualização dos vídeos escaláveis: FFDSHOW e MPlayer.

Para este trabalho foi selecionado o MPlayer por possuir uma maior quantidade de fontes e informações a respeito de sua instalação a partir do OpenSVCDencoder.

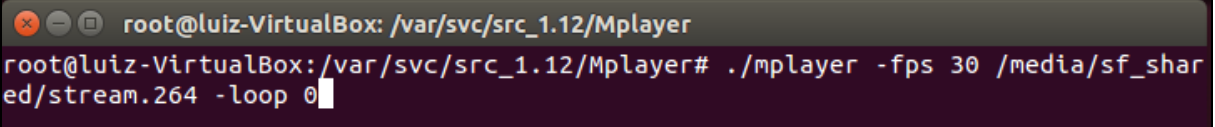
5.2.1.1.1 Execução do MPlayer

Depois que foi feita a codificação escalável através do *software* de referência JSVM e gerado um *bitstream* de saída, este *bitstream* pode ser visualizado através do MPlayer aliado ao OpenSVCDencoder.

Neste trabalho foi necessário a instalação do *framework* em um sistema operacional Ubuntu 32 bits versão 14.10 para garantir sua funcionalidade.

A execução do MPlayer deu-se através do comando que pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Comando de execução do MPlayer para visualização do arquivo "steam.264"

A terminal window with a dark background and light text. The prompt is 'root@luiz-VirtualBox: /var/svc/src_1.12/Mplayer'. The command entered is './mplayer -fps 30 /media/sf_shared/stream.264 -loop 0'.

```
root@luiz-VirtualBox: /var/svc/src_1.12/Mplayer
root@luiz-VirtualBox: /var/svc/src_1.12/Mplayer# ./mplayer -fps 30 /media/sf_
ed/stream.264 -loop 0
```

Fonte: Autor.

Alguns parâmetros foram adotados no comando utilizado na Figura 13, tais como: FPS (valor 30) e LOOP (valor 0). O parâmetro FPS (*Frames per Second*) é obrigatório, pois o MPlayer necessita deste valor para vídeos escaláveis.

O parâmetro "loop" é referente a quantidade de vezes que o vídeo é repetido após a finalização de sua reprodução, e com o valor "0" o vídeo é reproduzido infinitamente até que haja uma paralização forçada pelo usuário. Este último parâmetro auxilia na visualização entre diferentes camadas do mesmo vídeo,

pois elas são intercaladas a partir de um comando requisitado pelo usuário (tecla “l” para visualizar uma camada acima e tecla “b” para visualizar uma camada abaixo).

Na Figura 14 tem-se uma demonstração a partir da chamada do comando demonstrado na Figura 13, o qual inicialmente é visualizado a última camada do vídeo através do MPlayer – neste caso a camada 02, com resolução 848x480, demonstrada na Tabela 4.

Figura 14 - Visualização do "stream.264" na camada 02



Fonte: Autor.

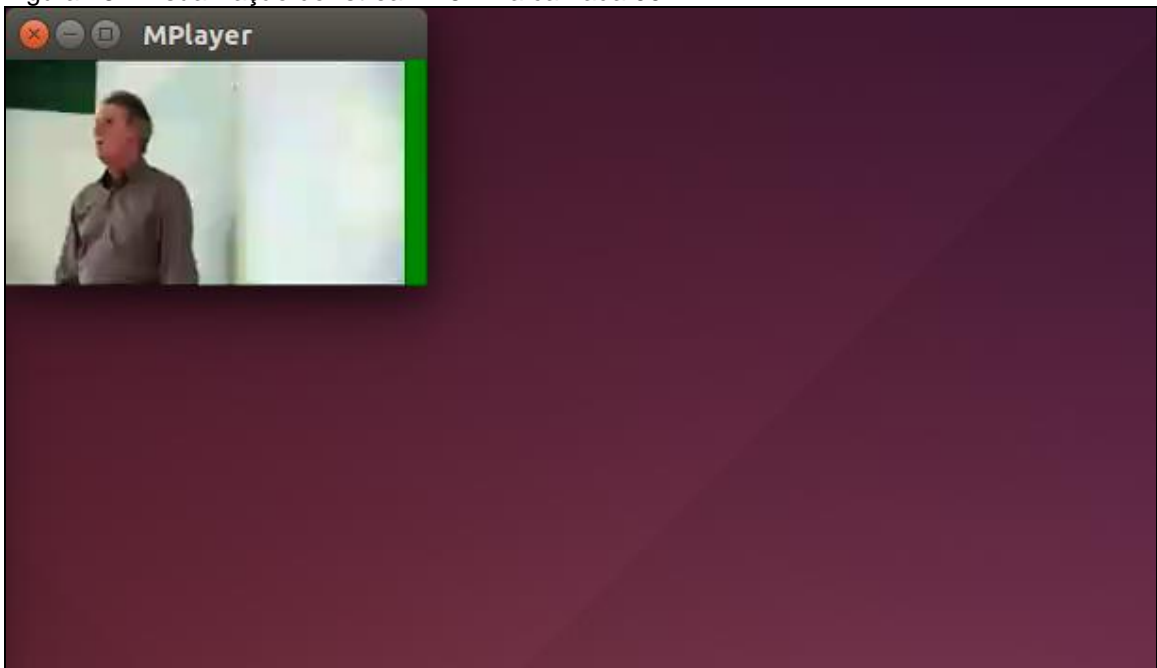
Na Figura 15 pode-se observar o mesmo vídeo sendo visualizado após o momento em que o usuário requisitou uma camada inferior através da tecla “l”, neste caso sendo a camada 01 do “stream.264”, e finalmente na Figura 16 a camada 00 do mesmo. Constata-se uma redução de resolução espacial associada à redução de taxa de *bits* e consequente redução de qualidade de visualização.

Figura 15 - Visualização do "stream.264" na camada 01



Fonte: Autor.

Figura 16 - Visualização do "stream.264" na camada 00



Fonte: Autor.

As sequências demonstradas nas Figuras 14, 15 e 16 foram extraídas de um vídeo institucional disponibilizado livremente pela UNESCO, o qual processo de extração - 120 *frames* recortados - e codificação foram feitos a partir do FFMPEG.

5.2.2 Serviço WebTV

O serviço WebTV foi desenvolvido a partir do modelo apresentado na metodologia no Laboratório de Informática Aplicada – Kiron, do curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). O mesmo foi disponibilizado no seguinte endereço por meio de hospedagem e armazenamento no servidor do Laboratório Kiron: <http://iptv2014.kironunesc.net.br>.

5.2.2.1 Página Inicial

A seguir tem-se as imagens da página inicial do serviço, sendo a primeira delas a visão geral da página (Figura 17), e em seguida imagens da janela de *login* (Figura 18) e janela de cadastro de usuário (Figura 19).

Na página inicial há uma breve descrição do que se trata o serviço e abaixo dela há disponibilizado os 6 últimos vídeos que foram disponibilizados no repositório.

Figura 17 - Página inicial

kiron . IP TV

Pesquisar por vídeos... Luiz Felipe ▾

🏠 IPTV

- Página inicial
- Créditos

📺 Vídeos

- Todos
- Privados
- Públicos

🧰 Ferramentas

- Meus vídeos
- Fazer upload
- Criar streaming

🌐 Links

- Kiron
- Ciência da Computação
- UNESC

O que é o projeto Kiron IPTV?

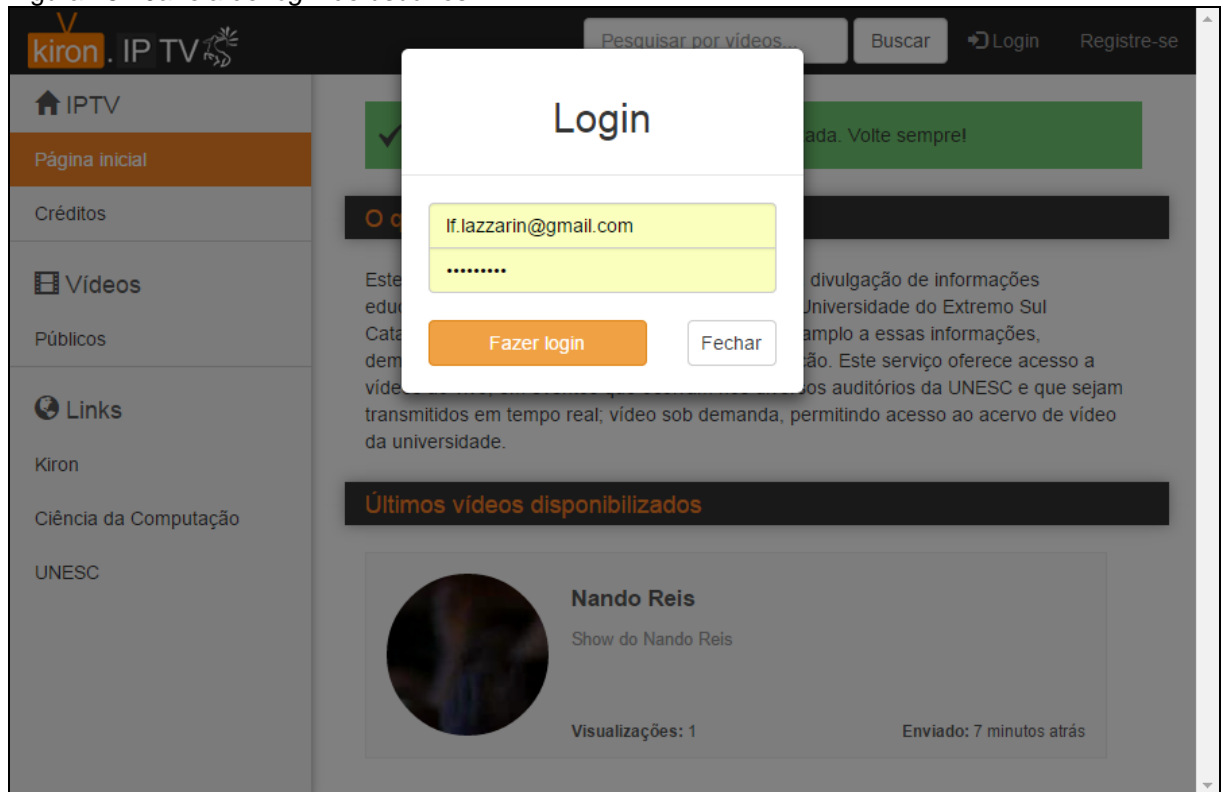
Este serviço está à disposição da comunidade para divulgação de informações educacionais, científicas e culturais produzidas na Universidade do Extremo Sul Catarinense. O objetivo principal é permitir acesso amplo a essas informações, democratizando o conhecimento gerado na instituição. Este serviço oferece acesso a vídeos ao vivo, em eventos que ocorram nos diversos auditórios da UNESC e que sejam transmitidos em tempo real; vídeo sob demanda, permitindo acesso ao acervo de vídeo da universidade.

