

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Medição de Audiência e Interatividade em IPTV

Eduardo Rocha Soares

JUIZ DE FORA
NOVEMBRO, 2017

Medição de Audiência e Interatividade em IPTV

EDUARDO ROCHA SOARES

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Eduardo Barrére

JUIZ DE FORA
NOVEMBRO, 2017

MEDIÇÃO DE AUDIÊNCIA E INTERATIVIDADE EM IPTV

Eduardo Rocha Soares

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO .

Aprovada por:

Eduardo Barrére
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

Eduardo Pagani Júlio
Doutor em Computação

Edelberto Franco Silva
Doutor em Computação

JUIZ DE FORA
20 DE NOVEMBRO, 2017

Aos meus pais, por todo amor, apoio e por me darem condições para que eu pudesse me dedicar aos estudos. À minha irmã Beatriz e aos meus demais familiares.

Resumo

Devido à falta de padronização do serviço de medição de audiência e interatividade em ambientes IPTV, a UIT (União Internacional de Telecomunicações) emitiu, em 2012, uma série de recomendações a fim de padronizar esse serviço. Como forma de contribuir para a padronização da medição de audiência e interatividade em IPTV, este trabalho apresenta uma implementação de uma arquitetura de *software* para medição de audiência e interatividade em IPTV (*internet Protocol TV*) que está em conformidade com as recomendações da UIT. A arquitetura aqui proposta visa ser um recurso viável de ser explorado por institutos de pesquisa, emissoras, provedores de conteúdo e outros interessados nos dados de medição de audiência para os mais diversos fins. Além disso, neste trabalho, é feita uma análise sobre os principais fatores que influenciam no desempenho de tal arquitetura e que devem ser levados em consideração para a implantação em um cenário real.

Palavras-chave: IPTV, medição de audiência, medição de interatividade.

Abstract

Due to the lack of standardization of the audience measurement and interactivity service in IPTV environments, the ITU (International Telecommunication Union) issued in 2012 a series of recommendations in order to standardize this service. As a way to contribute to the standardization of audience measurement and interactivity in IPTV, this work presents an implementation of a software architecture for measuring audience and interactivity in IPTV (internet Protocol TV), which is in accordance with ITU recommendations. The architecture proposed here aims to be a viable resource to be explored by research institutes, broadcasters, content providers and others interested in audience measurement data for a wide range of purposes. In addition, in this work, an analysis is made on the main factors that influence the performance of such architecture and that should be taken into account for the deployment in a real scenario.

Keywords: IPTV, audience measurement, interactivity measurement.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que me deram apoio durante toda minha trajetória no curso de Ciência da Computação. Agradeço aos professores e funcionários do Instituto de Ciências Exatas e do Departamento de Ciência da Computação da UFJF. Aos funcionários do NRC, por fornecerem a infraestrutura para a realização dos testes de fundamental importância para este trabalho. Agradeço ao meu orientador, Eduardo Barrére, pela dedicação e paciência ao me orientar. Agradeço também à minha namorada, por todo amor e paciência para comigo. Agradeço acima de tudo à minha família, principalmente aos meus avós e aos meus pais que sempre me apoiaram durante essa jornada.

“O homem não passa de um caniço, o mais fraco da natureza. Mas é um caniço pensante. Não é preciso que o universo inteiro se arme para esmagá-lo: um vapor, uma gota, de água, bastam para matá-lo. Mas, mesmo que o universo o esmagasse, o homem seria mais nobre do que quem o mata, porque sabe que morre e a vantagem que o universo tem sobre ele; o universo desconhece tudo isso”

Blaise Pascal

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	8
Lista de Abreviações	9
1 Introdução	10
1.1 Apresentação do tema e contextualização do problema	10
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivos	14
1.4 Metodologia	14
1.5 Organização do trabalho	15
2 Revisão Bibliográfica	16
2.1 IPTV	16
2.2 Medição de audiência	17
2.2.1 Objetivos e desafios da medição de audiência	18
2.2.2 Estado da arte	20
2.3 Considerações finais sobre a revisão	26
3 Arquitetura para medição de audiência em IPTV	28
3.1 <i>TD-Middleware</i>	28
3.2 <i>TD-AMF (Terminal Device Audience Measurement Functions)</i>	29
3.3 <i>Aggregation Functions - AF</i>	31
4 Detalhes de Implementação da Arquitetura	33
5 Modelo Comportamental	36
5.1 Classificação dos processos estocásticos	36
5.1.1 Conjunto de estados	37
5.1.2 Variável tempo	37
5.1.3 Natureza estocástica das variáveis	37
5.2 Cadeias de Markov em tempos discretos	38
5.2.1 Representação das cadeias de Markov em tempos discretos	38
5.3 Cadeias de Markov em tempos contínuos	39
5.3.1 Representação das cadeias de Markov em tempos contínuos	39
5.4 Processos semi-markovianos	40
5.4.1 Representação dos processos semi-markovianos	40
5.5 Modelo implementado	40
5.5.1 Detalhes de Implementação do Modelo	43
6 Experimentos e Análises	46
7 Conclusões e Trabalhos Futuros	52
Referências Bibliográficas	55

Lista de Figuras

2.1	Arquitetura do serviço IPTV. Fonte: (Cha et al., 2008)	17
3.1	Arquitetura do serviço IPTV com o servidor de medição de audiência e interatividade	28
3.2	Esquema lógico de comunicação entre os módulos que compõem a arquitetura de medição de audiência e interatividade para IPTV. Fonte: (Soares e Barrére, 2016)	29
3.3	Exemplo de relatório de audiência e interatividade gerado por um gatilho de tempo, reportando o canal que um cliente estava assistindo	31
3.4	Parte da estrutura de árvore de um XML de configuração enviado pelo servidor ao terminal de IPTV	32
4.1	Notificação de evento enviada do TDMiddleware para o módulo de medição de audiência do terminal	33
5.1	Diagrama de transições (à esquerda) e tabela de transições (à direita) . . .	39
5.2	MEF que modela a sequência de eventos de controle de <i>stream</i> de VoD. Fonte: (Gopalakrishnan et al., 2011)	43
5.3	FDAs, com x na escala logarítmica, utilizadas para modelar o tempo de permanência nos estados da MEF da figura 5.2	44
6.1	Crescimento da taxa média de relatórios por segundo a medida que varia-se o número de clientes conectados ao servidor. Fonte: (Soares e Barrére, 2017)	47
6.2	Tempo de resposta médio do servidor x taxa média de relatórios por segundo. Fonte: (Soares e Barrére, 2017)	48
6.3	Função $f(x) = 0,59 + 5,34e^{(-0,064x)}$ que melhor se ajusta aos pontos da tabela 6.3. Fonte: (Soares e Barrére, 2017)	50

Lista de Tabelas

2.1	Comparativo entre as abordagens da literatura	26
5.1	Tempo de permanência médio de cada estado da MEF normalizado pelo tamanho do vídeo	45
6.1	Taxa média de relatórios de audiência recebidos por segundo	47
6.2	Relação entre o número de clientes conectados simultaneamente e o tempo de resposta médio do servidor	48
6.3	Taxa média de relatórios processados por segundo pelo servidor para cada periodicidade testada	49
6.4	Tempo de resposta médio do servidor para cada periodicidade	50

Lista de Abreviações

API	<i>Application Programming Interface</i>
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>
EPG	Guia Eletrônico de Programação (<i>Electronic Programming Guide</i>)
IBOPE	Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística
IGMP	<i>Internet Network Management Protocol</i>
IP	Protocolo de <i>internet</i> (<i>Internet Protocol</i>)
IPTV	<i>Internet Protocol TV</i>
MEF	Máquina de Estados Finita
MIB	<i>Management Information Base</i>
MPEG	<i>Moving Picture Expert Group</i>
NIT	<i>Network Information Table</i>
NRC	Núcleo de Recursos Computacionais do Instituto de Ciências Exatas - UFJF
SBTVD	Sistema Brasileiro de TV Digital
SNMP	Simple Network Management Protocol
STB	<i>Set top box</i>
PSM	Processo <i>Semi-Markoviano</i>
TD-AMF	<i>Terminal Device Audience Measurement Functions</i>
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UIT	União Internacional de Telecomunicações
VoD	Vídeo sob demanda (<i>Video on Demand</i>)

1 Introdução

Dados de audiência sempre foram de interesse de empresas de publicidade e emissoras de TV, devido ao fato de que esse tipo de informação pode auxiliar nas tomadas de decisão e indicar o surgimento de novas tendências.

Atualmente, outros tipos de conteúdo multimídia estão sendo incorporados aos sistemas de TV, como propagandas interativas, jogos, vídeo sob demanda, e outros. Há algum tempo, o interesse passou de simplesmente saber por quanto tempo um telespectador assistiu a um programa que está inserido em uma programação fixa para, além disso, conseguir mensurar a interatividade do usuário com mídias personalizadas e que permitam escolha e interação direta do usuário. Seguindo essa nova tendência, este trabalho vem apresentar uma implementação de um arquitetura para a medição de audiência e interatividade em IPTV, uma plataforma para entrega de conteúdo multimídia que oferece diversos serviços (TV aberta, TV fechada, vídeo sob demanda, aplicações interativas em geral, etc) e detém uma grande parte do mercado atualmente.

1.1 Apresentação do tema e contextualização do problema

Muitas emissoras no âmbito global são de capital privado e por isso veem na venda de seu espaço publicitário a principal forma de obter lucro. Por esta razão, a medição e análise de audiência se torna fundamental para as emissoras, e mais ainda para os anunciantes que desejam que sua propaganda atinja o maior número de pessoas possíveis. Além disso, a maior preocupação é que a propaganda possa atingir o público-alvo ao qual a se destina. Afinal, não é interessante que um produto seja anunciado para um público-alvo que não se interessaria por ele.

O IBOPE é o principal instituto de pesquisa em audiência na TV aberta no Brasil e utiliza basicamente duas metodologias de trabalho (IBOPE, 2012). A mais obsoleta é

chamada caderno, na qual o telespectador deve preencher um formulário informando a programação assistida em intervalos de 15 minutos, em um período de duas semanas. A segunda forma, mais sofisticada, utiliza um dispositivo chamado *people meter*, que é instalado na casa do telespectador. Devido ao seu elevado custo, o IBOPE limita o uso deste aparelho a poucos domicílios. Na medição com *people meter*, o telespectador deve sempre informar quem irá assistir a TV, selecionando dentre os perfis que são previamente configurados no aparelho.

Estas duas formas supracitadas de medir audiência no Brasil não são muito eficientes. No caso do caderno, a medição depende totalmente do usuário para informar à programação assistida, o que pode gerar dados que não correspondem à realidade. Em relação ao *people meter*, o seu custo elevado faz com que apenas algumas poucas residências tenham seus dados mensurados, acarretando em uma medição de audiência que não representa bem o cenário em todo país.

Uma tendência para substituir o sistema de transmissão por radiodifusão são as soluções baseadas em IPTV. Rodrigues (2006) descreve o IPTV como o serviço de *streaming* de TV linear¹ e vídeo sob demanda² (VoD) através de uma rede IP, diferente da internet, que utiliza uma estrutura controlada que visa garantir a qualidade do serviço. Ainda de acordo com Rodrigues (2006), o acesso do usuário, geralmente, é feito via conexão banda larga e o serviço de IPTV é provido de maneira fechada por empresas de telecomunicações, de modo parecido com serviços de TV a cabo.

O mercado de IPTV apresenta um crescimento em termos de assinantes e receita, e segundo os analistas da Technavio, o mercado global de IPTV crescerá de forma constante em uma taxa de crescimento composta anual de 16% até 2021 (Technavio, 2017).

Os métodos de medição de audiência do IBOPE poderiam ser utilizados para mensurar a audiência também no cenário de IPTV, porém como já foi dito, o IBOPE busca limitar o número de domicílios que terão seus dados mensurados devido ao custo que este serviço apresenta. Em um cenário de mais de 5000 municípios brasileiros, apenas 15 são praças regulares³ que tem seus dados mensurados pelo IBOPE, de acordo com

¹Serviço de TV onde o usuário assiste a uma programação fixa, definida pela emissora.

²Serviço onde o usuário pode selecionar o conteúdo multimídia que deseja assistir no momento em que desejar.

