CRISTIANE ZAKIMI CORREIA PINTO

**QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA DE VÍDEO EM APLICAÇÃO
INTERATIVA TRANSMÍDIA DE TELEVISÃO DIGITAL TERRESTRE**

São Paulo
2014

CRISTIANE ZAKIMI CORREIA PINTO

**Qualidade de Experiência de Vídeo em Aplicação
Interativa Transmídia de Televisão Digital Terrestre**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências

São Paulo
2014

CRISTIANE ZAKIMI CORREIA PINTO

**Qualidade de Experiência de Vídeo em Aplicação
Interativa Transmídia de Televisão Digital Terrestre**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências

Área de Concentração:
Sistemas Eletrônicos

Orientador:
Prof. Dr. Wagner Luiz Zucchi

São Paulo
2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 1 de dezembro de 2014

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Pinto, Cristiane Zakimi Correia

Qualidade de experiência de vídeo em aplicação interativa
transmídia de televisão digital terrestre / Cristiane Zakimi Correia
Pinto; orientador Wagner Luiz Zucchi. -- ed.rev. -- São Paulo, 2014.
45 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1. Televisão digital 2. Redes de computadores 3. Redes multimídia
4. Multimídia interativa 5. Processamento de sinais de vídeo I.
Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Sistemas Eletrônicos II. t.

Ao meu pai, Fernando, e a minha mãe, Yuriko,
que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas inúmeras bênçãos.

Aos meus pais, Fernando Correia Pinto e Yuriko Zakimi Correia Pinto, por todo amor e apoio incondicional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wagner Luiz Zucchi, por todo o incentivo, compreensão e paciência. Muito obrigada por todos os ensinamentos recebidos.

Aos colegas e professores do Programa de Pós Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que compartilharam seus conhecimentos e experiências.

À todas as pessoas que me ajudaram na realização deste trabalho.

“O que sabemos é uma gota, o que
ignoramos é um oceano.”

Isaac Newton

RESUMO

Ao mesmo tempo em que produções transmídia se tornam cada vez mais comuns, estão ocorrendo mudanças no Brasil que favorecem o aumento do uso de interatividade no dia a dia. Uma das mudanças fundamentais foi a adoção de um sistema de televisão digital terrestre que, em comparação ao sistema analógico, proporciona mais do que recepção de sons e imagens de melhor qualidade em televisores fixos: torna possível receber os sinais de televisão também em dispositivos móveis e portáteis, além de possibilitar a interatividade. Dada a importância da televisão como plataforma de mídia no país (a televisão está presente em 96,9% dos domicílios brasileiros), foi feito um estudo da Qualidade de Experiência (QoE) percebida, com base na avaliação da qualidade do vídeo obtido ao utilizar uma aplicação interativa transmídia de televisão digital terrestre. Foi desenvolvida uma aplicação interativa em linguagem NCL, linguagem declarativa padrão do Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre (ISDB-TB), onde um vídeo secundário é carregado via Internet em banda larga (por *streaming*) ao mesmo tempo em que o vídeo principal é recebido via radiodifusão. Criou-se um cenário de teste onde foi introduzida, de forma controlada, perda de pacotes IP enquanto o vídeo secundário era carregado, simulando o que poderia ocorrer na Internet. A qualidade dos vídeos obtidos em cada situação de perda de pacotes foi analisada segundo métricas objetivas e os dados encontrados permitiram inferir qual seria a QoE percebida em cada caso.

Palavras-chave: Televisão digital. ISDB-TB. Redes de computadores. Redes multimídia. Multimídia interativa. Processamento de sinais de vídeo. Qualidade de experiência.

ABSTRACT

At the same time that transmedia productions are becoming more common, legal changes are occurring in Brazil that bring an increase on daily interactivity use. One of that was the adoption of a terrestrial digital television system that, when compared to legacy analog broadcast systems, yields more than sounds and images of better quality, but also makes it possible to receive TV signals on portable devices and mobile television receivers besides enabling interactivity. Owing to the importance of television as a media platform in Brazil (it is present in 96,9% households) a analysis of Quality of Experience (QoE) was made, measuring the user perception with an interactive application of terrestrial digital television. Such an application was developed using NCL language, which is the standard declarative language of Brazilian digital television system (ISDB-TB). In that application a secondary video is loaded through a broadband Internet access simultaneously with the main video being received thru broadcasting. A test platform was created where IP packet losses was introduced in a controlled way affecting the secondary video, as it is expected to occur in a real network. Video quality was assessed for each loss level with objective metrics in order to compare QoE in each situation.

Keywords: Digital television. ISDB-TB. Computer network. Multimedia networks. Interactive multimídia. Video signals processing. Quality of Experience.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAC	Advanced Audio Coding
ATSC	Advanced Television Systems Committee
BST-OFDM	Band Segmented Transmission – Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DCT	Discrete Cosine Transform
DSM-CC	Digital Storage Media – Command and Control
DTMB	Digital Terrestrial Multimedia Broadcast
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial
DVD	Digital Versatile Disc
EBU	European Broadcast Union
FR	Full Reference
HbbTV	Hybrid broadcast broadband TV
IP	Internet Protocol
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial
ISDB-TB	Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial Brazil
ITU	International Telecommunications Union
ITU-T	International Telecommunications Union - Telecommunication Standardization Sector
MPEG	Moving Picture Experts Group
MSU	Moscow State University
NCL	Nested Context Language
NHK	Nippon Hōsō Kyōkai (Japan Broadcasting Corporation)
NR	No-Reference
ONU	Organização das Nações Unidas
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
QoE	Quality of Experience
RR	Reduced Reference
SBTVD-T	Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre
SSIM	Structural SIMilarity
STB	Set-Top-Box
TS	Transport Stream

TV	Televisão
UTP	Unshielded Twisted Pair
VQM	Video Quality Metric

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
1.1. Objetivos.....	11
1.2. Relevância	11
1.3. Estrutura da Dissertação	12
2. Fundamentação Teórica	13
2.1. Transmídia	13
2.2. Televisão Digital Terrestre	16
2.2.1. Sistemas de TV Digital.....	17
2.2.2. Carrossel de Dados	18
2.2.3. <i>Middleware</i>	19
2.2.4. Interatividade	20
2.3. Qualidade de Experiência.....	21
2.4. Métodos de Avaliação de Qualidade de Vídeo	21
2.4.1. PSNR	22
2.4.2. SSIM.....	22
2.4.3. VQM.....	23
2.5. Análise do Estado da Arte	24
3. Ferramentas Existentes.....	27
3.1. Ferramentas para Televisão Digital.....	27
3.2. Ferramenta para Avaliação Objetiva de Vídeo.....	28
4. Ambiente de Desenvolvimento	29
4.1. Plataforma de Teste	30
5. Metodologia	32
6. Resultados Obtidos.....	35
7. Conclusões	37
8. Referências	38
Apêndice A – Aplicação interativa.....	42

1. Introdução

Ao mesmo tempo em que produções envolvendo várias plataformas de mídia se tornam cada vez mais comuns, estão ocorrendo mudanças no Brasil que favorecem o aumento da interatividade no dia a dia, a saber:

- a ampliação do acesso à Internet em banda larga no país (SECRETARIA-EXECUTIVA DO COMITÊ GESTOR DO PROGRAMA DE INCLUSÃO DIGITAL, 2010); e
- a mudança do sistema de transmissão de televisão terrestre, de analógico para digital com interatividade (BRASIL, 2006) – entende-se por televisão terrestre a transmissão de sinais de televisão por radiodifusão, de forma aberta a toda população e gratuita, distinguindo-se da televisão via cabo ou via satélite.