Últimos vídeos disponibilizados

	<p>Nando Reis Show do Nando Reis</p> <p>Visualizações: 1</p> <p>Enviado: 4 minutos atrás</p>
	<p>Vídeo de exemplo 02 Amostra de vídeo.</p> <p>Visualizações: 1</p> <p>Enviado: 20 minutos atrás</p>
	<p>Vídeo de exemplo 01 Institucional UNESC</p> <p>Visualizações: 4</p> <p>Enviado: 23 horas atrás</p>

Fonte: Autor.

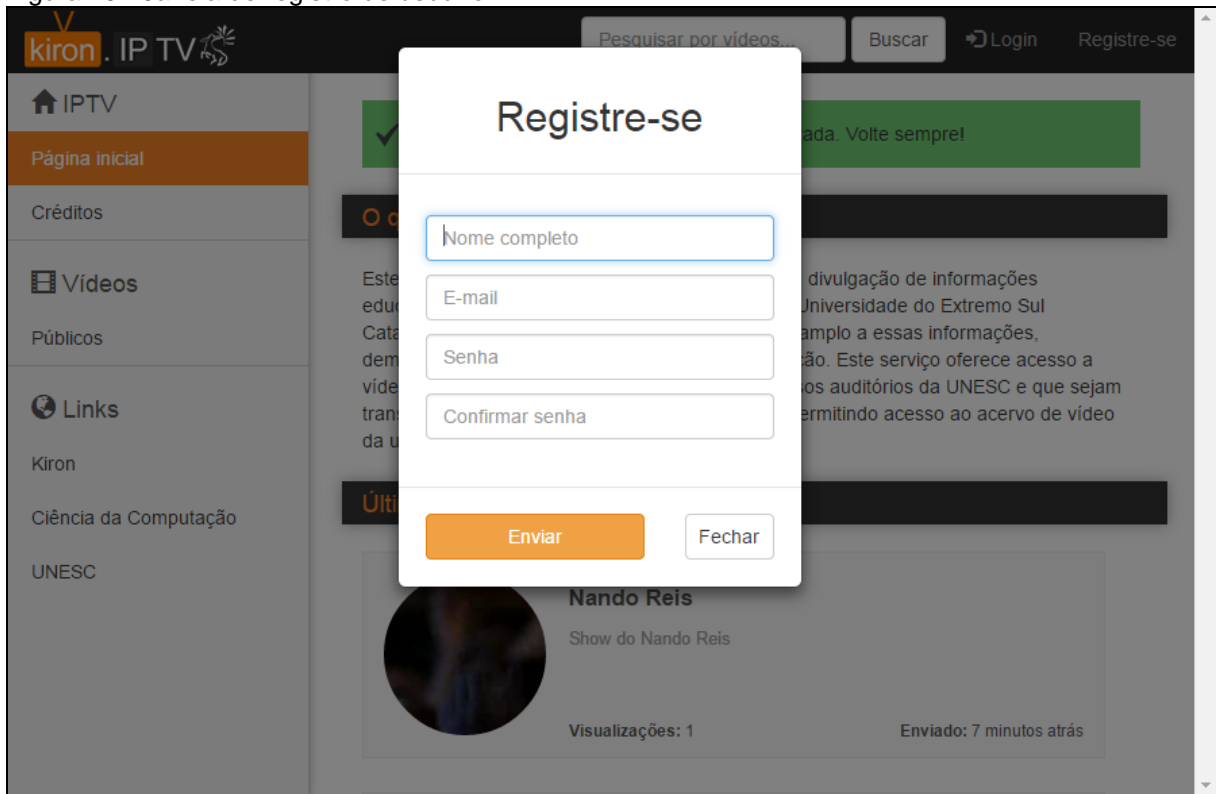
Ambas as janelas (Figuras 18 e 19) podem ser acessadas a partir de qualquer página do sistema, contanto que não haja nenhuma sessão de *login* efetuada.

Figura 18 - Janela de *login* de usuários

Fonte: Autor.

Para efetuar um cadastro no sistema (Figura 19), basta informar seu nome completo, e-mail – o qual será utilizado para autenticação de *login*, e senha. Após o envio do formulário, o sistema envia um e-mail de confirmação para o e-mail informado, contendo neste e-mail um link de confirmação da conta para que então possa utiliza-la.

Figura 19 - Janela de registro de usuário



The image shows a web browser window with the 'kiron IP TV' logo in the top left. A search bar with the text 'Pesquisar por vídeos...' and a 'Buscar' button is in the top right. Next to it are 'Login' and 'Registre-se' links. A sidebar on the left contains navigation links: 'IPTV', 'Página inicial', 'Créditos', 'Vídeos', 'Públicos', 'Links', 'Kiron', 'Ciência da Computação', and 'UNESC'. The main content area is partially obscured by a white modal window titled 'Registre-se'. This modal contains four input fields: 'Nome completo', 'E-mail', 'Senha', and 'Confirmar senha'. At the bottom of the modal are two buttons: 'Enviar' (orange) and 'Fechar' (white). In the background, a video player is visible with a video titled 'Nando Reis - Show do Nando Reis' and a view count of '1'.

Fonte: Autor.

5.2.2.2 Listas e Visualizações de Vídeos Armazenados

Neste subitem são demonstradas as páginas relacionadas a seleção dos vídeos em que são armazenados no servidor e banco de dados.

Na Figura 20 tem-se a página onde são disponibilizados todos os vídeos armazenados no serviço, lembrando que a página é acessível somente caso o usuário que efetuou *login* tenha tal permissão de acesso.

“Todos” refere-se tanto aos vídeos identificados como públicos tanto como os privados. Vídeos privados possuem em suas *thumbnails* um cadeado como identificação.

Figura 20 - Página “Todos os vídeos”

The screenshot shows the Kiron IPTV website interface. At the top, there is a search bar with the text "Pesquisar por vídeos...", a "Buscar" button, and a user profile "Luiz Felipe". The sidebar on the left contains the following menu items: IPTV (with sub-items: Página inicial, Créditos), Ao VIVO! (with sub-item: Canal 1), Vídeos (with sub-items: Todos, Privados, Públicos), Ferramentas (with sub-items: Meus vídeos, Fazer upload, Criar streaming), and Links (with sub-items: Kiron, Ciência da Computação, UNESC). The main content area is titled "Todos os vídeos" and displays five video entries:

- Vídeo público 04**: Thumbnail of "THE UNIVERSITY OF IOWA". Description: "Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa." Views: 1. Status: Enviado: uma hora atrás.
- Vídeo privado 04**: Thumbnail with a lock icon. Description: "Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa." Views: 0. Status: Enviado: uma hora atrás.
- Vídeo público 03**: Thumbnail with a green light. Description: "Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa." Views: 0. Status: Enviado: uma hora atrás.
- Vídeo privado 02**: Thumbnail with a lock icon. Description: "Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa." Views: 0. Status: Enviado: uma hora atrás.
- Vídeo privado 03**: Thumbnail with a lock icon. Description: "Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa." Views: 0. Status: Enviado: uma hora atrás.

Fonte: Autor.

Nas Figuras 21 e 22 são apresentadas as páginas que disponibilizam os vídeos dependendo de sua configuração de privacidade, sejam vídeos configurados como públicos ou privados.

Figura 21 - Página “Vídeos públicos”

The screenshot shows the 'Kiron IP TV' website interface. At the top, there is a search bar with the text 'Pesquisar por vídeos...' and a 'Buscar' button. The user's name 'Luiz Felipe' is visible in the top right corner. The sidebar on the left contains the following menu items: IPTV (with sub-items: Página inicial, Créditos), Ao VIVO!, Canal 1, Vídeos (with sub-items: Todos, Privados, Públicos), Ferramentas (with sub-items: Meus vídeos, Fazer upload, Criar streaming), and Links (with sub-items: Kiron, Ciência da Computação, UNESCO). The main content area is titled 'Vídeos públicos' and displays four video thumbnails. Each thumbnail includes a circular image, a title, a description, a view count, and an upload time.

Thumbnail	Title	Description	Visualizações	Enviado
	Vídeo público 04	Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa.	1	43 minutos atrás
	Vídeo público 03	Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa.	0	55 minutos atrás
	Vídeo público 02	Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa.	0	uma hora atrás
	Vídeo público 01	Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa.	0	uma hora atrás

Fonte: Autor.

Pode-se notar que vídeos marcados com nível de privacidade como Privado possuem em suas miniaturas um ícone de um cadeado (ver Figura 20 e 22).

Figura 22 - Página "Vídeos privados"

The screenshot displays the 'Vídeos privados' page on the Kiron IPTV website. The page features a dark header with the Kiron IPTV logo, a search bar, and the user name 'Luiz Felipe'. A left sidebar contains navigation options: IPTV (Página inicial, Créditos), Ao VIVO! (Canal 1), Vídeos (Todos, Privados, Públicos), Ferramentas (Meus vídeos, Fazer upload, Criar streaming), and Links (Kiron, Ciência da Computação, UNESCO). The main content area is titled 'Vídeos privados' and lists four private videos:

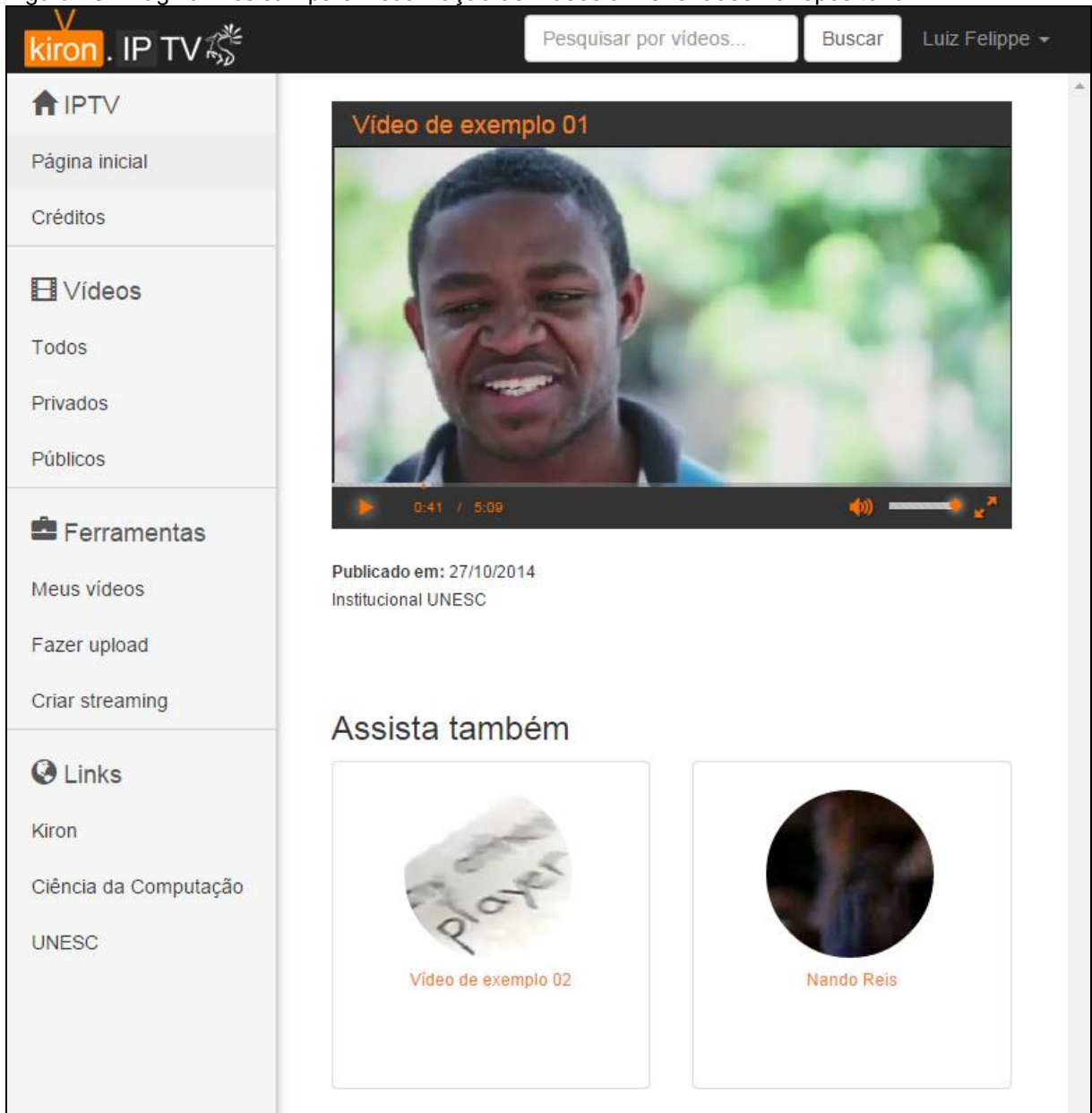
Título	Descrição	Visualizações	Enviado
Vídeo privado 04	Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa.	0	uma hora atrás
Vídeo privado 02	Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa.	0	uma hora atrás
Vídeo privado 03	Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa.	0	uma hora atrás
Vídeo privado 01	Este é um vídeo disponibilizado somente para fins de pesquisa.	2	3 dias atrás