³Praças regulares são os locais onde o IBOPE realiza a medição da audiência constantemente através

dados de 2012 (IBOPE, 2012). Além disso, se os métodos tradicionais do IBOPE fossem adotados em ambientes IPTV, isso representaria o desperdício de uma grande vantagem deste serviço que é o canal de retorno para os dados de audiência que esta tecnologia possui naturalmente por funcionar através de uma rede IP.

O IPTV possui uma característica interessante para a medição de audiência que é a de funcionar sobre uma rede IP, o que torna a troca de dados de audiência mais natural. Porém, apesar dessa facilidade, existem complicações neste cenário. Nos serviços IPTV, várias tecnologias proprietárias são utilizadas, como codificações de áudio, vídeo e dados. Além disso, cada provedor IPTV pode fazer a medição de audiência de uma forma diferente, o que traz muitas dificuldades na hora de agregar todos esses dados vindos de diferentes provedores de medição de audiência que utilizam tecnologias diversas. Outro desafio na medição de audiência em geral é em relação ao custo. Abordagens que necessitam de *hardware* adicional como o *people meter* do IBOPE possuem custo elevado, fazendo com que poucos usuários tenham seus dados de fato mensurados, o que obriga o modelo de medição de audiência ser puramente estatístico. Este problema acaba por gerar dados de audiência que tem baixa acurácia pelo fato do espaço amostral ser muito pequeno em comparação ao número real de telespectadores. Um outro fator que precisa ser levado em consideração é que as abordagens tradicionais para a medição de audiência, tanto no cenário de IPTV, como em um aspecto geral, só levam em conta os dados de TV linear. Com o surgimento de novas tendências como VoD e aplicações interativas, é interessante contar com uma solução que pudesse abranger também estas outras formas de consumir conteúdo multimídia.

1.2 Justificativa

Devido a expansão do mercado de IPTV e ao grande número de assinantes que possui, é interessante contar com ferramentas que permitam a medição de audiência e interatividade nesse cenário, possibilitando que emissoras, institutos de pesquisa em audiência e provedores de conteúdo possam realizar estudos detalhados baseados nos dados mensura-

de *people meters*. As praças regulares são Manaus, Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Distrito Federal, Goiânia, Belo Horizonte, Campinas, Grande São Paulo, Grande Rio de Janeiro, Vitória, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.

dos para fins de melhorar o conteúdo fornecido, melhor aproveitar o espaço publicitário com propaganda direcionada, e realizar tomadas de decisão a partir dos dados obtidos.

Dados de medição de audiência podem ser determinantes para a receita de empresas publicitárias, pois podem fornecer informações interessantes, como por exemplo, qual o melhor horário para se colocar uma propaganda em uma determinada emissora. Além disso, os produtores de conteúdo podem avaliar a aceitação do público a um determinado conteúdo e buscar melhorar a partir do *feedback* obtido da medição de audiência. Dados fiéis de audiência podem auxiliar também na criação de *playlists* personalizadas de acordo com as preferências do usuário.

As abordagens adotadas hoje em dia no Brasil abrangem apenas os canais abertos da TV terrestre por radiodifusão. Considerando que as soluções IPTV vem ganhando boa parte do mercado, é de suma importância que os dados de sua audiência também sejam levados em conta em pesquisas de audiência.

O presente trabalho propõe a implementação de uma arquitetura para o serviço de medição de audiência que é capaz de capturar além de dados de TV Linear, dados de VoD e outras aplicações multimídia, seguindo a padronização definida pela UIT e com o auxílio de tecnologias desenvolvidas na própria UFJF. O que é uma contribuição inédita no cenário de medição de audiência em IPTV.

Outra vantagem da implementação aqui apresentada, é que se trata de uma arquitetura distribuída de *software* que não demanda nenhum equipamento adicional, em relação a infraestrutura padrão de IPTV, para medir a audiência e interatividade dos usuários. O canal de comunicação, por onde são trafegados os dados de audiência e interatividade, é a própria rede IP já existente também na infraestrutura do serviço IPTV. Dessa forma, também não é preciso nenhum incremento na infraestrutura de rede para que se consiga medir a audiência e interatividade neste cenário específico.

Todos esses fatores contribuem para que a implementação apresentada neste trabalho possa ser adotada como uma solução de baixo custo que permite a medição de audiência e interatividade dos serviços oferecidos na plataforma IPTV (TV linear, VoD, aplicações interativas, etc) em um grande número de domicílios. Além disso, os problemas relacionados à falta de padronização desse serviço são solucionados por se tratar de uma

implementação que está de acordo com as recomendações elaboradas pela UIT (ITU-T H.741.0 - H.741.3) (ITU-T, 2012a,b,c,d).

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é a implementação de uma arquitetura de *software* para o serviço de medição de audiência e interatividade no cenário de IPTV em conformidade com as especificações da União Internacional de Telecomunicações (UIT). Um outro exemplo complementar é analisar possíveis fatores que impactam no desempenho dessa implementação com base em testes de carga.

1.4 Metodologia

De forma a alcançar os objetivos pretendidos neste trabalho, inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico englobando o tema de medição de audiência e o estado da arte das abordagens existentes na literatura. Essa etapa é importante para que se conheça os objetivos e desafios relacionados ao tema e possibilitar a avaliação de soluções já adotadas na literatura, o que auxilia em decisões de projeto baseadas em resultados apresentados em trabalhos relacionados. Além disso, paralelamente a esta etapa, foi realizado um estudo acerca das recomendações para o serviço de medição de audiência e interatividade em IPTV publicadas pela UIT.

Após a etapa descrita anteriormente, foi realizada a implementação da arquitetura para medição de audiência e interatividade em IPTV contemplando todos os requisitos obrigatórios definidos pela UIT. Após a implementação, foram realizados testes de carga em laboratório e os dados obtidos desses testes foram coletados e analisados. Para a realização dos testes de carga, foi implementado um modelo estocástico para modelar a interação dos usuários de IPTV com o serviço de VoD.

1.5 Organização do trabalho

O presente trabalho está organizado de forma a apresentar no capítulo 2 conceitos e trabalhos relevantes ao tema de medição de audiência e interatividade em IPTV e em outras plataformas de TV digital. No capítulo 3, é apresentada a arquitetura implementada, padronizada segundo a UIT, para a medição de audiência e interatividade em IPTV. Os detalhes de implementação dessa arquitetura são apresentados no capítulo 4. O capítulo 5 traz uma breve explicação sobre processos estocásticos e apresenta o modelo implementado para simular o comportamento dos usuários para a realização dos testes. O capítulo 6 descreve o cenário de testes e os experimentos realizadas. Nesse capítulo também são apresentadas as análises realizadas a partir dos testes na arquitetura. O capítulo 7 traz as conclusões do autor.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são apresentados conceitos relevantes para este trabalho, além da importância da medição de audiência e seus desafios na visão de outros autores da literatura. Ainda será feito um apanhado do estado da arte, ou seja, as abordagens mais recentes para resolver o problema de medição de audiência e interatividade.

2.1 IPTV

IPTV é definido por Rodrigues (2006) como uma solução para entrega de VoD, TV linear e outras formas de multimídia através de redes IP. De acordo com Cha et al. (2008), a arquitetura do serviço IPTV fornece acesso ao usuário aos seus serviços de forma controlada (“*walled gardened*”) com a entrega através de uma infraestrutura *multicast* que garante a qualidade do serviço.

As empresas de telecomunicações responsáveis por fornecer acesso à *internet* e aos serviços de telefonia são, geralmente, responsáveis também pelo serviço de IPTV. Com isso, o mais comum é a existência de uma arquitetura capaz de fornecer todos esses serviços juntos, como ilustrado na figura 3.1 (Cha et al., 2008). O dispositivo chamado DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) funciona como um *switch* responsável por agregar o fluxo de dados de centenas ou milhares de usuários e conectar-se a um *backbone*⁴. Para a distribuição do conteúdo IPTV, os servidores de entrega de TV enviam todo o fluxo de dados de conteúdo ao vivo através de árvores *multicast* existentes nos *backbones* até os DSLAMs que entregam o conteúdo ao *gateway* no espaço do cliente.

⁴Backbones são redes de alta velocidade que interconectam redes menores, possibilitando a troca de informação entre as mesmas.

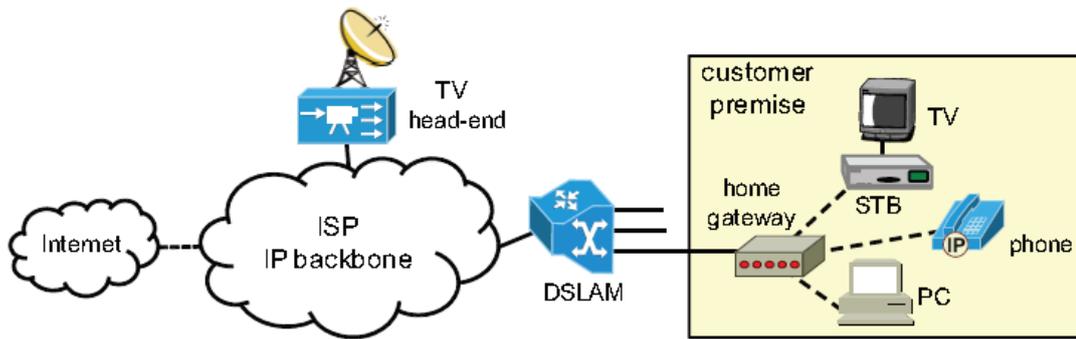


Figura 2.1: Arquitetura do serviço IPTV. Fonte: (Cha et al., 2008)

2.2 Medição de audiência

O economista Dallas Smythe já falava em 1977 sobre a importância de investigar o potencial econômico da indústria de mídia. Smythe trata a audiência como um produto que é comercializado entre emissoras e anunciantes (Smythe, 1977). Desta forma, segundo Smythe (1977), o modelo de negócios por trás da televisão é baseado na venda de audiência das emissoras para os anunciantes, o que destaca a importância das pesquisas em audiência para a receita dessa indústria. Barnes et al. (1994) defendem que a medição de audiência é fundamental porque registra o comportamento relacionado à audiência e suas mudanças influenciadas por aspectos tecnológicos e socioeconômicos. De acordo com Berte (2010), a medição de audiência é de suma importância para os anunciantes, pois permite que se planejem e comprem horários para comerciais de TV onde atingirão o maior número de pessoas interessadas por um produto, por exemplo. Além disso, permite que emissoras e produtores de conteúdo sejam capazes de avaliar sua programação baseados nos pontos de audiência. Portanto, é fundamental que a medição de audiência seja correta e represente da melhor forma possível o comportamento dos telespectadores.

É importante destacar que a medição de audiência não se aplica apenas ao contexto de TV, mas também pode ser explorada na *internet*, mais especificamente na *web*. Aplicações de VoD como Netflix e YouTube são responsáveis por grande parte do fluxo de dados na internet. Na América do Norte, a Netflix é responsável por 35% do tráfego de *internet* em períodos de pico (Sandvine, 2016). Devido ao grande número de usuários

desses serviços, tais empresas veem um grande potencial de lucro nos dados de audiência e interatividade. Principalmente as plataformas gratuitas como o YouTube, que obtém sua receita majoritariamente através de propagandas, assim como as emissoras de TV. Plataformas de VoD também exploram esses dados para alimentar sistemas de recomendação de conteúdo. Desta forma, os conteúdos pelos quais um usuário se interessa recebem mais destaque, o que ajuda a manter o usuário por mais tempo utilizando o serviço. Apesar do grande potencial que a medição de audiência na internet apresenta, ela possui algumas características e desafios específicos que serão abordados posteriormente.

2.2.1 Objetivos e desafios da medição de audiência

Miller (1994) defende que o objetivo da medição de audiência é representar o cenário de audiência da forma mais acurada possível. Isso acarreta na necessidade de mecanismos para medir audiência que sejam eficientes, baratos e que possam ser utilizados em larga escala. Juntar todas essas características em um único serviço de medição de audiência nem sempre é tarefa fácil, devido a muitos fatores, tais como: resistência dos próprios telespectadores ao fato de terem seus dados de audiência capturados, necessidade de infraestrutura adicional de rede para retorno das informações aos servidores de medição de audiência, preço dos equipamentos utilizados, falta de interesse dos institutos de pesquisa em representar a audiência no país como um todo e não só nas capitais, dentre outros fatores que são obstáculos para a obtenção de um serviço de medição de audiência eficaz e de baixo custo.