Considerando a Internet em banda larga como principal canal de interatividade, uma das possibilidades previstas do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T) conforme a norma brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011b), foi feito o estudo da Qualidade de Experiência (QoE) percebida, com base na avaliação da qualidade do vídeo obtido ao utilizar uma aplicação interativa transmídia de televisão digital terrestre e, desse modo, foi avaliada a viabilidade de se utilizar a Internet em banda larga como canal de interatividade.

A aplicação interativa foi desenvolvida em linguagem NCL (*Nested Context Language*), linguagem declarativa padrão do SBTVD-T. Na aplicação interativa, ao mesmo tempo em que o vídeo principal (vídeo da programação da emissora) é recebido via radiodifusão, outro vídeo (um vídeo secundário) é carregado via rede IP por *streaming*.

Criou-se um cenário de teste onde foi introduzida, de forma controlada, perda de pacotes na rede IP enquanto o vídeo secundário era carregado, simulando o que poderia ocorrer na Internet. Tomou-se por premissa que o sinal principal não sofreria interferências, mantendo sua qualidade original. A qualidade dos vídeos obtidos em cada situação de perda de pacotes foi analisada segundo métricas objetivas e os dados encontrados permitiram inferir qual seria a QoE percebida em cada caso.

1.1. Objetivos

Este trabalho teve por objetivo estudar a QoE baseada na avaliação da qualidade do vídeo recebido, segundo métricas objetivas, por meio de uma aplicação interativa transmídia de televisão digital terrestre e assim verificar a viabilidade de se utilizar a Internet em banda larga como canal de interatividade.

Para tanto, procurou-se utilizar ferramentas de desenvolvimento, ferramentas de exibição, programas utilitários e emuladores disponíveis gratuitamente na Internet.

1.2. Relevância

Na forma ideal de narrativa transmídia, é necessário saber utilizar o melhor de cada uma das plataformas de mídia envolvidas, para que as mesmas se completem (ARNAULT, 2011).

No Brasil, pode-se afirmar que a televisão é uma das mais importantes plataformas de mídia. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (G1 ECONOMIA, 2012), a televisão está presente em 96,9% dos domicílios brasileiros, índice que supera o número de domicílios com geladeira (95,8%) – apenas o fogão está em mais lares que a televisão (98,6%).

Apesar do pouco tempo desde o início das transmissões de estações de TV digital terrestre (as primeiras transmissões em caráter comercial ocorreram em dezembro de 2007, na cidade de São Paulo), os sinais do SBTVD-T já cobrem 46,42% dos domicílios brasileiros, o que equivale a 46,80% da população (AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, 2012).

Considerando o número potencial de usuários de TV digital terrestre, a utilização de aplicações interativas incluindo esta plataforma de mídia é uma ajuda importante para a execução de um projeto transmídia. Outro aspecto relevante é a diminuição da espera do carregamento da aplicação e dos dados correspondentes quando se utiliza um canal de retorno como a Internet banda larga, pois tempo é um fator crítico para o sincronismo de aplicações com a programação.

Sendo assim, este trabalho contribui com o estudo de como seria a QoE do usuário final ao utilizar uma aplicação envolvendo televisão digital terrestre e a Internet banda larga.

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos, conforme segue.

- Capítulo 1 – Introdução: os objetivos do trabalho são apresentados e é mostrada a relevância do tema estudado.
- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: são apresentados os conceitos referentes aos principais pontos que formam a base teórica deste trabalho.
- Capítulo 3 – Ferramentas Existentes: são apresentadas as principais ferramentas de autoria e de exibição atualmente disponíveis para se desenvolver aplicações interativas em televisão digital e também para se obter uma avaliação objetiva de vídeo.
- Capítulo 4 – Ambiente de Desenvolvimento: é feita a descrição do cenário de teste e são explicados os critérios de avaliação.
- Capítulo 5 – Metodologia: são descritos os procedimentos utilizados para obter os resultados apresentados neste trabalho.
- Capítulo 6 – Resultados Obtidos: são apresentados os resultados das simulações realizadas.
- Capítulo 7 – Conclusões: são feitas as considerações finais, mostrando as principais contribuições do presente trabalho.
- Capítulo 8 – Referências: são relacionadas as referências utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.
- Apêndice A – Aplicação Interativa: código da aplicação interativa utilizada neste trabalho.

2. Fundamentação Teórica

Tem-se, a seguir, os conceitos referentes aos principais pontos que formam a base teórica deste trabalho.

2.1. Transmídia

Nos últimos anos, tem-se falado muito em multimídia e crossmídia (ou, no original em inglês, *crossmedia*). Mais recentemente, com a popularização da Internet e o surgimento de novas tecnologias e meios que facilitaram a interação entre as pessoas (como as redes sociais), o conceito de crossmídia evoluiu, surgindo o termo transmídia, cunhado por Henry Jenkins no livro “A Cultura da Convergência” (GALO, 2010; JENKINS, 2009).

Cabe esclarecer a utilização de cada termo (ARNAULT, 2011):

- multimídia é o termo mais utilizado para definir a existência de mais de um meio de comunicação do mesmo conteúdo, praticamente uma cópia do conteúdo em diferentes mídias (como exemplo, tem-se uma minissérie produzida e exibida originalmente na televisão e que depois é lançada em DVD e em *blu-ray*);
- crossmídia é a possibilidade de um conteúdo utilizar concomitantemente diferentes tipos de plataformas para compartilhar alguma coisa ou ideia, sendo que não há conexão entre as partes da história, que são desenroladas em cada uma das plataformas (um exemplo seria um filme lançado no cinema que dá origem a um videogame e a uma revista em quadrinhos com os mesmos personagens);
- transmídia é o termo utilizado quando uma história “desenrola-se através de múltiplas plataformas de mídia, com cada novo texto contribuindo de maneira distinta e valiosa para o todo” (JENKINS, 2009, p. 138).

É importante salientar que o termo “multimídia” no presente estudo refere-se a múltiplas plataformas de mídia, num conceito da área de Comunicação, não devendo ser

confundido com o conceito da área de Redes de Computadores, onde “multimídia” é a combinação de áudio e vídeo num mesmo sinal.

Na figura 1, a seguir, é mostrada uma comparação visual entre conexões de conteúdos multimídia, crossmídia e transmídia.