Fonte: Autor.

5.2.2.3 Visualização de Vídeos Requisitados

Quando um vídeo é solicitado pelo usuário para ser assistido, o mesmo é apresentado em uma nova página – denominada Assistir, a qual pode ser vista na Figura 23. Esta página possui uma funcionalidade extra: toda vez que a página é solicitada, um valor de visualização (+1) é adicionado àquele vídeo.

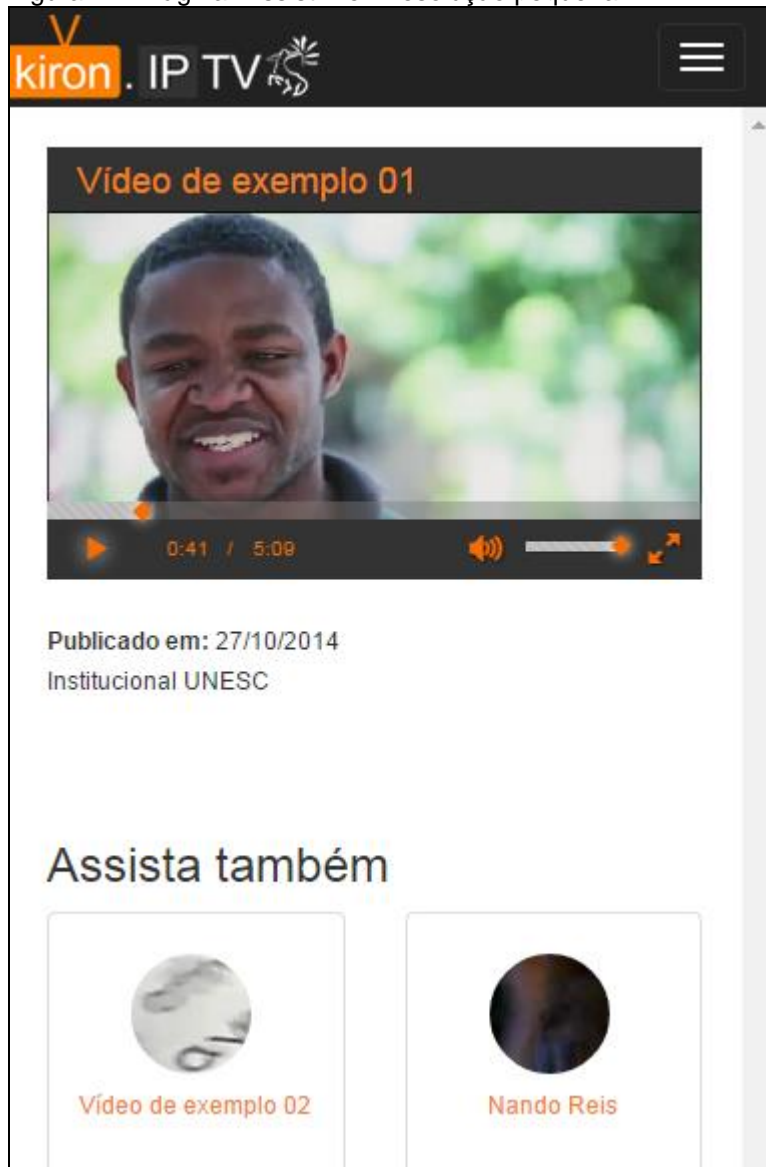
Figura 23 - Página “Assistir” para visualização de vídeos armazenados no repositório



Fonte: Autor.

Juntamente com as técnicas de responsividade implementadas na página foram também, a partir da linguagem CSS, aplicadas medidas para tornar o vídeo visualmente adequado ao tamanho da página. Na Figura 24 pode-se notar que o vídeo permanece adequado ao corpo da página mesmo sendo diminuída a uma resolução semelhante ao de um dispositivo móvel – 380px de largura, enquanto na Figura 25 é representado o mesmo vídeo em uma resolução maior referente a um computador.

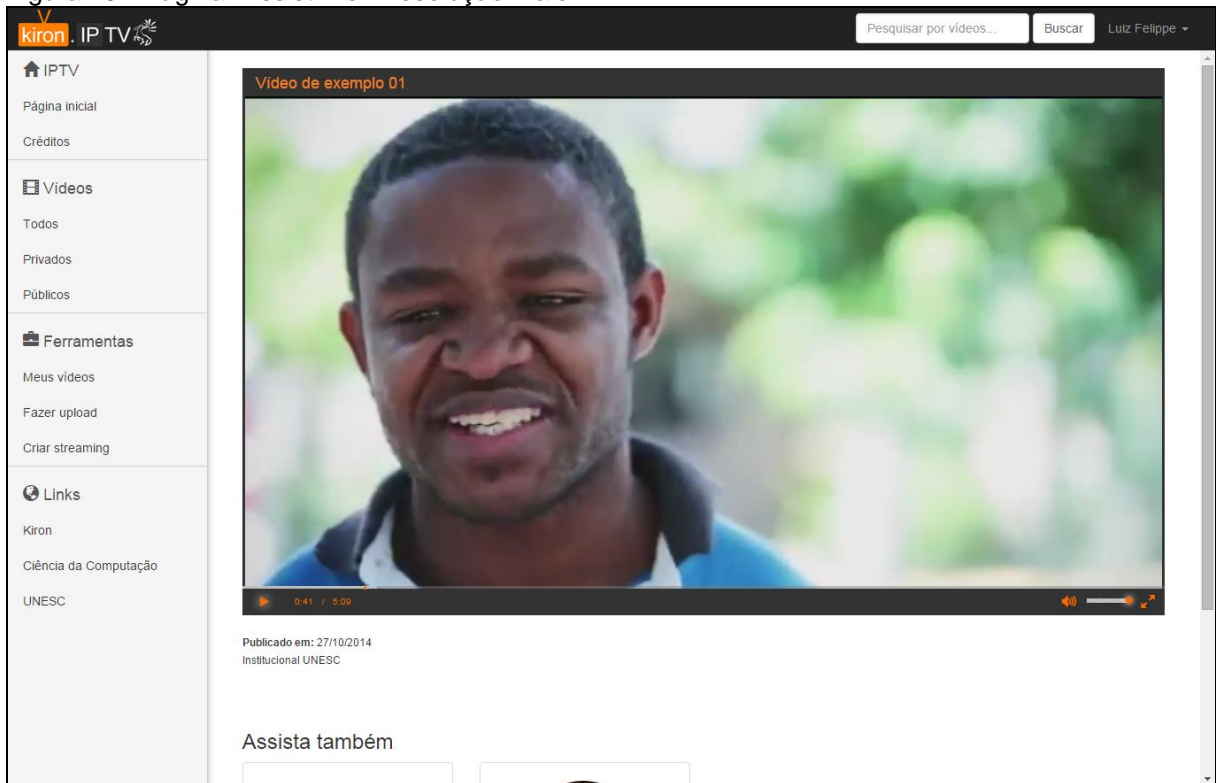
Figura 24 - Página "Assistir" em resolução pequena



Fonte: Autor.

Nota-se que, além do auto redimensionamento do *player* de vídeo, o menu de páginas é escondido para oferecer um maior espaço de visualização do vídeo solicitado.

Figura 25 - Página "Assistir" em resolução maior



Fonte: Autor.

5.2.2.4 Visualização de Streamings

A página de visualização de *streamings*, denominada “AoVivo” – onde pode ter-se múltiplas páginas de *streaming* -, é semelhante a página “Assistir”, onde no corpo da página há um *player* HTML5.

Como o *player* do HTML5 possui limitações de formatos de vídeos para se transmitir, foram disponibilizados os mais utilizados: MP4, OGG e WEBM. A configuração pode ser observada no código da página AoVivo (Figura 26).