Na TV tradicional, o produto vendido não é propriamente a audiência, mas sim o tempo de audiência gasto em um conteúdo de TV. Porém, frequentemente o tempo de audiência é substituído pela exposição de um determinado conteúdo, devido ao fato de ser mais facilmente quantificável (Bermejo, 2009). Portanto, é fundamental a existência de um mecanismo capaz de mensurar o tempo de audiência ao invés de apenas a exposição. Dessa forma, obtém-se uma medição de audiência que representa mais fielmente o cenário de um país ou uma região. O que, segundo Miller (1994), é o objetivo da medição de audiência.

Alguns desafios atuais da medição de audiência são apresentados por Jennes e

Pierson (2011). Primeiramente, existe uma tendência de especialização dos canais de TV o que leva a um aumento do número de canais disponíveis. Essa especialização faz com que os canais foquem em atingir determinados público-alvos, o que acarreta na divisão da audiência em pequenos grupos específicos. Desta forma, uma medição de audiência generalista pode não representar da melhor forma o cenário de audiência. Porém, apesar da especialização de mídia representar um desafio para medição de audiência, também pode ser um fator a ser explorado por anunciantes na hora de elaborar propaganda direcionada a um grupo específico de usuários. Mas, para isso, é necessário que esses canais especializados invistam em métodos para medir audiência e receber relatórios para convencer os anunciantes a comprarem espaço em seu canal, o que pode ser um investimento caro para canais novos e/ou pequenos. Outro desafio abordado por Jennes e Pierson (2011) é o fato de que os usuários tem cada vez mais controle sobre o conteúdo que consomem, através de tecnologias como VoD e aplicações interativas. Tais tecnologias podem ter seu uso mensurado, porém geralmente isso é feito pelos próprios distribuidores de conteúdo que não seguem nenhuma padronização nos relatórios de audiência, o que torna difícil a comparação e compilação de resultados.

No contexto da medição de audiência na *internet*, Jennes e Pierson (2011) citam em seu trabalho alguns desafios que estão fortemente relacionadas com a natureza desse serviço. O primeiro desafio é relacionado à dificuldade de amostrar os dados de audiência. Nos serviços de TV, geralmente o uso se limita a poucos lugares, principalmente aos domicílios e pode ser medido nas residências. Por outro lado, a *internet* é muito mais flexível e pode ser utilizada nos mais diversos lugares, como locais de trabalho, universidades, locais de lazer, etc. Em relação à *internet*, Bermejo (2009) defende que a amostragem deve ser global, uma vez que é uma rede global. Além disso, o número de dispositivos conectados à *internet* cresce cada vez mais. Uma mesma pessoa, pode ter muitos dispositivos com acesso à *internet* e acessar conteúdos diversos a partir de cada um deles, o que leva a um cenário até pior que o da TV de fragmentação de audiência. Outro ponto discutido por Jennes e Pierson (2011) é a liberdade que os usuários tem sobre o conteúdo que estão consumindo na *internet*, o que é uma característica específica do serviço. Esse controle do usuário sobre o conteúdo consumido aumenta ainda mais com o

advento das mídias sociais, onde é possível selecionar conteúdo *online*, compartilhar e criar suas próprias mídias. Apesar de essa ser uma característica que representa um desafio para a medição de audiência na *internet*, pode ser também vista como uma oportunidade para *marketing* direcionado no nível individual em detrimento da publicidade de massa, também conhecido como “*Customer Relationship Management*” (Carlson, 2006).

2.2.2 Estado da arte

Existem diversas abordagens na literatura para medição de audiência, cada qual com suas particularidades. Becker e Zuffo (2011) desenvolveram em seu trabalho uma abordagem por *software* para a medição de audiência em ambientes de TV digital em tempo real que ocorre no *set top box*⁵ (STB). Esse sistema coleta as informações do canal virtual sintonizado e as envia, a cada minuto, para um banco de dados. A identificação do canal lógico se dá através da tabela *Network Information Table* (NIT) presente no fluxo de transporte MPEG-2⁶ das emissoras. Nesse sistema, o receptor se conecta a um computador pela porta serial, informando o ID (*mac address*) e o *status* ON (ligado), assim é feito o registro do ponto de medição de audiência. Após isso, o *set top box* recebe as informações de perfil cadastradas para aquele ponto de acesso, então o usuário deve informar quem está assistindo a TV e se há acompanhantes. Se houver, é pedido para o usuário identificar dentre os perfis existentes para aquele ponto de acesso quais pessoas o acompanham. Esse sistema coleta as informações de modo parecido com os dispositivos *people meter*, porém com algumas melhorias, como o mapeamento mais detalhado do perfil de audiência do telespectador e a captura da interação do usuário com serviços como EPG (*Electronic Programming Guide*), por exemplo. Todavia, essa abordagem necessita de um computador adicional para registrar o ponto de medição de audiência, o que torna esse processo custoso financeiramente, uma vez que cada domicílio que tiver sua audiência mensurada deverá ter um computador conectado ao receptor de TV para que a medição ocorra. Outro problema dessa abordagem é o mesmo que ocorre com o uso do *people meter*, os usuários podem não se sentir confortáveis em assistir o conteúdo que normal-

⁵Equipamento que se conecta ao aparelho de TV e a uma fonte externa de sinal, e transforma esse sinal em conteúdo que possa ser apresentado na tela.

⁶Codificação de vídeo mais comumente utilizado em TV atualmente.

mente assistiriam pela presença de um *hardware* adicional que está sempre lembrando-os da medição de audiência, o que leva a dados inconsistentes.

Mukherjee et al. (2011) propõem uma arquitetura para a medição de audiência em tempo real baseada no reconhecimento dos logotipos das emissoras. Para isso, é necessária uma extensão do STB chamada *HIP box* que possui um processador de sinais digitais onde os algoritmos de detecção de logotipos são executados. Quando o usuário troca o canal que está sendo assistido, é feita a detecção por parte do *HIP box* que, em seguida, envia para um servidor de análise de audiência hospedado na *internet* o ID do canal, a hora corrente e seu IP. A localização geográfica é obtida através do IP, uma vez que cada *HIP box* possui um IP (estático ou dinâmico) público. Portanto é possível obter a localização utilizando a API do Google. Essa arquitetura obtém o guia de programação através da internet, assim é possível saber qual programa o usuário estava assistindo em determinada emissora pelo horário em que a medição ocorreu. O servidor de análise de audiência cria gráficos, relatórios de tendências em tempo real, mapas de calor, através dos dados de audiência recebidos e os disponibiliza para acesso de usuários autorizados através da *internet*. Importante ressaltar que essa abordagem faz uso de uma base de dados de logotipos de emissoras previamente cadastrada para realizar o reconhecimento de logotipos em tempo real.

O processo de medição de audiência por reconhecimento de logos proposto por Mukherjee et al. (2011) segue algumas etapas:

- Captura do vídeo exibido pelo módulo de captura do STB
- O vídeo é processado pelo algoritmo de reconhecimento de logos
- O algoritmo retorna o *id* do canal para o subsistema de controle do STB
- O *id*, hora e data são enviados para um cliente HTTP residente no STB
- O cliente HTTP envia essas informações para o servidor a cada trinta segundos (configurável)
- O servidor, por sua vez, disponibiliza as estatísticas, gráficos, mapas para os usuários autorizados

Como o trabalho de Becker e Zuffo (2011), Mukherjee et al. (2011) realiza a medição de audiência no *set top box* e envia esses dados pela internet para um servidor de análise de audiência. No entanto, a abordagem de Mukherjee et al. (2011) é mais limitada que a abordagem de Becker e Zuffo (2011), pois apenas é capaz de detectar trocas de canais de TV linear e quando o logotipo ou marca d'água da emissora está presente no vídeo. Dessa forma, não é extensível a aplicações interativas como o VoD, por exemplo. Outro problema da abordagem de Mukherjee et al. (2011) é a necessidade da adição de extensões do STB, como o *HIP box*, o que não está no padrão brasileiro de TV digital. Dessa forma, acrescenta-se um custo adicional para medir a audiência em cada domicílio.

A TV digital interativa (TVDI) é uma realidade atualmente, contudo os serviços de medição de audiência não acompanharam essa evolução e continuam obsoletos e de alto custo, como é o caso do *people meter*, que apenas mede dados de audiência em TV linear. Devido a evolução que sofreu a TV tradicional, com a adição de serviços interativos como VoD, propagandas interativas e *playlists* personalizadas, se torna essencial a existência de ferramentas capazes de mensurar a audiência e o uso de interatividade na TV. Seguindo essa nova tendência, Basílio et al. (2013) implementaram e compararam duas abordagens inteiramente por *software* para a captura de dados de audiência e interatividade em ambientes de TVDI.

A primeira abordagem proposta por Basílio et al. (2013) se baseia em uma extensão para o já existente padrão de *middleware*⁷ Ginga (Ginga, 2016) do Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD). Nessa abordagem, é adicionado ao *middleware* uma extensão capaz de capturar e armazenar dados de interação do usuário no STB. Além dos módulos de captura e armazenamento, essa extensão também possui um módulo de comunicação que é responsável por enviar os dados capturados para um servidor de análise de audiência e interatividade e um módulo de permissão responsável por pedir ao usuário autorização para realização das capturas. Com essa abordagem, é possível capturar qualquer interação do usuário, uma vez que toda interação ocorrida no STB é gerenciada pelo *middleware*, que por sua vez, pode repassar esses dados ao módulo de captura.

⁷Camada de *software* acima do sistema operacional responsável por agrupar diferentes *softwares* e mediar sua comunicação.

Os autores citam algumas desvantagens da abordagem de extensão de *middleware*, como a necessidade da instalação de *software* nativo no dispositivo terminal onde for ocorrer a medição de audiência. E, devido à grande variedade de modelos de dispositivos terminais e marcas, pode não ser possível a instalação da extensão do *middleware* por problemas de compatibilidade. Outro entrave na implantação desse modelo é a limitação dos dispositivos terminais disponíveis no mercado em termos de recursos (memória, CPU, armazenamento). Com a instalação de um *software* nativo para a medição de audiência, a demanda por recursos computacionais irá crescer, o que exigirá dispositivos terminais mais sofisticados, em termos de *hardware*, que os tradicionalmente comercializados.

A outra abordagem implementada por Basílio et al. (2013) é baseada em aplicações interativas que são enviadas permanentemente no fluxo de dados das emissoras. Essas aplicações podem ser aplicações de início imediato, que são descartadas pelo terminal ao fim da execução, ou instaladas no receptor do telespectador. Se existir um canal de retorno habilitado no dispositivo terminal para envio dos dados de audiência para o servidor de análise de interação e audiência, a aplicação é executada, caso contrário é encerrada. Uma vantagem dessa abordagem é a possibilidade do uso de tecnologias que já estão padronizadas para os sistemas de TV (terrestre, cabo e IPTV), como as linguagens NCL (NCL, 2016) e Lua (Lua, 2016). É importante ressaltar que nessa abordagem, cada emissora deve enviar sua aplicação interativa de medição de audiência. Dessa forma, o usuário deve autorizar a captura dos dados de audiência para cada emissora, cada vez que esta enviar uma aplicação interativa para a medição de audiência.

Na abordagem através de aplicações interativas não se faz necessária nenhuma extensão do padrão de *middleware*, porém uma importante limitação é a necessidade de cada emissora ter que enviar em seu fluxo de dados a aplicação base para a medição de audiência. Outro problema é a falta de um módulo para gerenciar a persistência e a troca de dados entre aplicações oriundas de diferentes emissoras, o que representa uma falha na questão de segurança e privacidade dos dados do telespectador. Uma importante vantagem dessa abordagem em relação à primeira apresentada por Basílio et al. (2013) é no que diz respeito à portabilidade. Com essa abordagem é possível medir audiência em múltiplas plataformas que possuam o *middleware* Ginga instalado. Como as aplicações

interativas são executadas independente de plataforma, a mesma aplicação que é utilizada para medir audiência em ambientes de TV terrestre comuns, pode ser utilizada para medir audiência em plataformas *mobile* como *tablets* e *smartphones*, que já possuem uma versão do GINGA específica para seus sistemas operacionais. Algo que seria difícil de ser feito com a primeira abordagem proposta Basílio et al. (2013), uma vez que nessa abordagem há necessidade da instalação de um *software* nativo no dispositivo. Dessa forma, um *software* diferente para cada plataforma precisaria ser implementado.