Figura 1 – Visualização de conexões de conteúdos multimídia, crossmídia e transmídia

Fonte: ARNAULT, 2011

Como exemplo de transmídia tem-se o fenômeno **Matrix**, com três filmes exibidos no cinema (sendo o primeiro, *The Matrix*, produzido em 1999), uma coletânea de 90 minutos de curtas-metragens de animação ambientados no universo de Matrix (*Animatrix*, de 2003), uma série de revistas em quadrinhos e dois jogos (o videogame *Enter the Matrix* e um jogo *multiplayer online* ambientado no universo de Matrix). Em Matrix, várias situações que ocorrem numa plataforma são citadas e fazem parte da história em outra plataforma:

[...] no curta de animação *Final Flight of the Osiris* (2003), a protagonista, Jue, sacrifica a própria vida para entregar uma mensagem à tripulação do Nabucodonosor. A carta contém informações sobre as máquinas que abrem caminho em direção a Zion. Nos momentos finais do anime, Jue joga a carta numa caixa de correio. Na abertura do game *Enter the Matrix*, a primeira missão do jogador é resgatar a carta do correio e levá-la a nossos heróis. E as cenas de abertura de *Matrix Reloaded* mostram os personagens discutindo a ‘última transmissão de Osiris’. Para as pessoas que veem apenas o filme, as fontes de informação permanecem incertas, mas quem tem a experiência transmídia desempenha um papel ativo na entrega da carta e pode rastrear sua trajetória por três mídias diferentes (JENKINS, 2009, p. 145-146).

Para que a compreensão seja coesa pelos que acompanham a narrativa pelas diversas plataformas, existem “pistas migratórias”. Estas pistas são elementos da narrativa que se repetem ou são referenciadas em diferentes tempos, de modo a fazer com que haja o reconhecimento da coerência do universo ficcional criado (TRENTO, 2012). A figura 2 ilustra a movimentação de uma pista migratória dentro da narrativa transmidiática de *Matrix*.

Figura 2 – Movimentação de uma pista migratória dentro da narrativa transmidiática

Fonte: TRENTTO, 2012

Outro exemplo de transmídia é a *Shark Week* (Semana do Tubarão) apresentada pelo canal de TV a cabo Discovery (MEIRELLES, 2010). Neste caso, as plataformas utilizadas foram a televisão (documentário sobre o estudo de tubarões e conscientização de conservação do oceano) e o computador, através do qual se podia acessar o *site* do programa pela Internet onde estavam disponíveis guias sobre tubarões, vídeos, *links*, jogos, além da opção de assistir ao programa da televisão junto com um especialista (“*watch with an expert*”) utilizando a ferramenta *Cover It Live*, que permite conversa via texto *online* minuto a minuto e interação ao vivo (vide figura 3). Nesta última opção, verifica-se a utilização simultânea das plataformas de mídia, expandindo o conteúdo.

Figura 3 – Parte da página na Internet do programa Shark Week

Fonte: Discovery Channel – página do programa Shark Week

Em produções transmídia, cada plataforma dá sua contribuição à narrativa, incentivando o engajamento da audiência. A audiência é que faz a ligação entre as plataformas, colaborando com o desenvolvimento da história.

2.2. Televisão Digital Terrestre

Entende-se por televisão terrestre a transmissão de sinais de televisão por radiodifusão, de forma aberta a toda população e gratuita, distinguindo-se da televisão via cabo ou via satélite.

As diferenças entre os sistemas de televisão terrestre analógico e digital são bastante significativas. No caso do Brasil, com a televisão digital o telespectador passa a ter uma qualidade de vídeo e áudio muito superior (em comparação com a televisão analógica), recepção com qualidade em dispositivos móveis e portáteis, possibilidade técnica de multiprogramação e interatividade.

Cabe esclarecer que a multiprogramação, até a data do presente trabalho, encontra-se restrita a emissoras exploradas diretamente pela União Federal. Conforme a Norma Geral para Execução dos Serviços de Televisão Pública Digital (BRASIL, 2009), a multiprogramação não é permitida a emissoras comerciais.

Soares (2009) descreve um sistema de TV digital como um sistema típico cliente/servidor. Na figura 4, a parte de difusão e acesso (lado esquerdo) corresponde a estação radiodifusora, ou seja, o servidor, e o terminal de acesso (lado direito) corresponde ao cliente, ou seja, ao ambiente do telespectador. O canal de interatividade indicado na figura 4 não é obrigatório.

Na TV digital, um programa é composto de um áudio e de um vídeo principal, podendo conter também dados adicionais. Essa possibilidade de transmitir dados, incluindo aplicações que relacionem os vários objetos de mídia definidos nestes dados, torna viável o oferecimento de serviços interativos. O áudio e o vídeo são entregues aos codificadores digitais que geram os respectivos fluxos de vídeo principal e áudio principal comprimidos. Estes fluxos, juntamente com os fluxos de dados, serão multiplexados em um único sinal denominado fluxo de transporte (TS - *Transport Stream*). Em seguida, o TS é modulado para

um canal de transmissão, em frequência, e transmitido. Na recepção, o sinal é recebido e demodulado, sendo entregue ao demultiplexador, que separa os fluxos de áudio principal e vídeo principal dos fluxos de dados. Os fluxos de dados são, então, entregues para processamento. Caso seja utilizado, o canal de interatividade pode prover novos dados para processamento (SOARES, 2009).

Figura 4 – Sistema de TV digital terrestre com canal de interatividade

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011b

2.2.1. Sistemas de TV Digital

Os sistemas de TV digital são compostos por um conjunto de padrões que tornam possíveis os procedimentos para o processamento, transmissão e recepção de sinais digitais. Atualmente, no mundo, tem-se os seguintes sistemas de TV digital: o sistema americano ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), o sistema europeu DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*), o sistema japonês ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial*), o sistema chinês DTMB (*Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*), além do sistema adotado no Brasil, que é o sistema japonês com modificações ISDB-TB (*Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial Brazil*).

Quando da escolha do sistema de TV digital no Brasil, foi feita uma análise dos três sistemas existentes na época (ATSC, DVB-T e ISDB-T) para averiguar qual sistema seria o mais adequado a nossa realidade. Após testes e estudos, em 2006, foi definido o sistema ISDB-T como base do Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre (SBTVD-T) (BRASIL, 2006).

Tem-se na figura 5 uma visão geral da arquitetura do SBTVD-T.

Figura 5 – Visão geral da arquitetura do SBTVD-T

Fonte: Autoria própria

O SBTVD-T tem como uma importante inovação em relação ao ISDB-T a utilização do padrão de compressão de vídeo H.264, também conhecido como MPEG-2 AVC (*Advanced Video Coding*). A capacidade de compressão do H.264/AVC é superior ao MPEG-2, mantendo-se um vídeo de boa qualidade.

Já a forma como os dados e as informações audiovisuais devem ser multiplexadas num único fluxo para os sistemas de TV digital terrestre brasileiro e japonês são semelhantes. Para estes sistemas, é utilizado o MPEG-2 System. O MPEG-2 especifica os mecanismos para envio de dados com base temporal. O fluxo de transporte pode, então, conter vários programas, cada qual podendo ter uma base de tempo diferente.

2.2.2. Carrossel de Dados

O objetivo do carrossel de dados é permitir a transmissão de dados, como aplicativos, que possam ser processados pelo receptor. Como na televisão a transmissão é unidirecional

(da emissora para o receptor), e existe a possibilidade do telespectador ligar a televisão ou sintonizar o canal da emissora quando o aplicativo já começou a ser transmitido, foi criado o protocolo DSM-CC (*Digital Storage Media - Command and Control*).

O DSM-CC faz parte do MPEG-2 *System*, e transmite os dados de forma cíclica, como um carrossel. Assim, o receptor pode receber os dados assim que o canal for sintonizado e aguardar até receber toda a informação para, então, disponibilizar o aplicativo para o telespectador (vide figura 6).