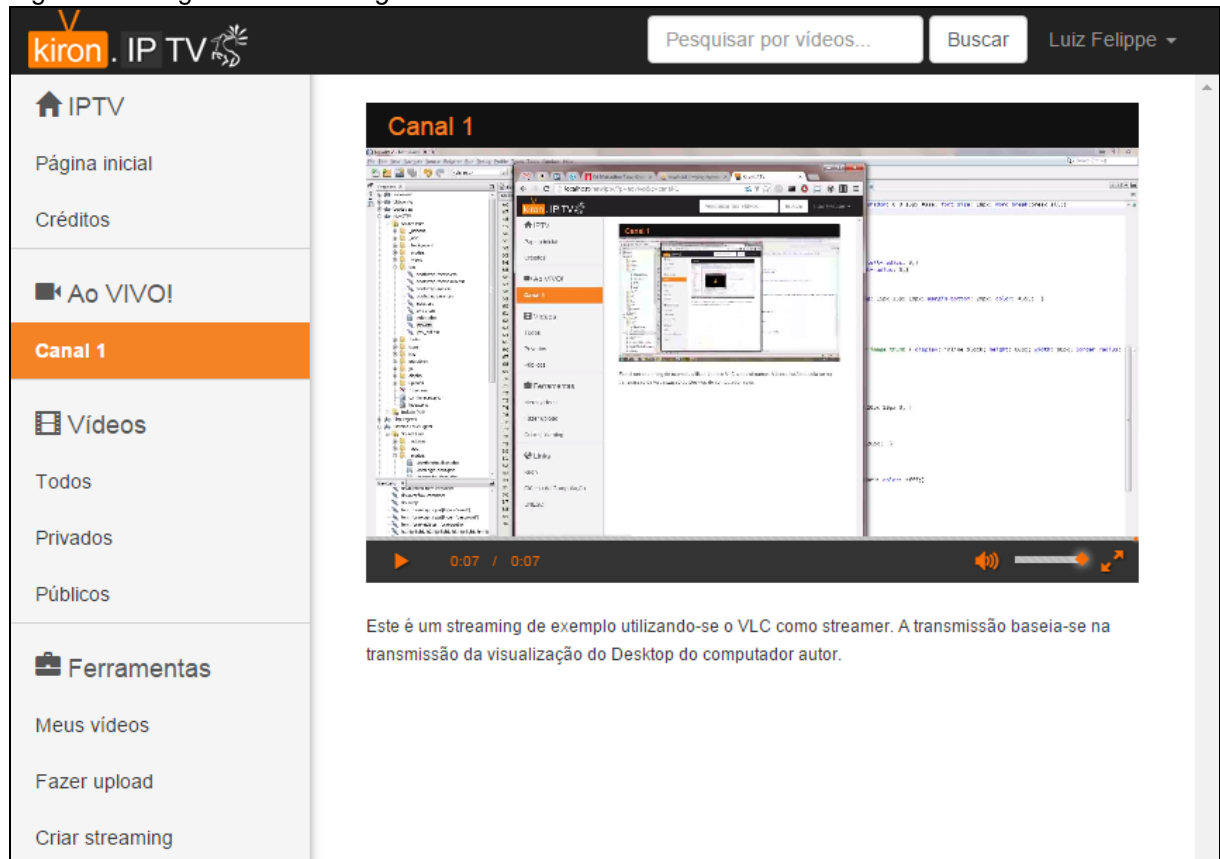
Figura 26 - Código do *player* mostrando a compatibilidade com os formatos mp4, ogg e webm

```
<div class="video-container">
  <video id="video-capsule" class="video-js vjs-default-skin" controls
    preload="auto" width="auto" height="auto" data-setup="{}">
    <source src="<?=$live['live_address']; ?>" type='video/mp4'>
    <source src="<?=$live['live_address']; ?>" type='video/ogg'>
    <source src="<?=$live['live_address']; ?>" type='video/webm'>
    <p class="vjs-no-js">Ative o JavaScript de seu navegador para poder assistir ao vídeo!</p>
  </video>
</div>
```

Fonte: Autor.

Na Figura 27 tem-se uma amostra de um *streaming* sendo transmitido ao vivo através de um canal criado denominado “Canal 1”. O *streaming* deu-se pela captura de tela de uma área de trabalho.

Figura 27 - Página de *streaming* ao vivo

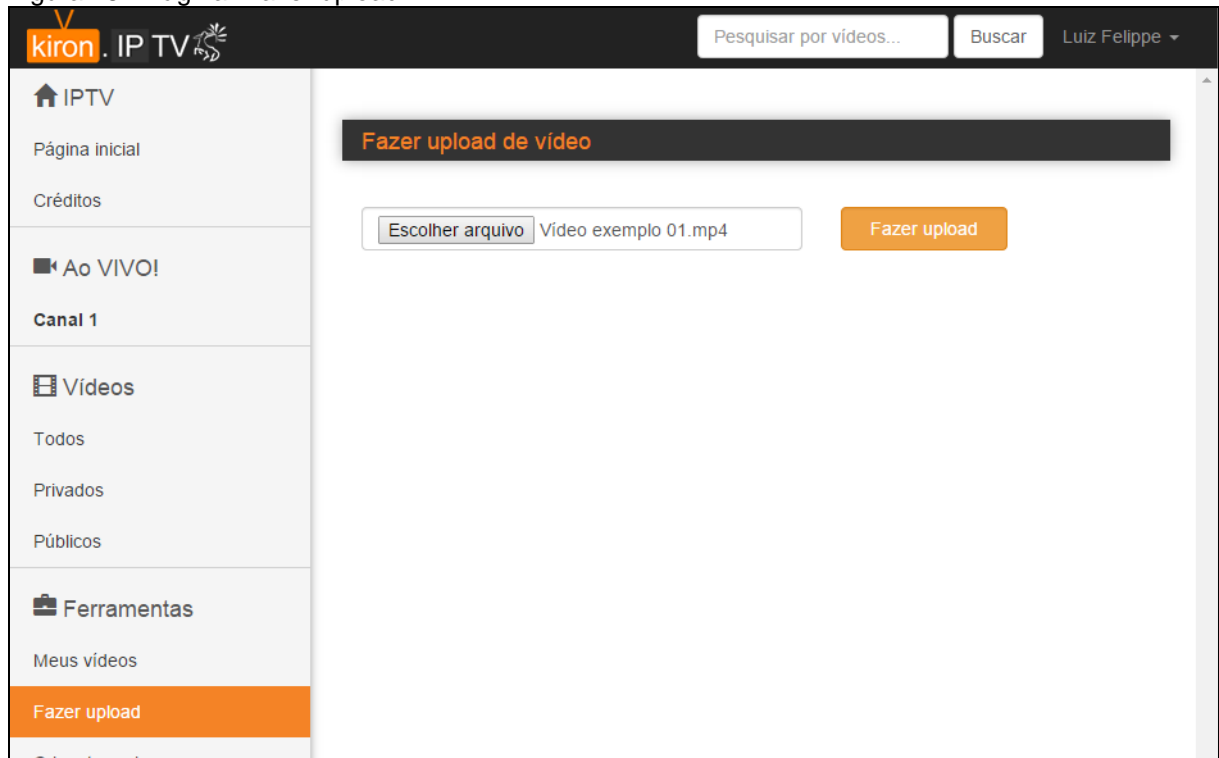


Fonte: Autor.

5.2.2.5 Upload de Vídeos para Repositório

Para usuários que possuam permissão suficiente para a utilização desta ferramenta – fornecedores e administradores, a função da página “Fazer upload” (ver Figura 28) se dá no envio de um arquivo de vídeo dentro dos formatos compatíveis: AVI, MP4, MPEG, OGG, WEBM, FLV e WMV.

Figura 28 - Página "Fazer upload"



Fonte: Autor.

Após o envio do arquivo de vídeo, duas funções são executadas de forma assíncrona e o usuário é redirecionado para uma página de edição rápida de informações do vídeo (Figura 29).

A primeira função é responsável por criar uma *thumbnail* do vídeo enviado a partir de uma imagem captura em um determinado *frame* do *bitstream*. A segunda função, exigindo um maior processamento, é responsável por converter o vídeo para o formato MP4. Como a execução das duas funções é de forma assíncrona, não é necessário que o usuário aguarde que as mesmas sejam finalizadas, assim ele pode editar informações do vídeo ou efetuar outras operações dentro do WebTV enquanto o vídeo é convertido.

Figura 29 - Pós *upload* de vídeo

The screenshot displays the 'Fazer upload de vídeo' (Upload video) page on the Kiron IPTV website. The interface includes a top navigation bar with the Kiron IPTV logo, a search bar labeled 'Pesquisar por vídeos...', a 'Buscar' button, and a user profile 'Luiz Felipe'. A left sidebar menu contains options like 'IPTV', 'Página inicial', 'Créditos', 'Ao VIVO!', 'Canal 1', 'Vídeos', and 'Ferramentas'. The main content area features a form with a title input field, a description text area, and dropdown menus for 'Categoria' and 'Privacidade'. An orange 'Aplicar' button is positioned below the form.

Fonte: Autor.

O vídeo enviado somente é disponibilizado para ser assistido a partir do momento em que o responsável pelo *upload* liberar o mesmo. O responsável somente poderá liberar o vídeo quando o mesmo estiver totalmente convertido, e ele poderá ter acesso a essas funções e acompanhar o progresso de conversão através da página “Meus vídeos” (Figura 30).

Pode-se notar na Figura 28 que abaixo da aba “Vídeos em conversão” há vídeos com seu progresso completo, o quais podem ser liberados pelo usuário através do botão “Liberar vídeo”. Além destes, há um vídeo em conversão necessitando que seu progresso atinja 100% antes que possa liberar o mesmo, porém ainda pode-se editar as informações deste vídeo através do botão “Editar vídeo”.

Figura 30 - Página "Meus vídeos" com vídeos pendentes de liberação

The screenshot displays the 'Meus vídeos' (My videos) page in the Kiron IPTV interface. The top navigation bar includes the Kiron IPTV logo, a search bar with the text 'Pesquisar por vídeos...', a 'Buscar' button, and the user's name 'Luiz Felipe'. The left sidebar contains a menu with the following items: 'IPTV' (with sub-items 'Página inicial' and 'Créditos'), 'Ao VIVO!', 'Canal 1', 'Vídeos' (with sub-items 'Todos', 'Privados', and 'Públicos'), 'Ferramentas', 'Meus vídeos' (highlighted in orange), 'Fazer upload', and 'Criar streaming'. Below this is a 'Links' section with 'Kiron', 'Ciência da Computação', and 'UNESC'. The main content area is titled 'Vídeos em conversão' and lists three videos:

- Vídeo enviado 03:** 35% conversion progress. Buttons: 'Editar vídeo', 'Liberar vídeo'.
- Vídeo enviado 02:** 100% conversion progress. Buttons: 'Editar vídeo', 'Liberar vídeo'.
- Vídeo enviado 01:** 100% conversion progress. Buttons: 'Editar vídeo', 'Liberar vídeo'.

Below the conversion section is a 'Meus vídeos' header and a public video card:

- Vídeo público 04:** Features a thumbnail with the text 'HE VER' and buttons for 'Editar vídeo' and 'Liberar vídeo'.

Fonte: Autor.

Quando o vídeo é liberado, o usuário é redirecionado para a página de edição das informações do vídeo, denominada "Editar vídeo" (ver Figura 31).

Figura 31 - Página "Editar vídeo" após liberação de vídeo

The screenshot displays the 'Editar vídeo' (Edit video) interface. At the top, there is a navigation bar with the 'kiron IP TV' logo, a search bar, and the user's name 'Luiz Felipe'. A green notification banner at the top center reads 'Vídeo foi liberado! Agora está disponível para ser assistido.' Below this, a dark bar contains the text 'Editar vídeo'. The main content area features a video player showing the logo of 'THE UNIVERSITY OF IOWA'. Underneath the player are several form elements: a text input for 'Novo título para o vídeo', a larger text area for 'Novo comentário', a dropdown menu for 'Arte e Cultura', and another dropdown menu for 'Privado'. At the bottom of the form are two buttons: 'Aplicar' (orange) and 'Sair' (white).

Fonte: Autor.

5.2.2.6 Edição de Vídeos

A partir do momento em que o vídeo foi enviado, mesmo que esteja em processo de conversão, o mesmo estará disponível para edição de suas informações, tais como: título, comentário, categoria e nível de privacidade.

A edição de vídeos pode tanto ser acessada através da página "Meus vídeos" (ver Figura 31, aba Meus vídeos), quanto após o momento em que foi enviado o vídeo, no qual o usuário será automaticamente redirecionado para a página de edição rápida de vídeo (ver Figura 29).