Na tentativa de propor uma solução para medição de audiência e interatividade em ambientes IPTV, Alvarez et al. (2009) apresentaram, antes do lançamento das recomendações da UIT, um modelo lógico para a medição de audiência e um modelo de dados que descreve a natureza dos dados coletados e como se dá a troca dessas informações. O modelo lógico proposto em (Alvarez et al., 2009) é dividido em três partes: provedor de conteúdo/serviço, que é responsável pela entrega do conteúdo consumido pelos usuários através de uma rede IP. Medidores, que tem como papel monitorar e coletar o consumo de conteúdo dos usuários. Por último, *data centers* responsáveis por armazenar os dados de audiência, calcular e disponibilizar estatísticas.

Os modelos de dados e lógico propostos por Alvarez et al. (2009) foram esforços na direção da padronização no serviço de medição de audiência e interatividade em IPTV. Porém, esse modelo de dados não cobre algumas informações que podem ser importantes na medição de audiência e interatividade em IPTV. Além disso, os autores utilizam algumas tecnologias que não apresentam uma padronização comum, como um *middleware* para o IPTV que integra e gerencia os módulos da solução.

Nas abordagens apresentadas até então, a captura dos dados de audiência ocorre exclusivamente no dispositivo terminal do usuário. Essa não é a única forma de capturar os dados de audiência, Yeh et al. (2011) propõem um esquema baseado em rede *multicast* para o serviço de medição de audiência em IPTV. Essa solução faz uso dos protocolos de gerência de rede padronizados IGMP (*internet Group Management Protocol*) e SNMP (*Simple Network Management Protocol*), assim não é necessário nenhum *hardware* adicional para que a medição de audiência ocorra.

Nessa abordagem, os dados de audiência são obtidos a partir dos *switches* de

borda, como os DSLAMs, que são responsáveis por encaminhar os *streamings* de vídeo para os usuários. Como padrão da arquitetura IPTV, cada *switch* de borda mantém uma tabela chamada “*IGMP snooping table*” para acompanhar o *status multicast* de cada porta relacionada a usuário. Essa tabela fornece a informação sobre qual usuário está associado a qual grupo *multicast*, dessa forma podemos determinar quais e quantos usuários estão vendo um certo canal, já que usuários assistindo um mesmo canal estão associados ao mesmo grupo *multicast*. Além disso, a abordagem permite saber quanto tempo um usuário assistiu um canal específico através da tabela dos *switches* de borda.

No esquema de medição de audiência proposto por Yeh et al. (2011), existe um servidor responsável por requisitar aos *switches* de borda o conteúdo de sua *IGMP snooping table*. Segundo os próprios autores, uma forma direta de se fazer isso é através da conexão remota do servidor aos *switches* de borda através do protocolo *telnet*. Apesar disso, os autores propõem o uso do protocolo SNMP e de objetos MIB (*Management Information Base*)⁸ para implementar o sistema de medição de audiência.

O SNMP é um protocolo padronizado e amplamente utilizado para o gerenciamento remoto de equipamentos de rede. Equipamentos de redes gerenciadas, como na arquitetura de IPTV, suportam um certo número de objetos MIB, que representam as informações de gerenciamento mantidas pelos equipamentos da rede. Na abordagem baseada em rede proposta por Yeh et al. (2011), o servidor de audiência envia uma requisição SNMP para um *switch* remoto solicitando o valor da instância de objeto MIB que contém as informações da *IGMP snooping table*. Ao receber a requisição, o *switch* de borda envia a resposta ao servidor. Também há a possibilidade dos *switches* de borda enviarem suas informações, espontaneamente, sem um pedido do servidor de audiência. Dessa forma, o servidor obtém as estatísticas dos telespectadores através dos equipamentos de rede, sem a necessidade de nenhuma adição à arquitetura padrão de IPTV.

Yeh et al. (2011) defendem que a medição de audiência feita na rede é mais escalável que as soluções onde a medição ocorre no STB, pelo fato de que nas medições feita nos *switches* de borda os dados de audiência de vários usuários são agrupados e enviados aos servidores de medição de audiência, enquanto nas abordagens baseadas em

⁸Banco de dados usado para gerenciamento de entidades em uma rede de comunicação.

STB cada usuário envia seus dados pela rede, individualmente, gerando um tráfego mais intenso na rede. Outra vantagem dessa abordagem é não necessitar de *hardware* adicional, ao contrário da abordagem proposta por Mukherjee et al. (2011). Porém, essa abordagem é limitada no que diz respeito às informações que é capaz de coletar, somente informações contidas na tabela do protocolo IGMP. Enquanto as abordagens baseadas em capturas no STB de Basílio et al. (2013) e Alvarez et al. (2009) conseguem capturar qualquer interação do usuário com o controle remoto. A tabela 2.1 mostra um comparativo das abordagens da literatura apresentadas.

Tabela 2.1: Comparativo entre as abordagens da literatura

Abordagem	Eventos capturáveis	Local da Captura	Escalabilidade
Becker e Zuffo (2011)	<i>Zapping</i> , EPG, etc.	STB	Baixa
Mukherjee et al. (2011)	<i>Zapping</i>	STB	Baixa
As duas abordagens de Basílio et al. (2013)	Qualquer interação	STB	Média
Alvarez et al. (2009)	Qualquer interação	STB	Média
Yeh et al. (2011)	<i>Zapping</i>	Rede	Alta

2.3 Considerações finais sobre a revisão

A revisão bibliográfica apresentou conceitos relevantes para a fundamentação teórica deste trabalho e reforçou a importância do tema para a indústria de multimídia. Em relação às abordagens existentes na literatura que foram apresentadas, todas podem ser utilizadas para medir a audiência no cenário de IPTV, porém nenhuma delas segue uma padronização para esse serviço. E esse é justamente um dos maiores desafios ao se medir audiência e interatividade em IPTV, a falta de tecnologias padronizadas que possam ser utilizadas independente do provedor de serviço. Em 2012, a UIT elaborou uma série de recomendações para o serviço de medição de audiência em IPTV (ITU-T, 2012a,b,c,d). Essas recomendações definem como devem ocorrer a medição, entrega dos dados e comunicação no serviço de medição de audiência e interatividade em IPTV. Além disso, são previstos assuntos em relação à segurança e privacidade do usuário. Este trabalho visa implementar uma arquitetura para o serviço de medição de audiência e interatividade em IPTV que esteja de acordo com os requisitos mínimos obrigatórios definidos pela UIT, buscando assim resolver o problema da falta de padronização para os serviços de medição de audiência. A solução aqui apresentada é baseada na captura de eventos relacionados

à interação do usuário com o dispositivo terminal, seja através do controle remoto ou dos botões do STB. Portanto, abrange todos os serviços oferecidos pela infraestrutura IPTV (TV linear, VoD, aplicações interativas). Outra vantagem é em relação ao custo dessa abordagem. Por ser toda baseada em *software* e estar de acordo com o padrão IPTV definido pela UIT, não necessita de nenhuma infraestrutura adicional.

3 Arquitetura para medição de audiência em IPTV

A arquitetura implementada neste trabalho atende os requisitos obrigatórios definidos pela UIT (ITU-T, 2012a,b,c,d) para medição de audiência em IPTV e é distribuída em duas partes: dispositivo terminal de IPTV e servidor de medição de audiência. A figura 3.1 ilustra a infraestrutura do serviço de IPTV com medição de audiência e interatividade.

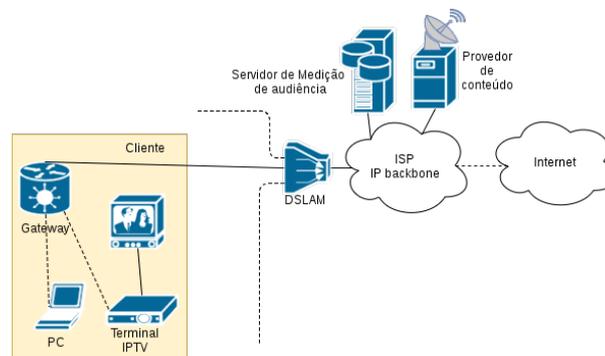


Figura 3.1: Arquitetura do serviço IPTV com o servidor de medição de audiência e interatividade

No terminal de IPTV, existem dois módulos responsáveis pela medição de audiência: *TD-Middleware* e *TD-AMF* (*Terminal Device Audience Measurement Functions*), enquanto no servidor de medição de audiência reside o *software* responsável por receber os dados de audiência enviados pelo terminal de IPTV, processá-los e persistí-los, chamado *Aggregation Functions*. A figura 3.2 ilustra o esquema lógico de comunicação entre os módulos.

3.1 *TD-Middleware*

O *TD-Middleware* é um *middleware* para terminal de IPTV que está em conformidade com a recomendação ITU-T H.721 (ITU-T, 2009e) e foi implementado pelo grupo de trabalho GT-IpeTeVê (GT-IpêTeVê, 2014) nos laboratórios da UFJF. Esse *middleware* gerencia e

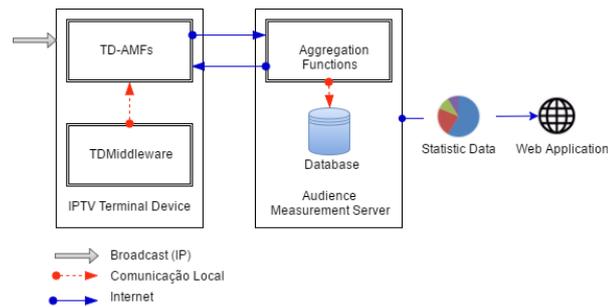


Figura 3.2: Esquema lógico de comunicação entre os módulos que compõem a arquitetura de medição de audiência e interatividade para IPTV. Fonte: (Soares e Barrére, 2016)

faz o intermédio da comunicação de todos os módulos de um terminal de IPTV, como os módulos de TV linear, VoD e o módulo Ginga (Ginga, 2016) responsável pela a reprodução de aplicações interativas. Dessa forma, o *TD-Middleware* tem acesso a qualquer evento que ocorra no terminal de IPTV, em qualquer contexto. Desde uma simples troca de canal até uma interação do usuário com uma propaganda interativa sendo executada no módulo Ginga. Devido a este fato, o *TD-Middleware* tem um papel fundamental na arquitetura de medição de audiência, que é o de repassar os eventos notificados pelos módulos do terminal de IPTV para o módulo responsável pela medição de audiência de fato, o TD-AMF.

3.2 TD-AMF (*Terminal Device Audience Measurement Functions*)

Software residente no terminal de IPTV responsável pela medição de audiência e interatividade. É sua função manter controle dos eventos reportados pelo *TD-Middleware* para geração de relatórios de audiência e interatividade que são enviados ao servidor de medição de audiência.

Para que se comece a captura e envio dos dados de audiência, é preciso que o usuário final de IPTV dê permissão para tal. Além disso, as capturas estão sujeitas às leis de privacidade de cada país. A UIT define em quatro níveis de permissão possíveis de serem concedidos pelo usuário (ITU-T, 2012b). São eles:

- Nível 0: Apenas dados de audiência são reportados

- Nível 1: Reporta dados de audiência e identificadores anônimos para distinguir usuários
- Nível 2: Informações genéricas como sexo, idade, etc são adicionadas às informações dos níveis anteriores
- Nível 3: Inclui informações identificadoras do usuário

Assim, quando o módulo TD-AMF descobre um servidor de medição de audiência na rede, é perguntado ao usuário se ele deseja permitir que sua audiência e interatividade sejam mensurados e qual nível de permissão deseja atribuir para tal.

Basicamente, existem três situações que geram relatórios de audiência e interatividade nas especificações da UIT e elas são chamadas de gatilhos (ITU-T, 2012b).

Gatilhos de evento são ativados quando um evento gerado pela interação do usuário em algum serviço do terminal IPTV ocorre. Exemplos de gatilho de eventos são: *AudioVolume*, que significa mudança de volume, *ChannelStart*, que representa início de um canal, *ChannelStop*, indica que o usuário parou de assistir a um canal (pode vir seguido de um *ChannelStart* de um outro canal, o que configura mudança de canal), *VideoZoom* e *VideoResize*, que representam *zoom* e redimensionamento de vídeo, respectivamente, dentre outros eventos que podem ser disparados pelo usuário.