Figura 6 – Carrossel de dados na TV digital

Fonte: Autoria própria

2.2.3. Middleware

O *middleware* é uma camada intermediária entre os aplicativos comuns do sistema de TV digital (tais como guias eletrônicos de programação e serviços disponibilizados pela emissora) e a parte definida pelo fabricante do receptor, que não é padronizada (como o sistema operacional utilizado pelo equipamento). O *middleware* permite que aplicações e serviços possam ser acessados sempre de uma mesma forma, independente da plataforma onde são executadas.

Tem-se como requisitos de um *middleware* (SOARES, 2009):

- a) suporte ao sincronismo de uma forma geral e suporte a interação do usuário;
- b) suporte à adaptação ao conteúdo e da forma como um conteúdo é exibido;

- c) suporte a múltiplos dispositivos de exibição;
- d) suporte à edição ao vivo (em tempo de exibição);
- e) suporte à definição de relacionamentos de sincronismo espacial e temporal separada da definição do conteúdo dos objetos relacionados.

No SBTVD-T, foi adotado o *Ginga* (NCL+Lua, no ambiente declarativo, e Java, no ambiente procedural).

2.2.4. Interatividade

É preciso lembrar que, atualmente, a interatividade através da TV digital é diferente da experimentada ao utilizar o computador e acessar a Internet, por exemplo. Um computador possui contexto diferente de uma televisão com receptor de TV digital.

Um computador possui grande capacidade de processamento e armazenamento de dados, muitas vezes é operado por pessoas que possuem certo conhecimento técnico para instalar programas etc.

Já na TV digital interativa, o receptor possui recursos limitados, pouca memória, capacidade de armazenamento pequena ou inexistente, o usuário não sabe e nem poderia instalar componentes no equipamento.

Assim sendo, as aplicações desenvolvidas para a TV digital interativa devem considerar as limitações do sistema e serem adequadas ao contexto.

Cabe esclarecer que a interatividade oferecida pela TV digital terrestre difere da encontrada nas chamadas “TVs conectadas”, já que nestas últimas as aplicações que dão acesso aos conteúdos interativos (vídeos, ferramentas para redes sociais, comunicação etc.) são parte de soluções proprietárias fruto de parceria entre provedores de conteúdo e fabricantes de aparelhos de televisão (ANGELUCI, 2011).

2.3. Qualidade de Experiência

A Qualidade de Experiência (QoE) pode ser definida como um parâmetro dependente do ponto de vista do usuário, que alia sensações e percepções pessoais para julgar se a QoE é satisfatória ou não (JAIN, 2004).

No presente trabalho, considerou-se que a QoE é baseada na avaliação da qualidade de vídeo recebido ao se interagir com o aplicativo de TV digital.

2.4. Métodos de Avaliação de Qualidade de Vídeo

A avaliação da qualidade de um determinado vídeo pode ser feita através de métricas subjetivas ou objetivas.

Ao se avaliar um vídeo por métricas subjetivas, o julgamento é baseado na percepção humana. Já as métricas objetivas utilizam modelos matemáticos para estimar a opinião do usuário.

Testes para avaliação da qualidade de um vídeo por métricas subjetivas demandam muito tempo. Existem estudos para o desenvolvimento de programas de computador que estimem a qualidade subjetiva de sequências de teste utilizando a recomendação ITU-T P.910 (métodos de avaliação subjetiva de vídeo para aplicações multimídia), que é apropriada para testar diferentes aplicações multimídia (MILIČEVIĆ, 2012).

As métricas objetivas podem ser classificadas conforme a disponibilidade do vídeo original. São chamadas FR (*Full Reference*) quando o vídeo original (sem degradação) é completamente disponível, RR (*Reduced Reference*) quando o vídeo original não é totalmente disponível e NR (*No-Reference*) quando o vídeo original não é disponível (BEGAZO, 2011).

A análise de vídeo feita neste trabalho é do tipo FR, uma vez que o vídeo original completo e o vídeo degradado são comparados.

Para este trabalho, foram utilizadas as seguintes métricas objetivas para avaliação dos vídeos obtidos pela aplicação interativa de TV digital:

- PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*);
- SSIM (*Structural SIMilarity*);
- VQM (*Video Quality Metric*).

2.4.1. PSNR

A métrica PSNR define a relação entre a energia máxima de um sinal e o ruído que afeta a representação do sinal entre os quadros do vídeo original e do vídeo degradado (BEGAZO, 2011):

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{L^2}{\frac{1}{MNT} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T [I(m,n,t) - \hat{I}(m,n,t)]^2} \quad (1)$$

Em (1), L é a faixa dinâmica de valores de pixel; M e N são, respectivamente, a largura e a altura do vídeo original. T é o número de quadros contendo as sequências; $I(m,n,t)$ e $\hat{I}(m,n,t)$ representam, respectivamente, o pixel na posição (m,n) de um quadro t para o vídeo original e para o vídeo degradado.

A faixa de valores da métrica PSNR vai de 0 a 100 (o melhor valor para PSNR é 100).

2.4.2. SSIM

Esta métrica é baseada no modelo visual humano e assume que as imagens são altamente estruturadas, e estas dependências contêm informações muito importantes relativas à estrutura do objeto. Compara cada quadro das sequências de vídeo original e vídeo degradado para quantificar a degradação sofrida.

A métrica SSIM estima a similaridade entre o vídeo original e o vídeo degradado, comparando a luminosidade $l(x,y)$, o contraste $c(x,y)$ e a estrutura $s(x,y)$ do vídeo original x e do vídeo degradado y , sendo representada pela seguinte equação (BEGAZO, 2011):

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (2)$$

$$C_1 = (K_1 L)^2 \quad (3)$$

$$C_2 = (K_2 L)^2 \quad (4)$$

$$L = 2^{\#bits/quadro} - 1 \quad (5)$$

$$K_1 \ll 1 ; K_1 = 0,001 \text{ (valor usual)} \quad (6)$$

$$K_2 \ll 1 ; K_2 = 0,03 \text{ (valor usual)} \quad (7)$$

Em (2), μ_x e μ_y é a media de x e y , σ_x^2 e σ_y^2 é a variância de x e y , respectivamente; σ_{xy} é a covariância de x e y ; C_1 e C_2 são constantes que estabilizam a divisão com o denominador pico, evitando instabilidades quando o denominador tende a zero. L é a faixa dinâmica de valores de pixel.

A faixa de valores da métrica SSIM vai de 0 a 1, sendo 1 o melhor valor possível.

2.4.3. VQM

Este método utiliza a transformada discreta de cosseno (DCT), e tem como entradas o vídeo original e o vídeo degradado para avaliar a qualidade de vídeo (RODRIGUEZ, 2012).

Esta métrica baseia-se no modelo de sensibilidade ao contraste espacial-temporal humano simplificado (XIAO, 2000).