5.2.2.7 Criar e Editar Streamings

Para usuário que possuem permissão suficiente – usuários fornecedores ou administradores, estes poderão instanciar *streamings*/criar canais através da página “Criar streaming”, localizada na seção de Ferramentas.

Através da página “Criar streaming”, o usuário poderá tanto criar um novo *streaming*, quanto editar *streamings* já existentes (ver Figura 32). Os *streamings* existentes possuem em seus títulos a referência do usuário responsável pela criação da mesma.

Para criar/editar um *streaming* basta informar o título - o qual consequentemente também será o nome da página, o endereço completo do servidor responsável pela transmissão e a descrição do canal – que é disponibilizada para os usuários na página no canal.

Figura 32 - Página "Criar streaming" com *streaming* existente

The screenshot displays the Kiron IPTV web application interface. On the left is a sidebar menu with categories: IPTV (Página inicial, Créditos), Ao VIVO! (Canal 1), Vídeos (Todos, Privados, Públicos), Ferramentas (Meus vídeos, Fazer upload), and Links (Kiron, Ciência da Computação, UNESC). The main content area is titled 'Criar canal de streaming' and contains a form with three input fields: 'Título do canal', 'Endereço completo do streaming', and a larger 'Descrição do canal' text area. An orange 'Criar' button is positioned below the form. Below this, a section titled 'Editar Canal 1 (criado por Luiz Felipe)' features a table with one row: 'Canal 1' and 'http://127.0.0.1:8081/stream'. Underneath the table is a text box containing the text: 'Este é um streaming de exemplo utilizando-se o VLC como streamer. A transmissão baseia-se na transmissão da visualização do Desktop do computador autor.' At the bottom of this section are two buttons: 'Atualizar' (orange) and 'Remover' (red).

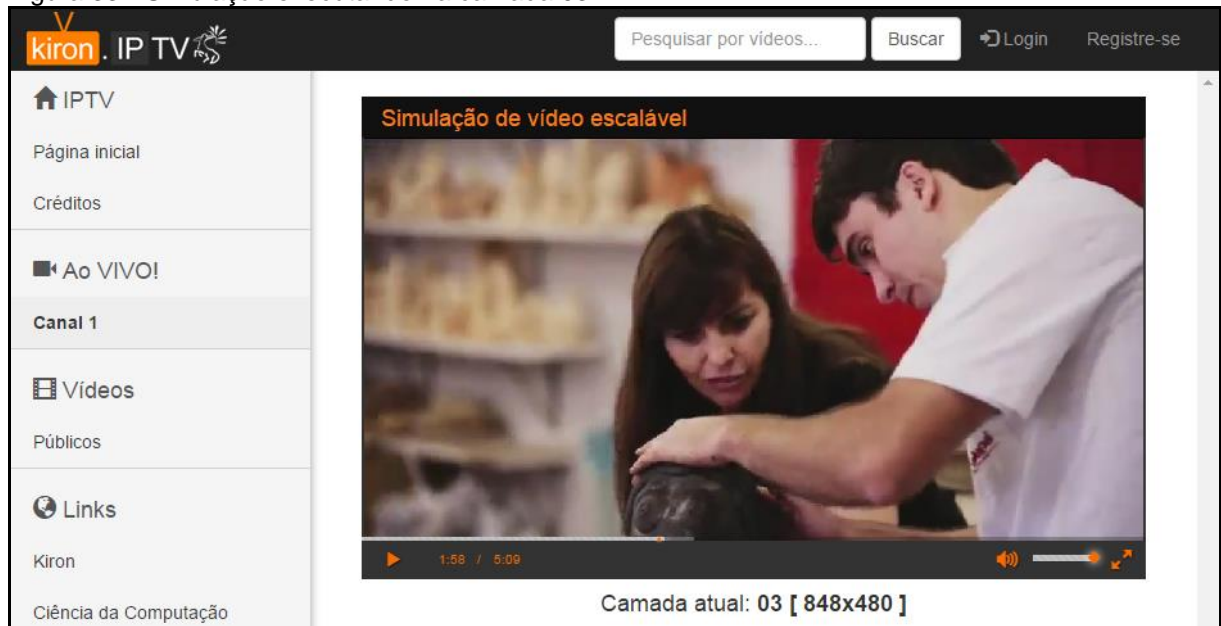
Fonte: Autor.

5.2.3 Demonstração da Simulação em Diferentes Resoluções Espaciais

Tem-se a seguir os resultados obtidos por meio do desenvolvimento da simulação de reprodução de vídeo em diferentes resoluções espaciais através do serviço de WebTV. A simulação encontra-se hospedada no endereço <http://iptv2014.kironunes.net.br/?p=svc>.

Observa-se na Figura 33 a visualização do vídeo em sua camada com maior enriquecimento – 03. Nota-se que abaixo do *player* há um aviso de qual camada está sendo reproduzida atualmente.

Figura 33 - Simulação executando na camada 03



Fonte: Autor.

Após o redimensionamento do navegador para uma menor resolução – menor que 480 *pixels* e maior que 240 *pixels* de largura, o vídeo é reduzido para uma camada abaixo (Figura 34).

Figura 34 - Simulação executando na camada 02



Fonte: Autor.

Quando a resolução do navegador é diminuída para um valor abaixo de 240 *pixels* e acima de 120 *pixels* de largura, a camada 01 é selecionada (Figura 35).

Figura 35 - Simulação executando na camada 01



Fonte: Autor.

Por fim, quando a resolução do navegador atinge uma largura menor que 120 *pixels* de largura, a primeira camada, com menor resolução espacial, é visualizada (Figura 36).

Figura 36 - Simulação executando na camada 00



Fonte: Autor.

6 CONCLUSÃO

Verificou-se com o desenvolvimento deste trabalho que processo de codificação de vídeo escalável traz possibilidades para a difusão de conteúdo em larga escala, especialmente quanto à extensa variedade de dispositivos com diferentes resoluções espaciais e qualidades de conexão disponíveis.

O serviço de WebTV é um suporte que atende a possibilidade de implementação de distribuição de vídeo *online* e *streaming* ao vivo, além de propiciar flexibilidade de integração com outras tecnologias, tais como: redes sociais, novos *codecs* de vídeos, diferentes linguagens de programação, entre outras.

Atualmente encontram-se disponíveis codificadores e decodificadores escaláveis, porém consideradas como soluções limitadas – tanto livres quanto proprietárias, tais como o *software* de referência utilizado neste trabalho, denominado JSVM, e o OpenSVCD decoder, que decodifica e apresenta o vídeo a partir de um *bitstream* codificado e decodificado com escalabilidade espacial. A partir do JSVM, baseado no padrão H.264/SVC, é possível gerar um *bitstream* escalável multicamadas. Neste trabalho, optou-se por adotar o *bitstream* contendo três camadas, cada uma possuindo uma resolução espacial diferente.

Foram identificadas soluções completas tais como sistemas de videoconferência. Entretanto soluções modulares (contendo apenas *codecs*) para que se possa desenvolver uma solução própria - nem livres nem proprietárias – não foram encontradas. Mesmo para estas soluções completas e fechadas os seus desenvolvedores e agentes fornecem poucas e obscuras informações acerca de sistemas e *codecs* H.264/AVC disponíveis.

O desenvolvimento de um protótipo de codificação escalável deu-se a partir da utilização e incorporação do *software* de referência JSVM, demonstrando-se que esta tecnologia é atualmente uma realidade. Porém constatou-se a indisponibilidade de integração deste tipo de tecnologia com o um serviço com especificações de processamento em tempo real para servidores web.

Foi implementada para teste uma codificação/decodificação escalável off-line associada à reprodução de vídeo em um serviço web – WebTV – em diferentes resoluções espaciais, qualidades e taxas de bits, verificando-se esta

tecnologia. Acredita-se assim que esta tecnologia está próxima de se tornar realidade e em breve estará disponível livremente, tanto seu código como sua licença de uso, para apoiar o desenvolvimento de sistemas WebTV para diversos contextos de aplicação e uso.

Foi proposta uma modelagem de serviço WebTV baseado em novas tecnologias, tais como a utilização de HTML5 e seu *player* embutido, uma arquitetura Bootstrap e MVC para auxiliar na responsividade do *layout* e desenvolvimento do código. Também foi adotado o H.264/AVC como padrão de codificação para vídeos armazenados no servidor

Por fim, foi desenvolvido o serviço de WebTV escalável especialmente cuja resolução de apresentação se adapta a diferentes dispositivos de acesso, tais como *smartphones*, *tablets*, computadores e notebooks ou outros com maior resolução, sendo utilizando somente um *bitstream* na reprodução dos vídeos. Contudo, há possibilidade para futuras implementações que se utilize da mesma técnica desenvolvida na simulação para serem disponibilizados múltiplos *bitstreams* para cada vídeo armazenado ou a ser transmitido, ou ainda perseguir uma implementação do H.264/SVC para um servidor web que opere em larga escala.

Para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de novos *codecs*, tais como o H.265/AVC – também denominado por *High Efficiency Video Coding* (HEVC), sucessor do H.264/AVC cuja extensão envolvendo escalabilidade – SVC – também vem sendo desenvolvida. Também é possível a utilização de *codecs* pertencentes a outros desenvolvedores, tal como o VP9, *codec* em atual desenvolvimento pertencente a Google. Também tem-se em mente uma futura disponibilização livre de um padrão de codificação e decodificação escalável compatível com serviços web que promova o aprimoramento do atual serviço WebTV para utilização desta tecnologia.

Por ser ainda uma área de pesquisa recente, apresentam-se diversos desafios tornando a comunicação envolvendo escalabilidade na codificação de vídeo um tema de pesquisa de destaque. As tecnologias aplicadas à difusão de vídeo via WebTV tornaram este trabalho uma realidade e a busca pelo aperfeiçoamento no compartilhamento e distribuição de conteúdo livre é de suma importância para que se contribua para a inclusão digital e para a inclusão social e, conseqüentemente, para o desenvolvimento da sociedade.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, L. V. **Desenvolvimento de arquiteturas de alto desempenho dedicadas à compressão de vídeo segundo o padrão H.264/AVC**. 2007. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2007.
- ASCENSO, J. M. D. **Codificação escalável de vídeo com elevada granularidade**. 2003. 297 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Universidade Técnica de Lisboa - UTL, Lisboa, 2003.
- BECKER, Valdecir. **Convergência tecnológica e a interatividade na televisão**. Comunicação e Sociedade. 29. ed. São Paulo: ITV Produções Interativas, 2007. 82 p.
- BLESTEL, M.; RAULET, M. **Open SVC Decoder: A flexible SVC library**. Proceedings of the international conference on Multimedia '10, Firenze, Italy. October 2010.
- BONFANTI, Katiellen; FREIRE, Pedro Ivo. **Web TV: da ideologia à construção**. 2008. 171 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Informação e Comunicação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.
- DTV. **Site Oficial da TV Digital Brasileira**. Disponível em: < <http://www.dtv.org.br> >. Acesso em: 13 abr. 2014.
- FONSECA, Evandro Stein da. **Estrutura de implantação e distribuição de vídeo utilizando os conceitos de IPTV**. 2012. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) - Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2012.
- GALVIS, Valmiro José Rangel. **Qualidade de serviço e de experiência na distribuição de vídeo escalável em redes Par-a-Par (P2P)**. 2013. xv, 165 f., il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- GHANBARI, M. **Standard Codecs: Image compression to Advanced Video Coding**. United Kingdom: The Institution of Electrical Engineers, 2003.
- HARTE, Lawrence. **IPTV Basics: Technology, operation and services**. Fuquay-varina: Althos, 2007. p. 412.
- ITU-T. **FG IPTV-R-00 14, 2nd FG IPTV Meeting**. Busan, Korea, 2006.