Os gatilhos de tempo são disparados periodicamente de acordo com frequências que são definidas nas configurações que são enviadas pelo servidor de medição de audiência ao terminal IPTV. A cada período de tempo definido nas configurações, um relatório de audiência é gerado reportando informações de estado vigentes no momento. Algumas das informações possíveis de serem reportadas por gatilhos de tempo são: *ChannelsPlaying* (canais sendo assistidos no momento), *VideosPlaying* (vídeos que estão sendo reproduzidos), *TDLocation* (localização do usuário no momento do disparo do gatilho de tempo), *UserPresent* (última vez que a presença do usuário foi detectada), etc.

O último tipo de gatilho é o de início de serviço. Esses gatilhos são disparados quando o usuário inicia algum serviço disponível no terminal, como por exemplo: *TDLocation*, *UserList* (lista de usuários daquele terminal IPTV), *DeviceInfo* (informações do dispositivo), dentre outros.

Os relatórios de medição de audiência estão em formato XML que tem sua estrutura padronizada pela UIT nas recomendações ITU-T H.741.2 e H.741.3 (ITU-T, 2012c,d). A figura 3.3 mostra um exemplo de relatório de medição de audiência reportado pelo TD-AMF ao servidor de medição de audiência e interatividade.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<AMReportPackage>
<SubscriberID>12345</SubscriberID>
<TerminalDeviceID>I3E56</TerminalDeviceID>
<MeasurementReport>
<MeasurementRequestID>991</MeasurementRequestID>
<ReportTime>24/6/2016 1:45:16</ReportTime>
<ChannelPlaying>
<ServiceIdentifier>Globo</ServiceIdentifier>
<ServiceInstanceID>1</ServiceInstanceID>
</ChannelPlaying>
</MeasurementReport>
</AMReportPackage>
```

Figura 3.3: Exemplo de relatório de audiência e interatividade gerado por um gatilho de tempo, reportando o canal que um cliente estava assistindo

3.3 *Aggregation Functions* - AF

Este *software* é executado no servidor de medição de audiência e é responsável por configurar o funcionamento da captura de dados nos terminais IPTV, receber os relatórios de audiência e agregar dados adicionais que possam enriquecer as informações, e por fim, persistir esses dados.

Nas configurações enviadas pelo servidor aos clientes estão definidos os conjuntos de dados que serão capturados no terminal de IPTV, periodicidade para disparo de gatilhos de tempo, horários e dias da semana que a captura deve ocorrer, modos de entrega de dados, número de retransmissões, endereços para entrega, conteúdos que devem ter sua audiência mensurada, dentre outras configurações. A figura 3.4 mostra uma parte da estrutura de árvore de um XML de configuração enviado pelo servidor de medição de audiência ao dispositivo terminal de IPTV. Na parte mostrada estão configurações de horário para medição de audiência, eventos que devem ser reportados, informações que devem ser incluídas nos relatórios gerados pelo gatilho de tempo e periodicidade (em segundos) para disparo do mesmo.

O servidor de medição de audiência deve receber os relatórios de medição de

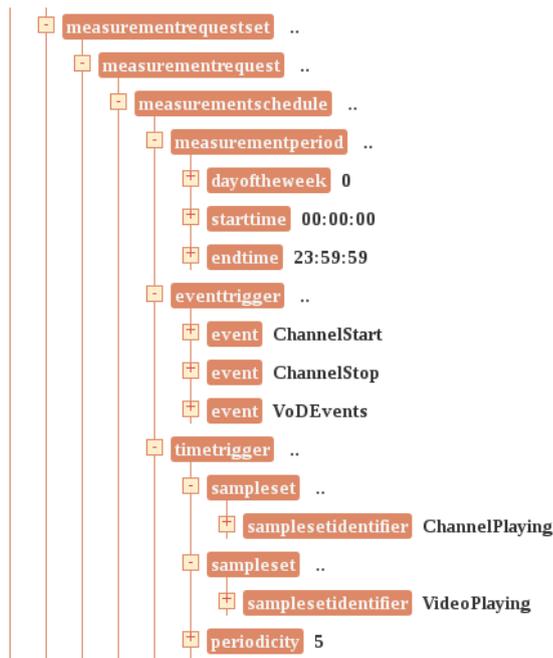


Figura 3.4: Parte da estrutura de árvore de um XML de configuração enviado pelo servidor ao terminal de IPTV

audiência enviado pelos clientes e processar o XML, extraindo os dados nele contido. Após isso, podem ser adicionadas algumas informações extras que sejam relevantes para o contexto daquelas informações capturadas no terminal IPTV. Exemplo dessas informações extras são: ocorrência de feriados ou grandes eventos no momento da captura daquelas informações. Após todo esse processo, essas informações são persistidas em um banco de dados relacional que reside no próprio servidor de medição de audiência.

4 Detalhes de Implementação da Arquitetura

As recomendações para medição de audiência e interatividade em IPTV da UIT não especificam como deve ser feita a troca de dados internamente no terminal IPTV. Dessa forma, para a troca de dados entre o *TD-Middleware* e o módulo TD-AMF foi escolhido o formato JSON, devido a ser um formato de dados bem difundido e de fácil manipulação. Um exemplo de JSON reportado pelo *TD-Middleware* para o TD-AMF é mostrado na figura 4.1.