A distorção de um vídeo comprimido é calculada em quatro passos (VRANJES, 2007):

1. Para cada quadro é calculada a transformada discreta de cosseno (DCT) para blocos de 8 x 8 pixels $b_i(x, y, t)$ do quadro do vídeo original $p(x, y, t)$, e para blocos $b_i'(x, y, t)$ do quadro do vídeo degradado $p'(x, y, t)$.

$$DCTb_i(u, v, t) = DCT(b_i(x, y, t)) \quad (8)$$

$$DCTb'_i(u, v, t) = DCT(b'_i(x, y, t)) \quad (9)$$

2. O modelo converte coeficientes DCT para valores de contraste local $LC_i(u, v, t)$ usando o componente DC de cada bloco. Do mesmo modo, obtêm-se $LC'_i(u, v, t)$ do vídeo degradado.

$$LC_i(u, v, y) = \frac{DCTb_i(u, v, t) \cdot \left(\frac{DC_i}{1024}\right)^{0,65}}{DC_i} \quad (10)$$

$$DC_i = DCTb_i(0, 0, t) \quad (11)$$

3. O modelo converte $LC_i(u, v, t)$ e $LC'_i(u, v, t)$ para apenas os valores das diferenças perceptíveis $JND_i(u, v, t)$ e $JND'_i(u, v, t)$, pela utilização da função de sensibilidade ao contraste espacial estática e dinâmica.
4. Os coeficientes das sequências original e degradada são subtraídos para produzir uma diferença de valores $Diff_i(t)$.

$$Dist_{Média} = 1000 \cdot média \left(média(Diff_t(t)) \right) \quad (12)$$

$$Dist_{Max} = 1000 \cdot max \left(max(Diff_t(t)) \right) \quad (13)$$

$$VQM = Dist_{Média} + 0,005 \cdot Dist_{Max} \quad (14)$$

Quanto mais alta a qualidade do vídeo, mais baixo o valor de VQM, sendo 0 o melhor valor possível.

2.5. Análise do Estado da Arte

Um ponto de destaque para viabilizar aplicações interativas transmídia que utilizam as plataformas de Internet e televisão digital é a integração entre a radiodifusão e Internet.

A *International Telecommunication Union* (ITU), braço da Organização das Nações Unidas (ONU) para a padronização global de tecnologias ligadas à informação e comunicação, tem estudado propostas para uma série de recomendações para serviços interativos de TV digital que integrem as tecnologias de radiodifusão e transmissão via Internet em banda larga.

Recentemente, em janeiro de 2012, foi aprovada a Recomendação ITU-T J.205 que define requisitos para um arcabouço de controle de aplicação utilizando televisão digital via radiodifusão e Internet em banda larga integrados, com aplicação em televisão digital interativa (TELECOMMUNICATION STANDARTIZATION SECTOR OF ITU, 2012).

Estudos no sentido de integrar radiodifusão e Internet em banda larga têm sido feitos principalmente na Europa e no Japão.

A *European Broadcast Union* (EBU) tem feito estudos e definido requerimentos para viabilizar este sistema, chamado de HbbTV (*Hybrid broadcast broadband TV*). O primeiro receptor de TV digital compatível com a especificação HbbTV foi lançado na Alemanha em 2009 (MERKEL, 2011).

No Japão, a emissora japonesa NHK vem desenvolvendo um sistema semelhante, chamado de Hybridcast, já utilizando o conceito de segunda tela: além de acompanhar a programação e interagir com a televisão (tela principal), pode-se interagir e ter mais informações numa segunda tela, como telefone celular ou tablet (TAKAYUKI, 2011).

A maioria dos trabalhos sobre interatividade na televisão digital terrestre baseia-se em uma plataforma de mídia, normalmente a televisão (receptor fixo). Há também vários estudos considerando a interatividade em dispositivos móveis, normalmente o aparelho de telefone celular. Em menor número, verificaram-se pesquisas utilizando o conceito de crossmídia. Como exemplos significativos, pode-se citar Gabos (2009), Hirayama (2006), Miyamaru (2010), Perozzo (2011), Pinto (2011).

Já sobre transmídia, os trabalhos vistos tratam da parte conceitual e do conteúdo da narrativa, para proporcionar o envolvimento do usuário. Exemplos: Arnault (2011), Blumental (2011).

Acompanhando essa tendência de convergência, vários estudos estão sendo feitos para avaliar a qualidade de vídeo recebida pelo usuário final, quer seja considerando vídeos sobre

rede IP (BEGAZO, 2011; RODRIGUEZ, 2012), quer seja considerando a transmissão de vídeos por radiodifusão (RODRIGUEZ, 2012).

3. Ferramentas Existentes

Neste capítulo tem-se um panorama das ferramentas existentes para desenvolvimento de aplicações interativas envolvendo televisão digital terrestre e também para se obter uma avaliação objetiva de vídeo.

3.1. Ferramentas para Televisão Digital

Em GINGA-NCL podem ser encontradas ferramentas para a elaboração de aplicações em TV Digital.

Para auxiliar o desenvolvimento das aplicações em TV digital e facilitar a escrita do código, existem atualmente duas ferramentas principais de autoria que são livres e gratuitas:

- Composer (ferramenta multiplataforma para o desenvolvimento de aplicações interativas em NCL); e
- NCL Eclipse (*plug-in* para suporte a NCL no ambiente Eclipse).

Já as ferramentas de exibição são utilizadas para emular um receptor de TV digital. Existem atualmente duas ferramentas que são livres e gratuitas:

- Ginga-NCL Virtual STB (máquina virtual Linux para VMWare, contendo Ginga-NCL C++); e
- Ginga4Windows (exibidor Ginga C++ com interface gráfica, para ambiente Windows).

Cabe observar que estas ferramentas não estão totalmente aderentes às Normas Brasileiras de Televisão Digital (há funcionalidades aprovadas em norma que ainda não estão implementadas nas ferramentas de exibição).

3.2. Ferramenta para Avaliação Objetiva de Vídeo

Em GRAPHICS & MEDIA LAB (VIDEO GROUP) é possível obter a ferramenta MSU Video Quality Measurement Tool que determina a qualidade de vídeo segundo métricas objetivas. A ferramenta é gratuita para utilização em vídeos com definição padrão. Para vídeos em alta resolução, é necessário comprar a licença da versão PRO.

4. Ambiente de Desenvolvimento

O ambiente de desenvolvimento utilizado neste trabalho teve por objetivo proporcionar a interatividade entre as plataformas televisão e computador, que são interligadas com a emissora (geradora da programação). Para tanto, têm-se as seguintes premissas:

- i. a televisão possui receptor de sinais de TV digital com interatividade, conforme a norma brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008);
- ii. o canal de interatividade da televisão é a Internet em banda larga;
- iii. a emissora de TV possui acesso à Internet em banda larga;
- iv. não há interferência na recepção do vídeo principal;
- v. a QoE do usuário está relacionada apenas com a qualidade do vídeo recebido.

No cenário considerado, a emissora envia a aplicação interativa junto com os sinais de áudio e vídeo, via carrossel de dados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), através de radiodifusão. A televisão recebe os dados, apresenta a programação na tela e a possibilidade de interação para o usuário (telespectador). O usuário pode, então, interagir e utilizar o canal de interatividade (chamado também de canal de retorno), que é a Internet em banda larga (vide figura 7).

Para minimizar a espera do carregamento de dados que compõe a aplicação interativa, parte desses dados, ao invés de ser transmitida por meio de radiodifusão, será acessada via Internet por meio do canal de interatividade. Atendendo à norma brasileira, o conteúdo da Internet seria requisitado pela aplicação em execução (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Como parte da interatividade, considera-se que a emissora tem a possibilidade de encaminhar informações personalizadas (como o resultado de uma enquete ou avisos sobre a programação) para o usuário. Isso pode ocorrer através do envio de um *e-mail*, que leva a utilização do computador, ou através de dados, via Internet, para a televisão.