KOWN, Soon-Kak; TAMHANKAR, A.; RAO, K. R. **Overview of H.264; MPEG-4 part 10**. Journal of Visual Communication & Image Representation, Revisão 17, p. 186-216, ago. 2005.

LACERDA, Anselmo et al. **Serviço de distribuição de conteúdo multimídia em uma plataforma IPTV**. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2, 2007, João Pessoa. Connepi. João Pessoa: Ufp, 2007. p. 1-10.

MEGRICH, Arnaldo. **Televisão Digital: Princípios e técnicas**. São Paulo. Editora Érica Ltda. 2009.

NASCIMENTO, Lauro Aguirre. **Análise comparativa de desempenho entre os codificadores de vídeo H.264/AVC JM e H.264/SVC JSVM**. 2013. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) - Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2013.

NUNES, R. P. **Codificação escalável de vídeo para recepção fixa no sistema brasileiro de televisão digital**. 2009. 170 p. São Paulo: Dissertação (Mestrado) – USP, 2009.

RIBEIRO, D.C. **WebTV: Perspectivas para construções sociais coletivas**. BOCC, 2009.

RICHARDSON, I. E. G. **H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video coding for next-generation multimedia**. John Wiley & Sons Publishers, USA, 2003.

SCHWARZ, H.; MARPE, D.; WIEGAND, T. **Overview of the Scalable Video Coding extension of the H.264/AVC standard**. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 17, No. 9, p. 1103-1120, set. 2007, invited paper.

SEGALL, C.A.; SULLIVAN, G.J. **Spatial scalability within the H.264/AVC scalable video coding extension**. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 17, No. 9, p. 1121-1135. Set. 2007.

SILVA, André M. C. **Desenvolvimento de um compensador de movimento para o padrão H.264 de compressão de vídeo**. 2006. 65 p. Pelotas: UFPel, 2006.

SILVA, Eduardo Antônio Barros da; LOVISOLO, Lisandro. **Aplicações e tendências da IPTV**. T&c Amazônia, Rio de Janeiro, n., p.60-70, 12 out. 2007.

SIMPSON, Wes. **Video Over IP: IPTV, Internet Video, H.264, P2P, Web TV, and Streaming: A Complete Guide to Understanding the Technology**. 2. ed. Burlington: Focal Press, 2008. 504 p.

SOUZA, Márton Henrique de. **Avaliação de desempenho da escalabilidade espacial na recomendação H.264/SVC para codificação de vídeo.** 2011. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) - Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2011.

VELHO, A. P. M.; SÍPOLI A. F. C.; NARIAI, L. M.; VIEIRA, F. P.; SILVA, S. M. P.; MARIA, M. P. de. **À procura de uma linguagem para o jornalismo na webtv:** uma análise introdutória. V Congresso Iberoamericano de Periodismo en Internet, p.1-10, 2004.

WALKO, J. **I Love My IPTV.** IEE Communications Engineer, p. 16-19, dez. 2005.

WIEGAND, T.; SULLIVAN, G.; REICHEL, J.; SCHWARZ, H.; WIEN, M. **Joint draft 11 of SVC amendment, joint video team.** Doc. JVT-X201, jul. 2007.

WIEN, M.; CAZOULAT, R.; GRAFFUNDER, A.; HUTTER, A.; AMON, P. **Real-time system for adaptative video streaming based on SVC.** IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 17, n. 9, p. 1227-1237, set. 2007.

APÊNDICE A – ARTIGO

Distribuição de Vídeo com Escalabilidade Espacial em um Servidor Web

Luiz Felipe B. Lazzarin¹, Evânio Ramos Nicoleit²

¹Acadêmico do curso de Ciência da Computação – Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias - Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) - Criciúma - SC

²Professor do curso de Ciência da Computação - Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias - Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) - Criciúma - SC

lf.lazzarin@gmail.com, ern@unesc.net

Abstract. *The video distribution is currently one of repercussion in Web applications and WebTV is a potential alternative for the deployment of new services for specific interests such as education, science, technology and innovation. Expanding the use of access devices involving smartphones, tablets, computers, laptops and other with higher resolution demand encoding schemes that provide flexible and efficient video transmission services in various spatial resolutions. This paper discusses the use of spatial scalability in video coding based on H.264/SVC standard and integrates it to a WebTV service. A service WebTV architecture based on HTML5 that offers video programming at different spatial resolutions is presented. It also serves as repository and streaming live broadcasts instance.*

Resumo. *A distribuição de vídeo é atualmente uma das aplicações de grande repercussão na Web e a WebTV se apresenta como alternativa potencial para a implantação de novos serviços para interesses específicos tais como educação, ciência, tecnologia e inovação. A ampliação do uso de dispositivos de acesso que envolve smartphones, tablets, computadores, notebooks e outros com maior resolução demanda esquemas de codificação que ofereçam serviços flexíveis e eficientes para transmissão de vídeo em diversas resoluções espaciais. Este trabalho discute o uso da escalabilidade espacial na codificação de vídeo baseado no padrão H.264/SVC e integra-a a um serviço WebTV. É apresentada uma arquitetura de serviço WebTV baseada em HTML5 que oferece programação de vídeo em diferentes resoluções espaciais, serve de repositório e também instancia streamings para transmissões ao vivo.*

1. Introdução

A TV digital vem se desenvolvendo no País, incorporando recursos multimídia, computacionais e Web para a provisão de serviços com qualidade de imagem e interatividade aos usuários. Uma forma alternativa de difusão de conteúdo que é a TV via Web, que consiste

na transmissão de vídeo em canais por meio de streamings através da Web. Neste contexto destacam-se dois tipos de tecnologias: IPTV e WebTV.

IPTV (*Internet Protocol Television*) é um serviço de TV digital que utiliza o protocolo IP (*Internet Protocol*) através de redes dedicadas de alta velocidade. De acordo com a *International Telecommunications Union* (ITU-T, 2006), IPTV é definida como conjunto de serviços multimídia tais quais televisão/vídeo/áudio/texto/ gráficos/dados que são entregues por redes baseadas em IP gerenciadas para prover os níveis de Qualidade de Serviço (QoS - *Quality of Service*) / Qualidade de Experiência (QoE - *Quality of Experience*), segurança, interatividade e confiabilidade requeridos.

WebTV, ou distribuição de TV via Web, envolve a transmissão de sinais de áudio, vídeo e aplicações pela Web podendo ser na forma de Vídeo sob demanda ou fluxo de dados (*streaming*) em tempo real, sem a garantia de QoS, taxa de perda de pacotes e taxa de transmissão.

Escalabilidade, de forma geral, refere-se à capacidade de extração de partes do *bitstream* de um vídeo codificado para adaptá-lo às diferentes necessidades e/ou preferências do usuário, assim também como as diferentes capacidades de dispositivos e/ou a condições das redes de comunicação (NUNES, 2009). A escalabilidade espacial é explorada neste trabalho por meio da codificação baseada no padrão H.264/SVC.

Acredita-se que a WebTV pode alavancar a implantação de diversos serviços, haja vista a quantidade de potenciais consumidores deste meio de comunicação de massa (LACERDA et al, 2007), pois o sinal é acessível por qualquer computador conectado à Web. Assim, apresenta-se neste artigo uma proposta de arquitetura de WebTV em servidor Web com uso de escalabilidade espacial para distribuição de vídeo em diferentes resoluções baseando-se nos padrões H.264/AVC e H.264/SVC.

2. Sistemas de Transmissão de Vídeo

A TV está presente na sociedade como um dos maiores meios de comunicação disponíveis. Com o tempo, o perfil dos consumidores de TV tem se alterado, cada vez exigindo maior qualidade na transmissão do conteúdo e recursos com maior interação.

Há décadas, tem se experimentado a TV em escala de cinza (Acromática), posteriormente a TV colorida (Televisão Cromática) e mais recentemente a TV Digital com modificações na transmissão e na qualidade de som e imagem, além de prover maior interatividade entre usuário e serviço de TV (MEGRICH, 2009).

2.1. TV Digital

A TV Digital reúne imagem de alta definição, interatividade, grande número de canais, som digital e uma recepção superior de sinal. O sistema de transmissão de dados é digital e a informação pode ser difundida sem perdas (VELHO et al, 2004). Algumas características da TV Digital envolvem a mobilidade e suporte à programação em dispositivos móveis e portáteis tais como smartphones e tablets, e computadores, notebooks e outros com maior resolução (DTV, 2012). A partir da ampliação do acesso à banda larga e dos serviços web envolvendo qualidade de imagem e som e interatividade entre consumidor e fornecedor de serviço de TV, surge o IPTV e WebTV.

2.2. Transmissão de IP Vídeo

Para que ocorra uma transmissão de vídeo, alguns métodos são aplicados para que este seja enviado ao destinatário tais como digitalização, codificação, endereçamento, transferência, recepção, decodificação e conversão do vídeo para seu formato original (FONSECA, 2012).

O processo de transferência de vídeo através de uma rede IP contempla desde sua gravação, onde um sistema câmera/microfone realiza a captura de vídeo/áudio. Posteriormente é realizada a codificação do mesmo para que seja transmitido via IP dentro do padrão digital (MPEG-2, MPEG-4, VC-1, AVI, H.264, dentre outros). A transmissão de vídeo e áudio através do protocolo IP na rede requer os endereços IP dos destinatários para que a informação possa ser recuperada ao seu conteúdo original (HARTE, 2007, tradução nossa).

2.3. IPTV

IPTV é o serviço de transmissão (*streaming*) de programas de TV ao vivo e de vídeo sob demanda através de uma rede privada utilizando o protocolo IP. Em geral, o serviço é acessado pelo usuário doméstico através de uma conexão à Web em Banda Larga. O IPTV também pode ser compreendido como um sistema de televisão privado, com distribuição sobre uma rede não pública, ao contrário do que acontece com a internet. Com o avanço da tecnologia de codificação de vídeos e o grande crescimento da capacidade e disponibilidade de alta banda de rede para usuários finais, a transmissão de vídeo em pacotes IP se tornou possível, fazendo do IPTV uma realidade (WALKO et al, 2005, tradução nossa).

O conceito de IPTV é definido como serviços multimídia tais como televisão/vídeo/áudio/gráficos/dados entregues por meio de uma rede baseada no protocolo IP, de forma a prover níveis requeridos de segurança, QoS e QoE, interatividade e confiabilidade (ITU-T, 2006, tradução nossa).