```
{
  "Events": {
    "ChannelStart": {
      "ControlDevice": 0,
      "StartNavMethod": 0,
      "PreviousServiceInstanceID": 1,
      "ServiceInstanceID": 1,
      "ServiceIdentifier": "Globo",
      "ViewMode": "FullScreen",
      "Obscuration": 0.3
    }
  }
}
```

Figura 4.1: Notificação de evento enviada do TDMiddleware para o módulo de medição de audiência do terminal

A implementação do módulo TD-AMF foi feita através da linguagem C++. Além disso, foi utilizada a biblioteca Xerces⁹ para realizar o *parsing* dos documentos XML trocados entre servidor e terminal IPTV e a biblioteca RapidJSON¹⁰ para *parsing* dos JSONs trocados entre *TD-Middleware* e TD-AMF. No módulo TD-AMF existem basicamente três *threads* principais responsáveis por tarefas distintas. A primeira é responsável por escutar uma porta TCP esperando notificações de eventos por parte do TDMiddleware. A segunda é responsável por se conectar e enviar os relatórios de medição de audiência

⁹<http://xerces.apache.org/>

¹⁰<https://github.com/Tencent/rapidjson>

via *socket* TCP para as AFs do servidor de medição de audiência. A terceira *thread* é responsável por cronometrar os tempos de periodicidade para disparos dos gatilhos de tempo para geração de relatórios de audiência e interatividade.

Para a entrega dos dados capturados no terminal IPTV ao servidor de medição de audiência foi implementado o modo *Immediate Push* de entrega, que é definido na recomendação ITU-T H.741.1 (ITU-T, 2012b). Este modo de entrega envia os dados de medição assim que gerados, porém é possível definir parâmetros para que o envio ocorra apenas quando um certo número de relatórios de audiência for acumulado ou quando um determinado tempo for atingido. Estes parâmetros são definidos pelas AFs.

Na implementação apresentada neste trabalho é papel do módulo TD-AMF filtrar as informações a serem enviadas ao servidor de acordo com o nível de permissão concedido pelo usuário, o que é chamado pela UIT nas suas especificações como modo de permissão interno (ITU-T, 2012b). Vale destacar que na implementação atual, somente o Nível 0 de permissão do usuário foi considerado. Esta decisão foi pautada em limitações da versão atual do *TD-Middleware*. Os demais níveis serão contemplados em implementações futuras. Assim, quando o módulo TD-AMF descobre um servidor de medição de audiência na rede, é perguntado ao usuário se ele deseja permitir que sua audiência e interatividade sejam mensurados. Caso a resposta seja sim, é atribuído por *default* o nível de permissão 0 ao módulo TD-AMF que então solicitará as configurações de medição de audiência ao servidor para então começar a reportar os dados de acordo com essas configurações.

Na implantação do servidor de medição de audiência foram utilizadas as tecnologias JAVA e o banco de dados MySQL¹¹. Para o *parsing* dos documentos XML foi utilizada a API DOM¹².

Mais especificamente, as AFs do servidor de medição de audiência disparam uma *thread* para tratar cada conexão de dispositivo terminal, desta forma é possível tratar várias conexões simultâneas. Apesar deste modelo possibilitar o tratamento de várias conexões simultâneas, existe um *overhead* para a criação e destruição das *threads*. Outras abordagens serão implementadas e testadas no futuro.

As AFs também são responsáveis por configurar o módulo TD-AMF do terminal

¹¹<https://www.mysql.com/>

¹²<https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/org/w3c/dom/package-summary.html>

IPTV. Para a entrega destas configurações foi implementado o modo *pull* definido pela UIT em ITU-T H.741.1 (ITU-T, 2012b). Neste modo de configuração, o terminal de IPTV deve requisitar ao servidor de medição de audiência e interatividade o XML contendo as configurações de medição de audiência e interatividade.

5 Modelo Comportamental

Na pesquisa relacionada a ambientes de TV Digital, como o IPTV, existe o desafio de validar as implementações realizadas. Visto que nesses ambientes, geralmente, existe uma grande base de usuários, é preciso levar em consideração questões de escalabilidade e performance, além de verificar o correto funcionamento da implementação. A melhor opção seria obter essas avaliações a partir de testes em um cenário real, porém existe o entrave de esses ambientes serem em sua grande maioria comerciais, o que torna essa tarefa difícil de ser realizada. Dessa forma, surge a necessidade de modelos matemáticos que consigam modelar o comportamento dos usuários desses ambientes para que seja possível que esses testes sejam realizados em laboratório.

O comportamento de usuários de ambiente de TV Digital pode ser modelado como um processo estocástico. Um processo estocástico é definido por Alves e Delgado (1997) como um conjunto de variáveis aleatórias associadas a uma variável que, geralmente, é o tempo. Diferente de um processo determinístico, onde a função $f(t)$ assume valores bem definidos ao longo da passagem do tempo, em um processo estocástico a função toma valores aleatórios. Aos valores que a função de um processo estocástico pode assumir, dá-se o nome de estados. Dessa forma, como não é possível determinar de forma determinística as interações do usuário de IPTV com o ambiente ao longo do tempo, essas interações ficam caracterizadas como um processo estocástico.

5.1 Classificação dos processos estocásticos

Um processo estocástico pode ser classificado em relação ao conjunto de estados, a natureza do conjunto da variável tempo e as características estocásticas das variáveis aleatórias que representam o processo (Alves e Delgado, 1997).

5.1.1 Conjunto de estados

Se o conjunto de estados de um processo estocástico for finito ou enumerável (por exemplo: conjunto dos números inteiros positivos ¹³), esse processo é chamado de processo estocástico de estados discretos. Caso contrário, é chamado de processo estocástico de estados contínuos (Alves e Delgado, 1997).

5.1.2 Variável tempo

No caso em que a variável tempo é finita ou enumerável, o processo estocástico é classificado como de tempo discreto. Caso contrário, é um processo em tempo contínuo (Alves e Delgado, 1997).

5.1.3 Natureza estocástica das variáveis

Um processo estocástico pode ser classificado como estacionário e não-estacionário. Ele será classificado como estacionário se o seu comportamento estocástico não variar com a passagem do tempo. Em outras palavras, se as funções de distribuição de probabilidades que definem as variáveis aleatórias não dependerem do tempo. Caso contrário, será classificado como não-estacionário.

Além disso, um processo estocástico pode ser definido como *Markoviano*, se e somente se, for estacionário e apresentar a propriedade de Markov ou, como também é conhecida, de perda de memória. Ou seja, além de seu comportamento estocástico não variar com o tempo, a distribuição de probabilidade condicional para alcançar estados futuros depende apenas do estado atual, não importando a sequência de eventos que o antecedeu (Bickenbach e Bode, 2003). Além disso, no caso dos processos markovianos em tempo contínuo, todos os tempos entre eventos sucessivos têm que ser distribuídos de forma exponencial. Já nos processos *Semi-Markovianos* (PSM), cada estado pode ter seu tempo de permanência dado por funções de distribuição diferentes da exponencial, porém a propriedade de *Markov* da perda de memória referente à probabilidade de alcançar estados futuros permanece válida.

¹³Acessar o link para obter a prova de que se um conjunto pode ser mapeado nos números naturais então esse conjunto é enumerável: <https://goo.gl/JGFX9J>

Apesar da propriedade da perda de memória muitas vezes não condizer com a realidade, os processos *Markovianos* são amplamente utilizados nos estudos de fenômenos estocásticos devido a facilidade com que podem ser modelados. Uma das aplicações desse tipo de processo estocástico, e que é de interesse deste trabalho, é na modelagem do comportamento dos usuários de ambientes de TV Digital (Radiodifusão, *Broadband*, IPTV) ao interagirem com os serviços dessas plataformas.

5.2 Cadeias de Markov em tempos discretos

Uma Cadeia de Markov com um conjunto de estados $X = \{1, 2, 3, 4, \dots\}$ em tempo discreto é definida como um tipo de processo estocástico onde a variável t é discretizada de forma a representar intervalos de tempo. Dessa forma, essa cadeia pode ser representada como $\{X(t), t = 0, 1, 2, 3, \dots\}$. Além disso, por ser um tipo de processo *markoviano*, satisfaz a propriedade da perda de memória. Isto é, a probabilidade de alcançar um estado j só depende do estado i imediatamente anterior (Alves e Delgado, 1997; Bickenbach e Bode, 2003). Como é mostrado na Equação 5.1.

$$\begin{aligned} P_{i,j} &= P\{X(t+1) = j \mid X(t) = i, X(t-1) = k_{t-1}, X(t-2) = k_{t-2}, \dots, X(0) = k_0\} \\ &= P\{X(t+1) = j \mid P(t) = i\} \end{aligned} \tag{5.1}$$

5.2.1 Representação das cadeias de Markov em tempos discretos

Uma cadeia de Markov em tempos discretos pode ser descrita totalmente através do seu conjunto de estados X e as probabilidades $P_{i,j}$, i , de transição entre eles. Duas formas muito comuns de representação das cadeias de Markov são a matriz de transições e o diagrama de transições (também chamada de máquina de estados finita) (Alves e Delgado, 1997; Bickenbach e Bode, 2003). A figura 5.1 ilustra essas formas de representação.

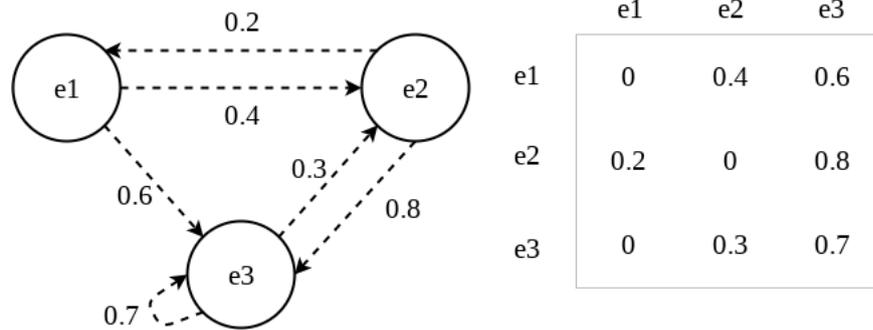


Figura 5.1: Diagrama de transições (à esquerda) e tabela de transições (à direita)

5.3 Cadeias de Markov em tempos contínuos

Cadeias de Markov em tempos contínuos são aquelas onde a variável tempo é contínua, representando instantes de tempo ao invés de períodos. Uma cadeia de Markov em tempos contínuos que possui um conjunto de estados X , pode ser denotada como $\{X(t), t \geq 0\}$. Como todo processo markoviano, atende à propriedade da perda de memória relacionada às probabilidades de transição apresentada na Equação 5.1.

Nesse tipo de cadeia de Markov, o tempo de permanência passa a ter relevância. Esse tempo de permanência é uma variável aleatória que também possui a característica de perda de memória. Ou seja, sua distribuição não tem relação com o tempo que o processo já tenha permanecido nesse estado anteriormente. A única distribuição contínua que atende essa propriedade é a distribuição exponencial (Alves e Delgado, 1997; Bickenbach e Bode, 2003).

5.3.1 Representação das cadeias de Markov em tempos contínuos

Devido às suas características, uma cadeia de Markov em tempos contínuos fica totalmente representada se conhecermos seus estados, as probabilidades de transição entre eles e os parâmetro μ_i da distribuição exponencial de cada variável aleatória t_i que representa o tempo de permanência no estado i . Essa função de distribuição de probabilidades Ft_i tem a seguinte forma: $Ft_i(t) = P(t_i \leq t) = 1 - e^{-t\mu_i}$ e dá a probabilidade de a variável aleatória t_i assumir valores menores ou igual a um valor t (Alves e Delgado, 1997; Bickenbach e Bode, 2003).

5.4 Processos semi-markovianos

Um processo semi-markoviano (PSM) é uma generalização de uma cadeia de Markov em tempos contínuos, onde os tempos de permanência em seus estados podem estar distribuídos de acordo com outras funções que não sejam à exponencial (Serin, 2010). Portanto, quando um PSM atinge um estado i , ele permanecerá neste estado por um período aleatório de tempo t_i dado por uma função genérica de distribuição. Depois disso, o processo irá para outro estado j de acordo com as probabilidades de transição, como nas cadeias de Markov convencionais.

Assim como nas cadeias de Markov, um PSM tem um conjunto X de estados finito ou contável de estados e apresenta a propriedade de perda de memória relacionada às probabilidades condicionais de se atingir um determinado estado i (ver Equação 5.1). Porém, em relação aos tempos de permanência não apresenta esta propriedade, porque estes podem estar distribuídos de acordo com funções que não são a exponencial. E como já dito na seção 5.3, a única função de distribuição que apresenta a propriedade de Markov é a exponencial (Alves e Delgado, 1997; Bickenbach e Bode, 2003; Serin, 2010).

5.4.1 Representação dos processos semi-markovianos

Por causa das propriedades citadas, para definir um processo semi-markoviano é preciso conhecer seu conjunto de estados e as probabilidades de transição entre eles, como nas cadeias de Markov. Mas também é preciso saber cada função $Ft_i(t)$ de distribuição das variáveis aleatórias $\{t_i, i = 0, 1, 2, \dots, n\}$ que representam o tempo de permanência em cada estado i do processo estocástico. Essas funções podem ser definidas como $Ft_i(t) = P(t_i \leq t)$. Ou seja, a probabilidade de a variável aleatória t_i assumir valores menores ou igual a uma constante t (Serin, 2010).

5.5 Modelo implementado

Como já dito anteriormente, as cadeias de Markov e os processos semi-markovianos são muito utilizados para modelar fenômenos com comportamentos estocásticos, devido a sua simplicidade de implementação. Mesmo que às vezes a modelagem não seja precisa, devido

à simplificação que esse tipo de modelo gera, é possível atingir resultados satisfatórios. Por essa razão, para a realização de testes na arquitetura implementada no presente trabalho, buscou-se estudar trabalhos na literatura que apresentam esse tipo de modelo para simulação de interação do usuário com plataformas de TV digital. Os trabalhos que se destacaram nesse sentido foram os trabalhos de Basilio et al. (2013) e Gopalakrishnan et al. (2011).