A interação computador/emissora dá-se por meio da Internet, com acesso a portais, ferramentas e aplicativos apropriados para essa plataforma de mídia.

Figura 7 – Cenário a ser analisado pela plataforma de teste

Fonte: Autoria própria

Conforme resposta recebida do usuário pelo canal de retorno, são selecionados os dados a serem enviados via Internet de volta ao usuário. Estes dados podem manter o usuário na mesma plataforma de mídia ou levá-lo a utilizar outra plataforma.

Com o ambiente descrito, as plataformas de mídia consideradas são interligadas, criando a estrutura necessária para que o usuário possa atravessar os vários meios e ter uma experiência transmídia completa.

4.1. Plataforma de Teste

A plataforma de teste da aplicação foi composto por dois computadores conectados via cabo UTP, sendo

- um computador representando a emissora;

- um computador representando o aparelho de televisão digital para utilização do usuário.

No computador que representa a emissora (sistema operacional Windows), foi utilizado o software WampServer (WAMPSEVER) para transformá-lo em um servidor *web* com o vídeo secundário a ser acessado. Neste computador também foi instalado o software SoftPerfect Connection Emulator (SOFTPERFECT) para introduzir a perda de pacotes do canal de comunicação.

No computador que representa o aparelho de televisão digital (sistema operacional Windows) foram instalados:

- emulador de receptor de TV digital com interatividade (GINGA-NCL);
- software de gravação de vídeo CamStudio (CAMSTUDIO);
- software de edição de vídeo AVI Trimmer (SOLVEIGMM);
- ferramenta MSU Video Quality Measurement Tool (GRAPHICS & MEDIA LAB (VIDEO GROUP)).

O vídeo principal foi inserido no computador que representa o receptor de televisão digital, pois considerou-se que não haveria interferências em sua recepção.

Com este cenário montado (Fig. 8), foi possível utilizar a aplicação de TV digital interativa, simular várias condições de perda de pacotes e avaliar a qualidade do vídeo recebido.

Figura 8 – Plataforma de teste

Fonte: Autoria própria

5. Metodologia

Para implementar a plataforma de teste proposta, o primeiro passo foi a elaboração de uma aplicação interativa transmídia que utilizasse as plataformas de mídia consideradas neste trabalho (o código da aplicação encontra-se no Apêndice A). A aplicação foi escrita na linguagem NCL (SOARES, 2009), que é obrigatória para receptores de TV digital *full-seg* (como o da televisão) e *one-seg* (como o do telefone celular). Vale ressaltar que a linguagem Java, apesar de obrigatória nos receptores *full-seg*, é opcional nos receptores *one-seg* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). São descritos os procedimentos utilizados para obter os resultados apresentados neste trabalho.

A aplicação interativa foi utilizada por meio de emulador de receptor de TV digital, disponível gratuitamente na Internet (GINGA-NCL).

Inicialmente, a aplicação recebe o vídeo principal e apresenta um botão vermelho no canto superior esquerdo da tela, convidando o espectador/usuário a interagir (Fig. 9). Selecionando-se a tecla correspondente ao botão vermelho, um segundo vídeo também é mostrado na tela, juntamente com um botão verde. Este segundo vídeo é o vídeo secundário, recebido via canal de interatividade (Fig. 10). Selecionando-se a tecla correspondente ao botão verde, o vídeo secundário é interrompido e o vídeo principal volta a ocupar toda a tela (Fig. 11).

Figura 9 – Tela inicial da aplicação interativa

Fonte: Autoria própria

Figura 10 – Tela da aplicação interativa com o vídeo secundário

Fonte: Autoria própria

Figura 11 – Tela da aplicação interativa após interrupção do vídeo secundário

Fonte: Autoria própria

Os vídeos com e sem degradação foram gravados por meio do software de gravação de vídeo CamStudio e utilizou-se o software de edição de vídeo AVI Trimmer para fazer com que os vídeos tivessem a mesma duração e ponto inicial.

Os vídeos com e sem degradação foram inseridos na ferramenta MSU Video Quality Measurement Tool, que faz o cálculo de métricas objetivas para a medição de qualidade de

vídeo. A ferramenta é gratuita para uso em vídeos de definição padrão, sendo necessário adquirir uma licença para utilização em vídeos de alta resolução.

A degradação do vídeo secundário foi controlada por meio do software SoftPerfect Connection Emulator, que provocou a perda de pacotes do canal de comunicação entre os computadores da plataforma de teste.

Assim, foram feitas as medidas das métricas objetivas PSNR, SSIM e VQM.

6. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 1 abaixo. Os gráficos correspondentes a cada métrica são mostrados em Fig. 12, Fig. 13 e Fig. 14.

Tabela 1 – Efeitos de perda de pacotes na qualidade do vídeo recebido

Perda de Pacotes (%)	PSNR (dB)	SSIM	VQM
1	34,20398	0,98952	3,31409
2	33,75884	0,98918	3,75706
3	33,31370	0,98885	4,20004
4	33,27305	0,98731	4,99218
5	33,23240	0,98577	5,78433
6	33,00510	0,98130	6,00716
7	32,77781	0,97684	6,22999
8	32,10996	0,97564	6,42314
9	31,44211	0,97445	6,61630

Figura 12 – Gráfico PSNR

Fonte: Autoria própria

Figura 13 – Gráfico SSIM

Fonte: Autoria própria

Figura 14 – Gráfico VQM

Fonte: Autoria própria

7. Conclusões

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que a qualidade dos vídeos resultantes para cada situação de perda de pacotes está como esperado, ou seja, quanto maior a perda de pacotes, pior é a qualidade do vídeo apresentado para o usuário e, portanto, pior a QoE.

Também verifica-se que a qualidade do vídeo neste estudo, com a aplicação de TV digital, assemelha-se ao caso de receber o vídeo via streaming estudado por Begazo (2011).

Analisando a métrica PSNR, a perda de qualidade de vídeo encontrada foi diretamente proporcional a perda de pacotes até o valor de 3% de perda de pacotes. Entre 3% e 5% de perda de pacotes, a qualidade de vídeo permaneceu quase a mesma, tornando a piorar com valores superiores a 5%.

Ao analisar o gráfico de valores SSIM, verifica-se que em até 3% de perda de pacotes a qualidade do vídeo pouco mudou. Entre 3% e 5% de perda de pacotes, a qualidade do vídeo deteriorou vagarosamente e, para valores acima de 5%, a qualidade do vídeo caiu rapidamente.

Para a métrica VQM, a perda da qualidade do vídeo aumentou quase linearmente com o aumento da perda de pacotes.

Considerando as três métricas utilizadas, como mostram os gráficos, pode-se considerar que com menos de 3% de perda de pacotes o vídeo secundário ainda mostra um QoE compatível com a aplicação considerada.

Sendo assim, é possível receber um vídeo secundário e usar a Internet banda larga como canal de interatividade para TV digital, contanto que as perdas possam ser controladas dentro dos limites verificados.

8. Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Cobertura da televisão digital no Brasil em números**. Brasília, DF, maio 2012. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=276896&assuntoPublicacao=Televis%E3o%20Digital%20no%20Brasil%20em%20N%FAmero&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=276896.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2014.
- ANGELUCI, A. C. B.; LOPES, R. D.; ZUFFO, M. K. Estudo comparativo entre TV digital aberta e TV conectada no Brasil. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO - INTERCOM, 34, 2011, Recife. **Anais...** São Paulo: INTERCOM, 2011, p. 1-16.
- ARNAULT, R.D. et al. Era Transmídia. **Revista GEMInIS**, São Carlos, ano 2, n.2, p. 259-275, jul./dez. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15604:2007 Versão corrigida:2008** : Televisão digital terrestre – Receptores. Rio de Janeiro, 2008. 68 p.
- _____. **ABNT NBR 15606-1:2013** : Televisão digital terrestre – Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital. Parte 1: Codificação de dados. 4. ed. Rio de Janeiro, 2013. 54 p.
- _____. **ABNT NBR 15606-2:2011** : Televisão digital terrestre – Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital. Parte 2: Giga-NCL para receptores fixos e móveis – Linguagem de aplicação XML para codificação de aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011a. 299 p.
- _____. **ABNT NBR 15606-3:2012** : Televisão digital terrestre – Codificação de dados e especificações de transmissão para radiodifusão digital. Parte 3: Especificação de transmissão de dados. 3. ed. Rio de Janeiro, 2012. 97 p.
- _____. **ABNT NBR 15607-1:2011** : Televisão digital terrestre – Canal de interatividade. Parte 1: Protocolos, interfaces físicas e interfaces de software. 2.ed. Rio de Janeiro, 2011b. 20 p.
- BEGAZO, D. C., RODRÍGUEZ, D. Z.; RAMÍREZ, M. A. **Avaliação de qualidade de vídeo sobre uma rede IP usando métricas objetivas**. Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática [online], [S.l.], vol. 8, p. 25-29, 2011. Disponível em:

<<http://www.iiisci.org/journal/risci/Abstract.asp?var=&id=HCA940MZ>>. Acesso em 05 mar. 2014.

BLUMENTAL, H. et al. The ghost club storyscape: designing for transmedia storytelling. In: Games Innovation Conference (IGIC), 2011, Orange. **Proceddings...** IEEE International, 2011, p. 104-106. doi=10.1109/IGIC.2011.6115106.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML: guia do usuário**. Tradução Fábio Freitas da Silva e Cristina de Amorim Machado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

BRASIL. Decreto nº 5.820 de 29 de junho de 2006. Dispõe sobre a implantação do SBTVD-T, estabelece diretrizes para a transição do sistema de transmissão analógica para o sistema de transmissão digital do serviço de radiodifusão de sons e imagens e do serviço de retransmissão de televisão, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 jun. 2006. Seção 1, p. 51.

_____. Ministério das Comunicações. Portaria nº 24 de 11 de fevereiro de 2009. Aprova a Norma Geral para Execução dos Serviços de Televisão Pública Digital nº 01/2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 fev. 2009. Seção 1, p. 33-38.

CAMSTUDIO. CamStudio. Disponível em: <<http://www.camstudio.org>>. Acesso em 09 jun. 2013.

G1 ECONOMIA. **Número de casas com TV supera o das que têm geladeira**. [S.l.: s.n.], 20 set. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/2012/09/numero-de-casas-com-tv-supera-o-das-que-tem-geladeira.html>>. Acesso em: 08 jun. 2014.

GABOS, D. et al. A framework for community-oriented interactive digital television. **Infocommunications Journal**, [S.l.], v. LXIV, p. 14-23, 2009/III.

GALO, B. A era da convergência. **ISTOÉ Dinheiro**, São Paulo, n. 656, 5 maio 2010.

GINGA-NCL. Site Oficial do Middleware Ginga. Disponível em: <<http://www.gingancn.org.br/pt-br>>. Acesso em 08 jun. 2014.

GRAPHICS & MEDIA LAB (VIDEO GROUP). MSU Video Quality Measurement Tool. Disponível em: <http://www.compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html>. Acesso em 08 jun. 2014.

HIRAYAMA, R. M. **Framework para testes e avaliação de sincronismo para aplicações de TV digital móvel**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Digitais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

JAIN, R. **Quality of experience**. MultiMedia, IEEE, vol.11, no.1, p.96-95, Jan.-March 2004. doi=10.1109/MMUL.2004.1261114

JENKINS, H. **Cultura da convergência**. 2. ed. Tradução Susana Alexandria. São Paulo: Aleph, 2009.

MEIRELLES, R. C. **A digitalização da TV e os contextos culturais**. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Departamento de Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MERKEL, K. Hybrid broadcast broadband TV, the new way to a comprehensive TV experience. In: ITG CONFERENCE ON ELECTRONIC MEDIA TECHNOLOGY (CEMT), 14., 2011. **Proceddings...**, p.1-4.

MILIČEVIĆ, Z.; BOJKOVIĆ Z.; RAO, K. R. **An Approach to Interactive Multimedia Systems Through Subjective Video Quality Assessment in H.264/AVC Standard**. WSEAS Transactions on Systems, vol. 11, no. 8, p. 305-314, 2012.

MIYAMARU, F. **Transições entre mídias: arcabouço tecnológico para aplicações de mídia cruzada**. 2010. 254 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Digitais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PEROZZO, R. F. **Framework para integração entre ambientes inteligentes e o sistema brasileiro de TV digital**. 2011. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2011.

RODRIGUEZ, D. Z.; BRESSAN, G. **Video Quality Assessments on Digital TV and Video Streaming services using Objective Metrics**. Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina), [S.l.], vol.10, no.1, p.1184-1189, jan. 2012. doi=10.1109/TLA.2012.6142458.

SECRETARIA-EXECUTIVA DO COMITÊ GESTOR DO PROGRAMA DE INCLUSÃO DIGITAL. **Programa Nacional de Banda Larga**. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/brasilconectado>>. Acesso em: 18 out. 2011.

SOARES, L. F. G.; BARBOSA, S. D. J. **Programando em NCL 3.0**: desenvolvimento de aplicações para middleware Ginga, TV digital e Web. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SOFTPERFECT. SoftPerfect Connection Emulator. Disponível em:
<<http://www.softperfect.com/products/connectionemulator/>>. Acesso em 08 jan. 2014.

SOLVEIGMM. AVI Trimmer. Disponível em:
<<http://www.solveigmm.com/pt/products/avi-trimmer-mkv/>>. Acesso em 08 jan. 2014.

TAKAYUKI, I. Hybridcast: a hybrid system of broadcast and broadband for enhanced broadcasting services. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE TELEVISÃO - SET, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SET, 2011.

TELECOMMUNICATION STANDARTIZATION SECTOR OF ITU. **ITU-T Rec. J.205** : Requirements for na application control framework using integrated broadcast and broadband digital televison. Geneva, 2012. 30 p.

TRENTO, Francisco. **Comentários da Aula - 02/05/2012 - Franquia Cinematográfica (Parte I)**. 2012. Disponível em: <<http://geminisufscar.wordpress.com/2012/05/03/comentarios-da-aula-franquia-cinematografic/>>. Acesso em 03 jul. 2012.

VRANJES, M.; RIMAC-DRLJE, S.; ZAGAR, D. Objective Video Quality Metrics. In: 49th International Symposium ELMAR-2007 Focus on Mobile Multimedia, 2007, Zadar. **Proceddings...** Zadar: Croatian Society Electronics in Marine – ELMAR, 2007. doi=10.1109/ELMAR.2007.4418797

WAMPSEVER. Wampserver, a Windows web development environment. Disponível em:
<<http://www.wampserver.com/en/>>. Acesso em 08 jun. 2013.