2.4. WebTV

Pode-se compreender a WebTV como a conversão do conteúdo da TV para a Web, sendo desta forma possível que o usuário possa assistir a programas/vídeos a partir de seu computador, com uma interatividade maior do que a proporcionada pela TV (RIBEIRO, 2009).

Já segundo Bonfanti (2008), WebTV pode ser considerada como todo e qualquer conteúdo visual (vídeo) ou audiovisual (áudio e vídeo), gerado a partir de transmissões ao vivo ou de vídeos armazenados, para consumo a partir de uma programação própria em um suporte digital.

Tanto IPTV quanto WebTV apresentam características equivalentes se tratando de serviços de distribuição de vídeo através de redes IP. Porém, o que distingue um do outro é que o serviço IPTV é fornecido de forma fechada e com garantia de QoE e QoS, enquanto a WebTV baseia-se no conceito de transmissão de vídeo em rede aberta (na Web) sem garantia de QoE e QoS. Ou seja, a grande diferença entre a WebTV e a IPTV envolve a utilização de uma rede que garanta QoS necessária para uma QoE de uso por quem assine o serviço (SILVA; LOVISOLO, 2007).

A maioria dos conteúdos da WebTV são disponíveis para o telespectador selecionar o que deseja assistir no momento mais conveniente e os conteúdos de vídeo são relativamente curtos (SIMPSON, 2008, tradução nossa).

3 Codificação de Vídeo Escalável

3.1. Padrão ITU H.264

O padrão H.264 é também conhecido como esquema H.264/AVC de codificação de vídeo e oferece suporte a diversas aplicações incluindo transmissão de vídeo e streamings (KOWN;

TAMHANKAR; RAO, 2005, tradução nossa). Dentre suas características destacam-se eficiência de compressão e de transmissão (RICHARDSON, 2003, tradução nossa).

O padrão H.264/AVC possui uma extensão desenvolvida para suporte à escalabilidade denominado H.264/SVC – *Scalable Video Coding*, em que o *bitstream* é subdividido em uma ou mais camadas de *bitstreams* intermediários que possam ser decodificados separadamente (SCHWARZ; MARPE; WIEGAND, 2007, tradução nossa). Esta extensão possibilita a adição ou retirada de camadas dentro do fluxo de bits, adequando-se a escala de acordo com a aplicação. O H.264/SVC provê suporte a múltiplas resoluções espaciais de exibição a partir de um único *bitstream* (SEGALL; SULLIVAN, 2007, tradução nossa). A arquitetura do padrão H.264/SVC é designada para oferecer três tipos de escalabilidade: temporal, espacial e SNR (WIEN et al, 2007, tradução nossa). Neste trabalho será destacado o uso da escalabilidade espacial.

3.2. Escalabilidade Espacial

Se um vídeo é codificado em alta resolução espacial, uma alta taxa de bits é requerida, fazendo com que usuários com baixa velocidade de rede sofram com a transferência do mesmo. Se o vídeo é codificado em baixa resolução espacial, usuários com equipamento de maior resolução e rede de alta velocidade não podem usufruir da qualidade de sua infraestrutura. Um encaminhamento para este tipo de situação é a utilização da escalabilidade espacial, onde somente são requeridas/processadas as camadas de *bitstream* de acordo com a rede e dispositivo do usuário.

Escalabilidade trata da extração de partes do *bitstream* de um vídeo codificado para adequá-lo a diferentes necessidades e/ou preferências do usuário, assim também como as diferentes capacidades de receptores e/ou a condições das redes de comunicação (NUNES, 2009). Pode-se estender o conceito para Escalabilidade Espacial no que diz respeito a adequá-lo a diferentes necessidades de resolução espacial dos dispositivos de acesso tais como smartphones, tablets, computadores, notebooks e outros com maior resolução.

A codificação escalável espacialmente de vídeo possibilita que o decodificador decodifique seletivamente apenas uma parte do fluxo de bits. Ou seja, se um vídeo é codificado com escalabilidade espacial, o decodificador pode selecionar a quantidade desejada de camadas, sendo a última camada a de maior qualidade (RICHARDSON, 2003, tradução nossa).

4. Desenvolvimento

Este trabalho aborda a transmissão de vídeo de forma escalável baseada na codificação e decodificação de vídeo em várias camadas. Ao consumir o vídeo, o decodificador decodifica somente a subcamada de *bitstream* requerida compatível com a resolução do suporte de visualização do usuário.

4.1. Protótipo de Codificação Escalável

Para o desenvolvimento do protótipo de codificação e decodificação escalável, foi utilizado o software de referência *Joint Scalable Video Model* (JSVM - v. 9.19), aliado ao OpenSVCDecoder. O JSVM é o software de referência para a extensão de codificação escalável SVC, de código aberto, desenvolvido pelo grupo JVT (Joint Vídeo Team), um grupo formado por especialistas do VCEG da ITU-T e do MPEG da ISO/IEC. O OpenSVCDecoder é um framework, de código aberto e com licença de uso livre, cuja arquitetura contém funcionalidades de decodificação e apresentação de vídeo escalável. O *framework* disponibiliza duas opções de *players* para a visualização dos vídeos escaláveis:

FFDShow e MPlayer. Para este trabalho foi selecionado o MPlayer por possuir uma maior quantidade de fontes e informações a respeito de sua instalação a partir do OpenSVCDencoder.

4.2. Modelagem do Sistema de WebTV

Para atender as necessidades de implementação deste serviço e para que o mesmo também seja utilizado para fins acadêmicos e de pesquisa, foram destacados alguns requisitos e softwares que serão aqui discutidos.

4.2.1. Estrutura do Serviço

Primeiramente foram identificadas algumas funcionalidades que definem um serviço de WebTV, tal como a transmissão de vídeos sob demanda ou streaming em tempo real. Também foram selecionados recursos adicionais ao serviço para garantir segurança ao sistema, privacidade de conteúdo quando for requerida e ferramentas que auxiliam no gerenciamento do sistema.

- a. Cadastro de usuários: dentro do serviço, usuários sem cadastro poderão assistir vídeos armazenados no servidor com acesso público. Porém aqueles que possuírem um *login* terão acesso também aos vídeos privados e também aos streamings.
- b. Nível de acesso do usuário: dependendo do nível de acesso do usuário cadastrado – usuário comum, fornecedor ou administrador, o mesmo poderá efetuar upload e gerenciamento de seus vídeos e também criar streamings, ou caso for um administrador poderá gerenciar todos os vídeos e usuários do sistema. Caso um usuário tente acessar uma página sem ter acesso a ela, uma mensagem de erro será apresentada na página;
- c. Upload de vídeos: o usuário que tiver acesso a essa ferramenta – fornecedor ou administrador - poderá enviar vídeos para o sistema. O vídeo enviado deve ser compatível com um dos seguintes formatos: AVI, MP4, MPEG, OGG, WEBM, FLV ou WMV. Após o upload finalizar, o usuário é redirecionado para uma página para atribuir informações ao vídeo como: título, descrição, categoria e nível de privacidade. Paralelamente a isso o vídeo é convertido em background;
- d. Conversão do vídeo: a partir do momento em que foi finalizado o upload, o vídeo entra num processo de conversão que é efetuado diretamente no servidor sem que o usuário necessite esperar seu encerramento. A conversão é realizada por uma questão de compactação e padronização de formato de vídeo. Com isso, o vídeo torna-se compatível com o player do HTML5 e sua resolução é dimensionada por padrão para 480p e também seu espaço requerido de armazenamento é compactado;
- e. Criar streamings: o fornecedor ou administrador poderão criar streamings, porém somente poderão efetuar isso com a ajuda de um software terceiro, tal como VLC Media Player. Com o VLC, o usuário irá instanciar um streaming e, a partir do sistema WebTV, o usuário irá apontar o endereço do mesmo para o endereço que foi gerado pelo software, e assim será disponibilizado uma página contendo o player que reproduz o vídeo referente ao vídeo que está no ar;
- f. Gerenciamento de usuários e vídeos: sendo uma função exclusiva do administrador, o usuário com este nível de permissão terá como possibilidade, além das funções previamente citadas, a modificação e/ou a exclusão de usuários ou vídeos cadastrados no sistema.

4.2.2. HTML5 (*HyperText Markup Language 5*)

Foi adotada, como padrão de desenvolvimento *front-end*, a versão 5 do HTML por apresentar uma codificação mais simples e organizada e possuir novos recursos. Um dos recursos que se destaca para o desenvolvimento do serviço WebTV é a facilidade de encapsular e transmitir um arquivo de vídeo sem a necessidade de plug-ins ou programas terceiros, porém com algumas restrições de formatos. No HTML4 era utilizado em larga escala o software Flash como *plugin* intermediário para transmitir vídeo encapsulado em um arquivo do tipo FLV através dos navegadores. Com o HTML5 basta a utilização da *tag* `<video>` e atribuir o endereço de um vídeo armazenado no servidor, sendo esse vídeo codificado e encapsulado em um formato que seja compatível com o HTML5 dos navegadores, de preferência os mais utilizados, tais como *Google Chrome*, *Mozilla Firefox* e *Internet Explorer*.

4.2.3. *Twitter Bootstrap*

Twitter Bootstrap é um *framework front-end* desenvolvido por membros desenvolvedores da rede social *Twitter*. Foi criado com o intuito de facilitar o desenvolvimento *front-end* de uma página ou aplicativo web. O *framework* consiste em *templates* para componentes HTML e *Cascading Style Sheets* (CSS), tais como classes pré-moldadas às quais tornam o layout padronizado e responsivo, além de possuir alguns designs pré-definidos de layout de botões, formulários, cabeçalhos e rodapés de páginas, entre outros. Para auxílio na estruturação e compatibilização de estilo do sistema WebTV com diferentes resoluções, é utilizado o *framework Twitter Bootstrap*, cujo código é distribuído livremente. Além da agilização do processo de desenvolvimento do serviço, com a arquitetura de classes que o *Bootstrap* apresenta, a experiência do usuário torna-se sofisticada no aspecto de visualização da página. Com a utilização deste framework, o usuário poderá visualizar de forma simplificada o serviço, seja através de *smartphone*, *tablet* ou computador, ou seja, em dispositivos com resoluções distintas.

4.2.4. PHP5 MVC

Na programação servidor, ou *back-end*, é utilizada a linguagem *Hypertext Preprocessor* (PHP) em sua versão 5.5 por ser simplificada e bem-conhecida. Foi adotada o modelo de arquitetura *Model-View-Controller* (MVC), o qual exige uma estrutura bem definida de codificação, tal como a separação de código *front-end* e *back-end* em diferentes arquivos e a utilização de classes de acordo com a estrutura de tabelas e colunas do banco de dados, porém traz vantagens para futuras atualizações. Trabalhando-se com esse tipo de arquitetura, as modificações futuras do código tornam-se simplificadas sem comprometer sua estrutura.