No trabalho de Basilio et al. (2013) é proposto um modelo baseado em cadeias de Markov de tempo discreto para simular o comportamento do telespectador no uso de interatividade em ambientes de TVDi. Como forma de demonstrar a exatidão no cálculo das probabilidades de transição entre os estados, Basilio et al. (2013) apresentam uma instância desse modelo para um estudo de caso realizado utilizando dados de interatividade de 27 telespectadores que foram escolhidos sem nenhuma base estatística. E através de cálculos, demonstra que o modelo conseguiu se aproximar bem do comportamento observado dos telespectadores.

Já no trabalho de Gopalakrishnan et al. (2011), é proposto um processo semi-markoviano (PSM) para modelar o comportamento do usuário de IPTV ao interagir com o serviço de VoD. O modelo apresentado é caracterizado por uma máquina de estados finita (MEF) para modelar a sequência de eventos de controle de *stream* e pelo fato dos tempos de permanência em cada estado serem independentes. Os tempos de permanência são modelados através de funções de distribuição acumulada. Onde cada estado possui a função de distribuição que modela seu tempo de permanência. O modelo apresentado por Gopalakrishnan et al. (2011) foi obtido a partir da análise dos dados resultantes de todas as interações geradas por cerca de 300 mil usuários de 10 áreas metropolitanas, durante um período de 9 dias. Com o objetivo de cobrir tanto dias de semana quanto fins de semana. Os resultados obtidos pelos autores mostram que os traços gerados pelo modelo se aproximam de forma bastante satisfatória dos traços reais.

Apesar do modelo proposto por Basilio et al. (2013) demonstrar um bom potencial, se trata de uma cadeia de Markov em tempo discreto. Ou seja, o tempo de permanência nos estados acabam não importando, o que gera uma simplificação do modelo muito além do desejado. Principalmente para o contexto do presente trabalho, onde

deseja-se gerar tráfego de dados de audiência mais próximos do real para realização de teste de carga na arquitetura implementada. Além disso, o estudo de caso realizado por Basilio et al. (2013) utilizou dados apenas de 27 telespectadores, sendo necessária uma validação utilizando maior volume de dados para demonstrar seu real potencial de modelagem.

Por outro lado, o trabalho de Gopalakrishnan et al. (2011) propõe o uso de um PSM para modelar a interação dos usuários ao utilizar o serviço de VoD no ambiente IPTV. Um PSM, como é uma generalização das cadeias de Markov em tempos contínuos, apresenta um ganho em poder de modelagem, conseguindo se aproximar com mais exatidão do comportamento observado. Isso se deve ao fato de que, além de o tempo de permanência em cada estado ter importância e ser levado em consideração, podem ser utilizadas quaisquer funções de distribuição para modelá-los, não ficando preso apenas à distribuição exponencial. Dessa forma, é possível modelar de forma mais fiel e independente as particularidades de cada estado do processo estocástico.

Devido aos bons resultados obtidos e demonstrados pelo PSM apresentado por Gopalakrishnan et al. (2011), por esse ter sido amplamente validado com os dados de interação de milhares de usuários de IPTV, e também, pelo fato do VoD ser um dos serviços de *streaming* mais utilizados atualmente, este presente trabalho implementou e utilizou o PSM de Gopalakrishnan et al. (2011) para simulação de carga na arquitetura de medição de audiência e interatividade em IPTV implementada para a realização dos testes que serão descritos no capítulo seguinte.

Ainda sobre a justificativa da escolha do VoD para a realização dos testes de carga. Além desse ser um dos serviços multimídia mais populares hoje em dia, existe um grande interesse por parte de anunciantes e institutos de pesquisa pelos dados de audiência e interatividade dos usuários nesses serviços. Obviamente, esses dados podem ser coletados de forma mais fácil e menos custosa financeiramente por quem entrega o conteúdo (Netflix, YouTube, etc) em seus servidores, porém outros interessados não tem acesso a esses dados. Dessa forma, é interessante que essa medição possa ocorrer também no dispositivo terminal, para que esses dados possam ficar disponíveis para qualquer interessado inscrito no servidor de medição de audiência e interatividade.

5.5.1 Detalhes de Implementação do Modelo

A implementação de todo o modelo foi realizada com a linguagem de programação Python na versão 3.5.

Como já dito, o modelo apresentado por Gopalakrishnan et al. (2011) possui uma máquina de estados finita para modelar a sequência de eventos de controle de *stream*. A figura 5.2 ilustra essa máquina, onde o arcos indicam as probabilidades de transição de um estado para outro. Essas probabilidades foram obtidas através da coleta de dados feita no trabalho de Gopalakrishnan et al. (2011).

Para os testes de carga realizados neste presente trabalho, foi feita a implementação da máquina de estados do modelo SM utilizando as mesmas probabilidades de transição de estados apresentadas em (Gopalakrishnan et al., 2011). Essa máquina de estados foi representada na forma de tabela de transição, utilizando a estrutura de dicionário da linguagem Python.

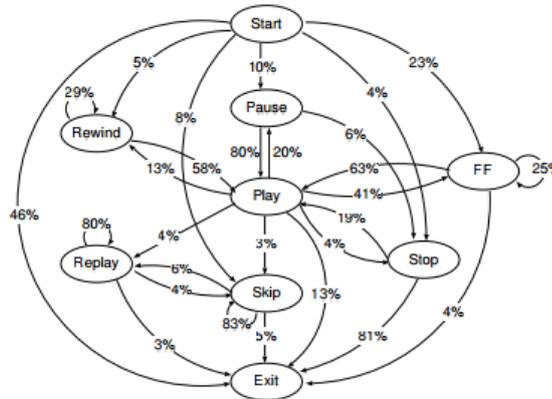


Figura 5.2: MEF que modela a sequência de eventos de controle de *stream* de VoD. Fonte: (Gopalakrishnan et al., 2011)

Para modelar o tempo de permanência dos usuários em cada estado da MEF, foram utilizadas funções de distribuição acumulada, assim como em (Gopalakrishnan et al., 2011).

Seja T_s uma variável aleatória que denota o tempo de permanência em um estado s . A Função de Distribuição Acumulada (FDA) $F_s(\tau) = P(T_s \leq \tau)$ dá a probabilidade do tempo de permanência T_s ser menor que τ . Onde τ representa o tempo de permanência em um estado normalizado pelo tamanho do vídeo. A figura 5.3 mostra as FDAs utilizadas

neste presente trabalho para modelar o tempo de permanência de cada estado. No eixo y é representada o valor de $F_s(\tau)$ e no eixo x está representado o $\log(\tau)$ na base 10.

Essas funções foram escolhidas de forma a se aproximarem das utilizadas em (Gopalakrishnan et al., 2011) para que o modelo represente da forma mais fiel possível o comportamento observado dos usuários de IPTV no uso de VoD. Para a implementação das FDA do tempo de permanência em cada estado foi utilizado o módulo *Stats* a biblioteca *SciPy*¹⁴ para Python 3.5.

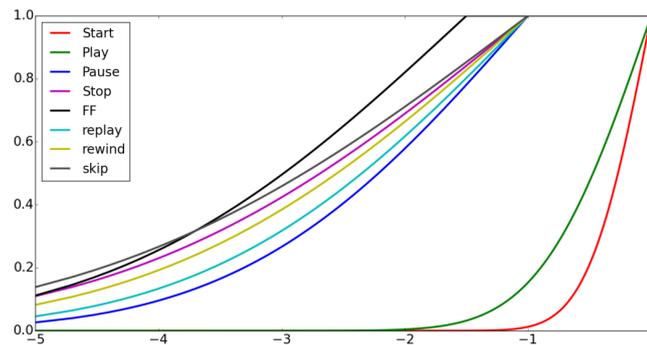


Figura 5.3: FDAs, com x na escala logarítmica, utilizadas para modelar o tempo de permanência nos estados da MEF da figura 5.2

Nas coletas de dados de interação realizadas por Gopalakrishnan et al. (2011), notou-se que tempo de permanência dos usuários nos estados *Start* e *Play*, no geral, é muito maior que em outros estados onde a tendência é que o usuário transite rapidamente por eles. Portanto, as FDA que modelam o tempo de permanência dos estados *Start* e *Play* devem dar a eles maior probabilidade de alta duração, em relação ao tamanho do vídeo, que a outros estados. A tabela 5.1 mostra o tempo médio (normalizado pelo tamanho do vídeo) de permanência em cada estado da MEF implementada. Os tempos médios foram obtidos a partir das FDAs da figura 5.3. Nessa figura, nota-se, por exemplo, que a soma total de probabilidades de tempo de duração do estado *Start* está quase toda concentrada na parte do eixo x que representa valores maiores que -1. Como o eixo x está na forma $\log(\tau)$, isso quer dizer que a soma total de probabilidades do estado *Start* está quase toda na parte que representa valores maiores que 10^{-1} , ou seja, durações maiores que 10% do vídeo. O que significa que o estado *Start* tem grande probabilidade de durar mais que 10% e pouca de durar menos que isso.

¹⁴<https://www.scipy.org/>

Tabela 5.1: Tempo de permanência médio de cada estado da MEF normalizado pelo tamanho do vídeo

Estado	Média de Duração	Variância
Start	0,47	0,33
Play	0,27	0,14
Pause	3,66e-3	6,3e-3
Stop	1,01e-3	2.86e-5
FF	1,27e-4	2.87e-7
Replay	2,53e-3	1,23e-3
Rewind	1,46e-3	1,43e-4
Skip	7,00e-4	5.03e-6

6 Experimentos e Análises

Para a realização dos experimentos foi utilizada uma máquina atuando como servidor de medição de audiência e interatividade. Essa máquina é responsável por configurar a captura dos dados de audiência e interatividade nos dispositivos terminais dos clientes, receber e processar os relatórios de medição de audiência e salvá-los num banco de dados relacional. O servidor possui as seguintes configurações: processador Intel(R) Core(TM) i3-3240 CPU @ 3.40GHz, 8GB de RAM e sistema operacional Linux Mint 18 x64.

Além disso, foram utilizadas máquinas clientes atuando como terminais de IPTV, todas interligadas ao servidor por uma rede Gigabit IPV6 isolada de qualquer comunicação externa, simulando assim uma rede passível de existir num ambiente real de IPTV. Em cada máquina cliente foi executada uma instância do processo semi-markoviano (PSM) apresentado na seção 4 para simular o comportamento dos usuários no uso de VoD. Gerando assim, dados de audiência e interatividade a serem reportados ao servidor pelo módulo de medição de audiência do terminal (TD-AMF).

Para a realização dos testes foram utilizados vídeos que têm duração entre 1 minuto e 1 hora, com igual probabilidade de serem escolhidos pelos clientes. Ao iniciar uma sessão, o usuário escolhe um vídeo e a partir daí se dá início à execução do modelo SM. Para que o número de usuários seja sempre o mesmo enviando dados para o servidor, adotou-se que se por decorrência das interações geradas pelo modelo o usuário vá pra o estado *Exit* ou então se o vídeo chegar ao fim, o mesmo cliente iniciará uma nova sessão com outro vídeo sendo escolhido.

Em um primeiro experimento buscou-se variar o número de usuários enviando dados simultaneamente para o servidor. Para isso, fixou-se o tempo de periodicidade para envio de dados capturados por gatilhos de tempo, neste caso a informação *VideoPlaying* (diz qual vídeo o usuário está assistindo no momento do disparado do gatilho de tempo) a cada 30 segundos. Além disso, todos os eventos de controle relacionados a VoD foram reportados pelo TD-AMF assim que ocorreram, através do modo *Immediate Push*(ITU-T, 2012b) de entrega.

Com esse experimento, objetivou-se demonstrar como o crescimento do número de usuários impacta no desempenho do servidor de medição de audiência. O tempo de processamento de um relatório de audiência e interatividade pelo servidor depende linearmente do tamanho do XML recebido. Porém, verificou-se que pelo fato de apenas serem reportados dados relativos ao serviço de VoD, todos os XMLs reportados tinham um tamanho muito parecido, com uma média de 500 bytes, com variação de no máximo 5%. Por isso, levou-se em consideração apenas o número de usuários conectados simultaneamente ao servidor na realização dos experimentos. Para cada número de usuários, o experimento foi realizado por 1 hora ininterrupta. A tabela 6.1 mostra a relação entre o número de clientes conectados ao servidor e o de relatórios de audiência e interatividade recebidos por segundo pelo servidor e a figura 6.1 mostra a reta que melhor se ajusta aos pontos obtida através do método dos mínimos quadrados.

Tabela 6.1: Taxa média de relatórios de audiência recebidos por segundo

Número de clientes	Relatórios por segundo
5	0,20
10	0,40
20	0,79
30	1,09
40	1,37

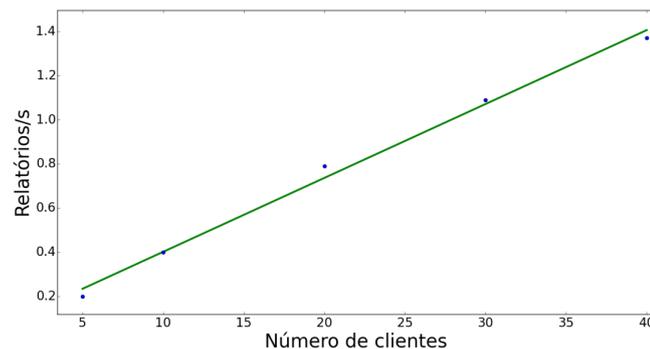


Figura 6.1: Crescimento da taxa média de relatórios por segundo a medida que varia-se o número de clientes conectados ao servidor. Fonte: (Soares e Barrére, 2017)

Observando a figura 6.1 nota-se que a reta se ajustou bem aos pontos, o que indica que o crescimento da média do número de relatórios recebidos por segundo pelo servidor tende a crescer linearmente com o número de usuários. Essa informação é importante, pois esse fator impacta diretamente no desempenho de rede e servidor, o que pode comprometer

toda a arquitetura. Por isso, é fundamental que se leve isso em consideração no momento da implantação da arquitetura de medição de audiência e interatividade em ambientes reais de IPTV, planejando da melhor forma sua infraestrutura de rede e servidores de modo a conseguir lidar com esse crescimento. Espera-se que o tempo de resposta do servidor tenha relação direta com o número de clientes conectados e conseqüentemente com o número de relatórios processados por segundo pelo mesmo. A tabela 6.2 mostra a relação entre o número de clientes conectados e o tempo de resposta médio e na figura 6.2 é representado um gráfico relacionando o número médio de relatórios por segundo e o tempo médio de resposta do servidor.

Tabela 6.2: Relação entre o número de clientes conectados simultaneamente e o tempo de resposta médio do servidor

# de clientes	Tempo de resposta (s)	Variância
5	0.132	1,89e-3
10	0.134	2,57e-3
20	0.137	1,28e-2
30	0.159	4,23e-3
40	0.160	0,13

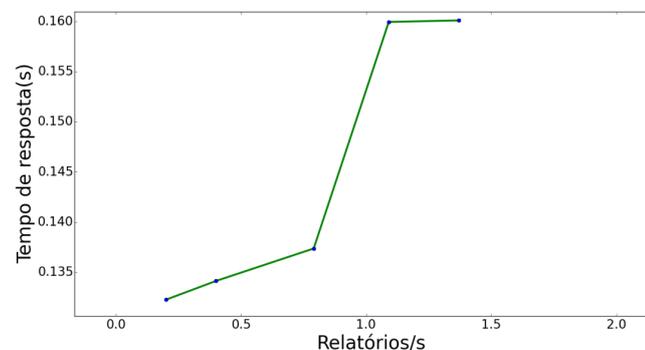


Figura 6.2: Tempo de resposta médio do servidor x taxa média de relatórios por segundo. Fonte: (Soares e Barrére, 2017)

O que mais chama atenção na figura 6.2 é que a função começa crescendo a uma taxa pequena e de repente ocorre um crescimento mais brusco. Porém, depois volta a crescer a uma taxa pequena. Não é possível garantir, porém essa alternância parece ser uma tendência e deve se repetir com o aumento do número de clientes conectados. Uma evidência para isso está na tabela 6.2 que mostra como o aumento do número de usuários afeta o tempo de resposta do servidor. Note que até o número de 20 clientes, o aumento no