XIAO, F. **DCT-based Video Quality Evaluation**. 2000. Disponível em:
http://www.compression.ru/video/quality_measure/vqm.pdf. Acesso em 01 out. 2014.

Apêndice A – Aplicação interativa

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<ncl id="Aplicacao_Game_of_Thrones"
xmlns="http://www.ncl.org.br/NCL3.0/EDTVProfile">
  <head>

    <regionBase>
      <region id="rgVideo1" left="0" top="0" width="100%"
height="100%"/>
      <region id="rgVideo2" left="50%" top="50%" width="50%"
height="50%"/>
      <region id="rgBotao" left="30" top="30" width="45"
height="45"/>
    </regionBase>

    <descriptorBase>
      <descriptor id="dVideo1" region="rgVideo1"/>
      <descriptor id="dVideo2" region="rgVideo2"/>
      <descriptor id="dBotao" region="rgBotao"/>
    </descriptorBase>

    <connectorBase>

      <causalConnector id="onBeginStart">
        <simpleCondition role="onBegin" />
        <simpleAction role="start" />
      </causalConnector>

      <causalConnector id="onEndStop">
        <simpleCondition role="onEnd"/>
        <simpleAction role="stop"/>
      </causalConnector>

      <causalConnector id="onEndSet">
        <connectorParam name="var"/>
        <simpleCondition role="onEnd"/>
        <simpleAction role="set" value="$var"/>
      </causalConnector>

      <causalConnector id="onKeySelectionSet">
        <connectorParam name="keyCode"/>
        <connectorParam name="var"/>
        <simpleCondition role="onSelection" key="$keyCode"/>
        <simpleAction role="set" value="$var"/>
      </causalConnector>

      <causalConnector id="onKeySelectionStart">
        <connectorParam name="keyCode"/>
        <simpleCondition role="onSelection" key="$keyCode"/>
        <simpleAction role="start"/>
      </causalConnector>

      <causalConnector id="onKeySelectionStopSet">
        <connectorParam name="var"/>
        <connectorParam name="key"/>
        <simpleCondition role="onSelection" key="$key" />

```

```

        <compoundAction operator="seq">
            <simpleAction role="set" value="$var"/>
            <simpleAction role="stop"/>
        </compoundAction>
    </causalConnector>

    <causalConnector id="onKeySelectionAbortN">
        <connectorParam name="keyCode"/>
        <simpleCondition role="onSelection" key="$keyCode"/>
        <simpleAction role="abort" max="unbounded"
qualifier="par"/>
    </causalConnector>

</connectorBase>

</head>

<body>
    <!-- Porta de inicio da aplicação, ou seja, começa mostrando o vídeo
principal -->
    <port id="pVideoPrincipal" component="videoPrincipal"/>

    <!-- Definindo as mídias para cada descritor e região -->

    <media id="videoPrincipal" src="media/20Min_GoT_S2.mp4"
descriptor="dVideo1">
        <property name="bounds"/>
        <property name="soundLevel"/>
    <area id="a1"/>
</media>

    <media id="video2"
src="http://192.168.214.130/GoT_OfficialShowOpen.mp4" descriptor="dVideo2">
        <property name="soundLevel"/>
        <area id="a2"/>
    </media>

    <media id="botaoVermelho" src="media/BotaoVermelho.png"
descriptor="dBotao"/>

    <media id="botaoVerde" src="media/BotaoVerde.png"
descriptor="dBotao"/>

    <!-- Ao iniciar o vídeo principal, exibir botão vermelho -->
    <link id="lVideoInterat" xconnector="onBeginStart">
        <bind role="onBegin" component="videoPrincipal"/>
        <bind role="start" component="botaoVermelho"/>
    </link>

    <!-- Ao escolher o botão vermelho, reduzir vídeo principal, silenciar
vídeo principal e mostrar botão verde -->

    <link xconnector="onKeySelectionStopSet">
        <bind role="onSelection" component="botaoVermelho">
            <bindParam name="key" value="RED"/>
        </bind>
        <bind role="set" component="videoPrincipal"
interface="bounds">
            <bindParam name="var" value="0,0,50%,50%"/>

```

```

        </bind>
        <bind role="stop" component="botaoVermelho"/>
    </link>

    <link id="lVideoSilence" xconnector="onKeySelectionSet">
        <bind role="onSelection" component="botaoVermelho">
            <bindParam name="keyCode" value="RED"/>
        </bind>
        <bind component="videoPrincipal" interface="soundLevel"
role="set">
            <bindParam name="var" value="0"/>
        </bind>
    </link>

    <link xconnector="onKeySelectionStart">
        <bind role="onSelection" component="botaoVermelho">
            <bindParam name="keyCode" value="RED"/>
        </bind>
        <bind role="start" component="botaoVerde"/>
    </link>

    <!-- Ao escolher o botão vermelho, mostrar vídeo 2 -->
    <link xconnector="onKeySelectionStart">
        <bind role="onSelection" component="botaoVermelho">
            <bindParam name="keyCode" value="RED"/>
        </bind>
        <bind role="start" component="video2"/>
    </link>

    <!-- Ao escolher o botão verde, o video principal volta a ter som -->
    <link id="lVideoLoud" xconnector="onKeySelectionSet">
        <bind role="onSelection" component="botaoVerde">
            <bindParam name="keyCode" value="GREEN"/>
        </bind>
        <bind component="videoPrincipal" interface="soundLevel"
role="set">
            <bindParam name="var" value="1"/>
        </bind>
    </link>

    <!-- Ao escolher o botão verde, o video principal volta ao formato normal
e o botão some -->
    <link id="lVideoSize" xconnector="onKeySelectionStopSet">
        <bind role="onSelection" component="botaoVerde">
            <bindParam name="key" value="GREEN"/>
        </bind>
        <bind role="set" component="videoPrincipal" interface="bounds">
            <bindParam name="var" value="0,0,200%,200%"/>
        </bind>
        <bind role="stop" component="botaoVerde"/>
    </link>

    <!-- Ao escolher o botão verde, o video 2 some -->
    <link xconnector="onKeySelectionAbortN">
        <bind role="onSelection" component="botaoVerde">
            <bindParam name="keyCode" value="GREEN"/>
        </bind>
        <bind role="abort" component="video2">
            </bind>
    </link>

```

```

</link>

<!-- Ao terminar o video 2, o botão verde some e o vídeo principal volta
com som -->

<link xconnector="onEndStop">
    <bind role="onEnd" component="video2"/>
    <bind role="stop" component="botaoVerde"/>
</link>

<link xconnector="onEndSet">
    <bind role="onEnd" component="video2"/>
    <bind role="set" component="videoPrincipal" interface="bounds">
        <bindParam name="var" value="0,0,200%,200%"/>
    </bind>
</link>

<link xconnector="onEndSet">
    <bind role="onEnd" component="video2"/>
    <bind role="set" component="videoPrincipal" interface="soundLevel">
        <bindParam name="var" value="1"/>
    </bind>
</link>

<!-- Repete vídeo principal
    <link id="lVideo1Repete" xconnector="onEndStart">
        <bind component="videoPrincipal" role="onEnd"/>
        <bind component="videoPrincipal" role="start"/>
    </link>
-->

</body>
</ncl>

```