4.2.5. FFMPEG

O FFMPEG é um software de código aberto com licença de uso livre que possibilita - gravar, converter, capturar imagens de um vídeo e criar streamings. Para evitar problemas de incompatibilidade de formatos e resoluções dos vídeos armazenados no servidor, foi utilizado o FFMPEG, que é executado através do PHP. Como o FFMPEG é uma ferramenta que possui dentre suas funções a codificação de vídeo, foi possível adotar como padrão para armazenamento no servidor vídeos no formato MPEG-5 *Part 14* (MP4) juntamente com o codec H.264/AVC. Além da utilização do FFMPEG para a codificação de vídeos, o mesmo também é utilizado para criar as miniaturas (*thumbnails*) extraídas do vídeo que é carregado (upload) e serem apresentadas nas listas de seleção de vídeos.

4.2.6. VLC Media Player

O VLC é utilizado para transmissão em tempo real como servidor e codificador do vídeo a ser transmitido. Em outras palavras, VLC é um programa terceiro utilizado neste trabalho para criar streamings e através do serviço WebTV é registrado o endereço gerado pelo VLC ao instanciar a transmissão.

4.3. Desenvolvimento do Serviço WebTV

O serviço foi desenvolvido sobre o sistema operacional Windows 7. O WebTV foi inicialmente desenvolvido sobre a plataforma WAMP, que é uma junção de quatro ferramentas conjuntas e dispõe um servidor local para o Windows: Windows, Apache, MySQL e PHP. Para a etapa de programação do WebTV foram utilizadas as ferramentas NetBeans 8.0 e o Notepad++ 6.6.3. O Notepad++ 6.6.3 foi útil na visualização dos códigos a partir do momento em que se quisesse editá-los remotamente pelo servidor Linux, enquanto o NetBeans possui sua estrutura pronta para trabalhar com linguagens orientadas a objetos, tais como PHP 5.5 que também foi desenvolvido na arquitetura MVC, tornando mais ágil a programação sobre o Windows. Após finalizado, o serviço foi exportado para um servidor Linux.

5. Resultados

O serviço WebTV foi desenvolvido a partir do modelo apresentado e está disponível por meio de hospedagem e armazenamento no servidor do Laboratório no seguinte endereço: <http://iptv2014.kironunes.net.br>.

Apresenta-se na Figura 1 uma página do serviço. Na página inicial há uma breve descrição do serviço e abaixo são mostrados 6 últimos vídeos abertos que foram enviados ao repositório. Juntamente com as técnicas de responsividade implementadas na página foram também, a partir da linguagem CSS, aplicadas medidas para tornar o vídeo visualmente adequado ao tamanho da página.

O serviço é disponibilizado com suporte para escalabilidade espacial em diferentes resoluções associadas a dispositivos tais como smartphones e tablets, e computadores, notebooks e outros com maior resolução.

5.1. Visualização de Streamings

A página de visualização de streamings, denominada “AoVivo”, pode conter múltiplas páginas de streaming. Como o player do HTML5 possui limitações de formatos de vídeos para se transmitir, foram disponibilizados os mais utilizados: MP4, OGG e WEBM.

kiron . IP TV

Pesquisar por vídeos... Luiz Felipe ▾

IPTV

Página inicial

Créditos

Vídeos

Todos

Privados

Públicos

Ferramentas

Meus vídeos

Fazer upload

Criar streaming

Links

Kiron

Ciência da Computação

UNESC

O que é o projeto Kiron IPTV?

Este serviço está à disposição da comunidade para divulgação de informações educacionais, científicas e culturais produzidas na Universidade do Extremo Sul Catarinense. O objetivo principal é permitir acesso amplo a essas informações, democratizando o conhecimento gerado na instituição. Este serviço oferece acesso a vídeos ao vivo, em eventos que ocorram nos diversos auditórios da UNESC e que sejam transmitidos em tempo real; vídeo sob demanda, permitindo acesso ao acervo de vídeo da universidade.

Últimos vídeos disponibilizados

Nando Reis
Show do Nando Reis
Visualizações: 1 Enviado: 4 minutos atrás

Vídeo de exemplo 02
Amostra de vídeo.
Visualizações: 1 Enviado: 20 minutos atrás

Vídeo de exemplo 01
Institucional UNESC
Visualizações: 4 Enviado: 23 horas atrás

Figura 1. Página inicial

5.2. Upload de Vídeos para o Repositório

Usuários com permissão para a utilização desta ferramenta – fornecedores e administradores, a função da página “Fazer upload” oferece a possibilidade de envio de um arquivo de vídeo dentro dos formatos compatíveis: AVI, MP4, MPEG, OGG, WEBM, FLV e WMV. Após o envio do arquivo de vídeo, duas funções são executadas de forma assíncrona e o usuário é redirecionado para uma página de edição rápida de informações - metadados - do vídeo. A primeira função cria uma miniatura do vídeo enviado a partir de uma imagem capturada em um determinado quadro do *bitstream*. A segunda função, que exige maior processamento, converte o vídeo para o formato MP4. Como a execução das duas funções é de forma assíncrona, não é necessário que o usuário aguarde que as mesmas sejam finalizadas, assim ele pode editar informações do vídeo ou efetuar outras operações dentro do WebTV enquanto o vídeo é convertido.

5.3. Criar e Editar Streamings

O usuário que possui privilégio para criar e editar streamings – usuários fornecedores ou administradores, pode instanciar *streamings* e criar canais através da página “Criar streaming”, localizada na seção de Ferramentas. Através da página “Criar streaming”, o usuário poderá tanto criar um novo streaming, quanto editar streamings existentes. Os streamings existentes possuem em seus títulos a referência do usuário responsável pela criação da mesma.

6. Conclusão

Verificou-se com o desenvolvimento deste trabalho que processo de codificação de vídeo escalável traz possibilidades para a difusão de conteúdo em larga escala, especialmente quanto à extensa variedade de dispositivos com diferentes resoluções espaciais e qualidades de conexão disponíveis.

O serviço de WebTV é um suporte que atende a possibilidade de implementação de distribuição de vídeo online e streaming ao vivo, além de propiciar flexibilidade de integração com outras tecnologias, tais como redes sociais, novos *codecs* de vídeo e diferentes linguagens de programação.

Foi proposta uma modelagem de serviço WebTV baseado em novas tecnologias, tais como a utilização de HTML5 e seu player embutido, uma arquitetura *Bootstrap* e MVC para auxiliar na responsividade do layout e desenvolvimento do código. Também foi adotado o H.264/AVC como padrão de codificação para vídeos armazenados no servidor.

Desenvolveu-se um serviço de WebTV escalável especialmente cuja resolução de apresentação se adapta a diferentes dispositivos de acesso, tais como smartphones, tablets, computadores e notebooks ou outros com maior resolução.

Para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de novos *codecs*, tais como o H.265/AVC – também denominado por *High Efficiency Video Coding* (HEVC), sucessor do H.264/AVC cuja extensão envolvendo escalabilidade – SVC – também vem sendo desenvolvida. Também é possível a utilização de *codecs* pertencentes a outros desenvolvedores, tal como o VP9, codec em atual desenvolvimento pertencente a Google. Tem-se em mente a busca por uma futura disponibilização com licença de uso livre de um padrão de codificação e decodificação escalável compatível com serviços web que promova o aprimoramento do atual serviço WebTV para utilização desta tecnologia.

É constante a busca por aperfeiçoamentos na distribuição online de vídeos, principalmente quando procura-se oferecer um serviço a um público abrangente envolvendo desde usuários que possuem conexão de baixa qualidade até aqueles que dispõem de taxa para prover qualidade do vídeo sem interrupções. Apresentam-se diversos desafios que tornam a comunicação envolvendo escalabilidade na codificação de vídeo um tema de pesquisa de destaque. As tecnologias aplicadas à difusão de vídeo via WebTV tornaram este trabalho uma realidade e a busca pelo aperfeiçoamento no compartilhamento e distribuição de conteúdo livre é de suma importância para que se contribua para a inclusão digital e para a inclusão social e, conseqüentemente, para o desenvolvimento da sociedade.

7. Referências

BONFANTI, Katiéllen; FREIRE, Pedro Ivo. Web TV: da ideologia à construção. 2008. 171 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Informação e Comunicação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

- DTV. Site Oficial da TV Digital Brasileira. Disponível em: < <http://www.dtv.org.br> >. Acesso em: 13 abr. 2014.
- FONSECA, Evandro Stein da. Estrutura de implantação e distribuição de vídeo utilizando os conceitos de IPTV. 2012. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) - Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2012.
- HARTE, Lawrence. IPTV Basics: Technology, operation and services. Fuquay-varina: Althos, 2007. p. 412.
- ITU-T. FG IPTV-R-00 14, 2nd FG IPTV Meeting. Busan, Korea, 2006.
- KOWN, Soon-Kak; TAMHANKAR, A.; RAO, K. R. Overview of H.264; MPEG-4 part 10. Journal of Visual Communication & Image Representation, Revisão 17, p. 186-216, ago. 2005.
- LACERDA, Anselmo et al. Serviço de distribuição de conteúdo multimídia em uma plataforma IPTV. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2, 2007, João Pessoa. Connepi. João Pessoa: Ufp, 2007. P. 1-10.
- MEGRICH, Arnaldo. Televisão Digital: Princípios e técnicas. São Paulo. Editora Érica Ltda. 2009.
- NUNES, R. P. Codificação escalável de vídeo para recepção fixa no sistema brasileiro de televisão digital. 2009. 170 p. São Paulo: Dissertação (Mestrado) – USP, 2009.
- RIBEIRO, D.C. WebTV: Perspectivas para construções sociais coletivas. BOCC, 2009.
- RICHARDSON, I. E. G. H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video coding for next-generation multimedia. John Wiley & Sons Publishers, USA, 2003.
- SCHWARZ, H.; MARPE, D.; WIEGAND, T. Overview of the Scalable Video Coding extension of the H.264/AVC standard. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 17, No. 9, p. 1103-1120, set. 2007, invited paper.
- SEGALL, C.A.; SULLIVAN, G.J. Spatial scalability within the H.264/AVC scalable video coding extension. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 17, No. 9, p. 1121-1135. Set. 2007.
- SILVA, Eduardo Antônio Barros da; LOVISOLO, Lisandro. Aplicações e tendências da IPTV. T&c Amazônia, Rio de Janeiro, n., p.60-70, 12 out. 2007.
- SIMPSON, Wes. Video Over IP: IPTV, Internet Video, H.264, P2P, Web TV, and Streaming: A Complete Guide to Understanding the Technology. 2. ed. Burlington: Focal Press, 2008. 504 p.
- VELHO, A. P. M.; SÍPOLI A. F. C.; NARIAI, L. M.; VIEIRA, F. P.; SILVA, S. M. P.; MARIA, M. P. de. À procura de uma linguagem para o jornalismo na webtv: uma análise introdutória. V Congreso Iberoamericano de Periodismo en Internet, p.1-10, 2004.
- WALKO, J. I Love My IPTV. IEE Communications Engineer, p. 16-19, dez. 2005.
- WIEN, M.; CAZOULAT, R.; GRAFFUNDER, A.; HUTTER, A.; AMON, P. Real-time system for adaptative video streaming based on SVC. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 17, n. 9, p. 1227-1237, set. 2007.