tempo de resposta está na terceira casa decimal. Porém quando ocorre o aumento de 20 para 30, ocorre uma mudança mais brusca (na segunda casa decimal). E, na transição de 30 para 40, volta a ocorrer o aumento na terceira casa decimal. Podemos relacionar esse tempo de resposta com a taxa de relatórios por segundo da figura 6.1. Considerando que a implementação do servidor de medição de audiência realizada neste trabalho utiliza um modelo de criação de *threads* sob demanda para tratar múltiplas conexões, esse aumento brusco na transição de 20 para 30 se deve ao *overhead* de criação das *threads*. Pois até 20 clientes a taxa de relatórios por segundo é menor que 1, o que não gera a necessidade do disparo de mais que uma *thread* por segundo para tratar as requisições. Já a partir de 30 clientes, essa taxa é superior a 1, o que faz esse número de *threads* aumentar, adicionando um tempo de *overhead*. Uma forma de resolver este problema é adotar uma abordagem *event driven* para tratar as requisições.

Na realização do primeiro experimento, notou-se que a maioria dos relatórios de audiência que são enviados para o servidor processar são os gerados a partir de gatilhos de tempo que são disparados periodicamente. Sendo assim, com o intuito de avaliar o quanto a periodicidade de envio desses dados influencia no desempenho do servidor, fez-se outro experimento de fixar o número de clientes em 40 e variar apenas essa periodicidade. A tabela 6.3 mostra a taxa de relatórios por segundo gerada por 40 clientes de acordo com a periodicidade configurada pelo servidor para o disparo dos gatilhos de tempo nos terminais IPTV. Na figura 6.3 é apresentada a curva que melhor se ajusta aos pontos, sendo ela de decaimento exponencial suave.

Tabela 6.3: Taxa média de relatórios processados por segundo pelo servidor para cada periodicidade testada

Periodicidade(s)	Relatórios por segundo
A cada 15 s	2,63
A cada 30 s	1,37
A cada 60 s	0,71

Observando o gráfico da figura 6.3 e a tabela 6.3 nota-se que a periodicidade dos disparos dos gatilhos de tempo afeta drasticamente o número médio de relatórios a serem processados por segundo pelo servidor. No primeiro experimento foi adotada como padrão a periodicidade de disparo de gatilhos de tempo de a cada 30 segundos.

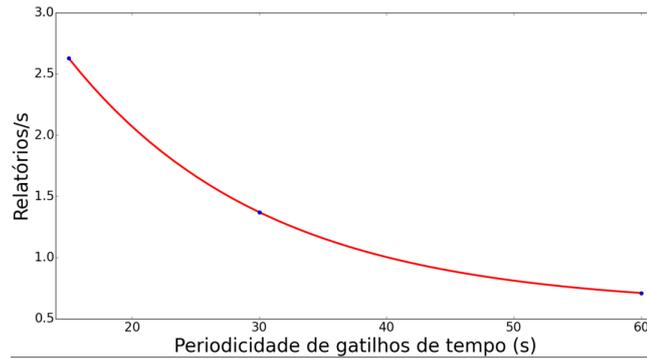


Figura 6.3: Função $f(x) = 0,59 + 5,34e^{(-0,064x)}$ que melhor se ajusta aos pontos da tabela 6.3. Fonte: (Soares e Barrére, 2017)

Quando essa periodicidade foi alterada para a cada 15 segundos, o número de relatórios de audiência praticamente dobrou, o que confirma a suposição de que a grande maioria dos relatórios de audiência e interatividade processados pelo servidor são gerados por gatilhos de tempo no terminal IPTV. Por consequência, a periodicidade de disparo de gatilhos de tempo têm grande influência no desempenho da arquitetura, impactando profundamente no tempo de resposta do servidor. A tabela 6.4 mostra esse impacto.

Tabela 6.4: Tempo de resposta médio do servidor para cada periodicidade

Periodicidade(s)	Tempo de resposta (s)	Variância
A cada 15 s	0,29	0,12
A cada 30 s	0,16	7,70e-3
A cada 60 s	0,14	2,52e-3

A periodicidade desses gatilhos de tempo é configurada pelo servidor que envia essa configuração aos terminais IPTV que terão sua audiência e interatividade mensuradas. O *peoplemeter* do IBOPE, por exemplo, faz o envio dos dados capturados a cada 1 minuto. A recomendação da UIT permite que sejam definidos grupos de informações a serem reportados com periodicidade distintas. Definindo assim, vários gatilhos de tempo, cada qual responsável por gerar relatórios de audiência e interatividade com um certo grupo de informações. Portanto, é possível que o servidor de medição de audiência defina uma periodicidade de a cada 1 minuto para VoD e a cada 30 segundos para eventos sendo transmitidos ao vivo, por exemplo. Ou então, pode-se definir horários onde os relatórios serão reportados com maior frequência e horários onde serão reportados com menor frequência, de modo a desafogar o tráfego de rede e o processamento do servidor.

O modo de entrega de dados do terminal IPTV para o servidor também influencia bastante no desempenho da arquitetura. Na arquitetura implementada neste trabalho, apenas o modo de entrega imediato foi implementado. Porém, existem outros modos de entrega possíveis dentro da recomendação da UIT onde é feito o armazenamento dos relatórios gerados para envio tardio e que podem ser uma boa solução para mitigar os efeitos gerados pelo grande número de usuários enviando dados ao mesmo tempo. Mas é preciso analisar a necessidade de cada provedor de medição de audiência, pois o modo de entrega imediato permite que os dados sejam disponibilizados em tempo real, coisa que os outros modos não permitem.

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

A primeira contribuição deste trabalho está em implementar uma arquitetura distribuída de *software* para medição de audiência e interatividade em IPTV de acordo com as recomendações da UIT. Essa etapa serve para mostrar a viabilidade de implementação da mesma. Essa implementação se mostrou ser de baixo custo, pois não necessita de nenhum *hardware* adicional em relação à infraestrutura padrão de IPTV. Portanto, pode ser amplamente utilizada nos domicílios dos usuários sem que haja um grande gasto por parte dos institutos de pesquisa. Isso faz com que os dados de audiência e interatividade coletados representem melhor a população de usuários do serviço de IPTV, auxiliando empresas de publicidade a melhor direcionar suas propagandas aos usuários desse serviço. Também faz com que os produtores de conteúdo tenham um *feedback* sobre aquilo que estão produzindo, melhorando a qualidade desse conteúdo. O que gera uma melhoria de experiência para o usuário final.

Em relação aos experimentos, eles cobriram os dois principais fatores que influenciam o desempenho da arquitetura de medição de audiência e interatividade para ambientes IPTV: número de usuários e a frequência de envio de dados para o servidor. O número de usuários tende a ser muito grande em cenários reais de aplicação e a arquitetura deve ser pensada neste sentido. Paralelizar o processamento dos relatórios de audiência e interatividade, balanceando a carga, é uma boa solução para obter tempos de resposta satisfatórios. Como já dito, infraestruturas como *clusters* de computadores podem ser utilizadas para tal propósito. Além disso, os enlaces de rede tendem a ficar congestionados com um grande número de usuários enviando informações por eles, o que pode gerar atrasos na entrega dos relatórios de audiência. Por essa razão, paradigmas como as redes definidas por software (RDS) (Guedes et al., 2012) podem ser úteis para amenizar esse problema. Os controladores da RDS podem identificar congestionamentos na rede de forma automática e alterar a rota dos pacotes, desafogando os trechos saturados. O que melhora o desempenho de toda a arquitetura.

Os experimentos também serviram para mostrar que o aumento da frequência de

envio de relatórios pelos clientes impacta de forma mais significativa no desempenho da arquitetura que o simples aumento do número de usuários. Nos testes realizados, mostrou-se que um simples aumento no espaçamento entre os envios dos relatórios gerados por gatilhos de tempo já é capaz de reduzir significativamente o tempo médio de resposta do servidor. Portanto, é preciso que os responsáveis pelo serviço de medição de audiência configurem suas medições de forma compatível com seus objetivos e que análises sejam realizadas de modo a otimizar tais configurações para gerar menos impacto possível na arquitetura, levando em conta horário da medição, tipo de serviço, conteúdo, etc.

Devido à falta de padronização na medição de audiência em IPTV e às limitações das abordagens já existentes no mercado, este trabalho traz uma contribuição ao implementar e analisar aspectos relevantes para a implantação em cenário real de uma ferramenta capaz de mensurar audiência e interatividade em IPTV e que está de acordo com as recomendações da UIT (ITU-T, 2012a). Arquitetura tal, que pode ser utilizada por institutos de pesquisa, emissoras, empresas de publicidade em seus estudos de audiência em IPTV.

Como trabalhos futuros pretende-se promover melhorias na implementação da arquitetura, principalmente no que se diz respeito ao servidor. Como, por exemplo, testar outros modelos de implementação servidores que tendem a ser mais escaláveis que o modelo de *threads*. Como as soluções baseadas em eventos, conhecidas como *event driven*. Nesse modelo, quando um pedido chega, um evento é despachado para um tratador de eventos, que trata um pedido por vez. A desvantagem desta abordagem é que não é possível tratar as requisições simultaneamente. Ou seja, se um único pedido demorar muito a ser tratado enquanto outros chegam, estes terão que ficar em uma fila e aguardar sua vez. A vantagem é a não existência de um *overhead* para criação e destruição de threads. Além disso, também existe a possibilidade da implementação de uma abordagem híbrida que combine paralelismo com *event driven*. Também cabem estudos na parte da segurança dos servidores de medição de audiência e interatividade.

Em relação aos testes, pretende-se realizá-los em maior escala e levando em conta outros serviços (TV linear, aplicações Ginga-NCL, etc). Também é intenção realizar análises sobre outros aspectos: como os impactos na rede e nos recursos limitados dos

dispositivos terminais (CPU e memória). E, dessa forma, fornecer todo ferramental para que a comunidade adote essa implementação como referência e contribua com melhorias ou soluções nela baseadas.

Bibliografia

- Alves, R.; Delgado, C. **Processos estocásticos**. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/71434/2/40417.pdf>, 1997. Acessado em setembro de 2017.
- Alvarez, F.; Martín, C. A.; Alliez, D.; Roc, P. T.; Steckel, P.; Menendez, J. M.; Cisneros, G. ; Jones, S. T. Audience measurement modeling for convergent broadcasting and iptv networks. **IEEE Transactions on Broadcasting**, v.55, n.2, p. 502–515, 2009.
- Barnes, B. E.; Thomson, L. M. Power to the people (meter): Audience measurement technology and media specialization. **Audiencemaking: How the media create the audience**, v.22, p. 75–94, 1994.
- Basilio, S. d. C. A.; Moreno, M. F. ; Barrére, E. **Supporting interaction and audience analysis in interactive tv systems**. In: Proceedings of the 11th european conference on Interactive TV and video, p. 23–30. ACM, 2013.
- Basílio, S. d. C. A.; Moreno, M. F. ; Barrére, E. **Modeling digital interactive tv users behavior**. In: Proceedings of the 19th Brazilian symposium on Multimedia and the web, p. 309–312. ACM, 2013.
- Becker, V.; Zuffo, M. K. Medição de audiência em ambientes de TV digital. **Conexão-Comunicação e Cultura**, v.9, n.18, 2011.
- Bermejo, F. Audience manufacture in historical perspective: from broadcasting to google. **New Media & Society**, v.11, n.1-2, p. 133–154, 2009.
- Berte, K. Reclame in een digitaal medialandschap. **Uitdagingen, opportuniteiten en**, 2010.
- Bickenbach, F.; Bode, E. Evaluating the markov property in studies of economic convergence. **International Regional Science Review**, v.26, n.3, p. 363–392, 2003.
- Carlson, M. Tapping into tivo digital video recorders and the transition from schedules to surveillance in television. **New Media & Society**, v.8, n.1, p. 97–115, 2006.
- Cha, M.; Rodriguez, P.; Crowcroft, J.; Moon, S. ; Amatriain, X. **Watching television over an ip network**. In: Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement, p. 71–84. ACM, 2008.
- GT-IPêTeVê. **Serviço de televisão ip de alcance global**. <https://goo.gl/6uth7q>, 2014. Acessado em maio de 2017.
- Ginga. **Tv interativa se faz com ginga**. <http://www.ginga.org.br/en>. Acessado em dezembro de 2016.
- Gopalakrishnan, V.; Jana, R.; Ramakrishnan, K.; Swayne, D. F. ; Vaishampayan, V. A. **Understanding couch potatoes: measurement and modeling of interactive usage of iptv at large scale**. In: Proceedings of the 2011 ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference, p. 225–242. ACM, 2011.

- Guedes, D.; Vieira, L.; Vieira, M.; Rodrigues, H. ; Nunes, R. V. Redes definidas por software: uma abordagem sistêmica para o desenvolvimento de pesquisas em redes de computadores. **Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores-SBRC 2012**, v.30, n.4, p. 160–210, 2012.
- IBOPE. **A audiência da TV brasileira**. <http://www.ibope.com.br>. Acessado em setembro de 2016.
- ITU-T. **Iptv terminal devices: Basic model. recommendation h.721, international telecommunication union**, 2009.
- ITU-T. **Iptv application event handling: Overall aspects of audience measurement for iptv services. recommendation itu-t h.741.0**, 2012.
- ITU-T. **Iptv application event handling: Audience measurement operations for iptv services. recommendation itu-t h.741.1**, 2012.
- ITU-T. **Iptv application event handling: Data structures of audience measurement for iptv services. recommendation itu-t h.741.2**, 2012.
- ITU-T. **Iptv application event handling: Audience measurement for iptv distributed content services. recommendation itu-t h.741.3**, 2012.
- Jennes, I.; Pierson, J. **Audience measurement and digitalisation: Digital TV and internet**. In: *Proceedings of the 9th International Interactive Conference on Interactive Television, EuroITV '11*, p. 97–100, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- Lua. **The Programming Language**. <https://www.lua.org/>. Acessado em dezembro de 2016.
- Miller, P. Made-to-order and standardized audiences: Forms of reality in audience measurement. **Audience-making: How the media create the audience**, v.22, p. 57–74, 1994.
- Mukherjee, D.; Chattopadhyay, T.; Bhattacharya, S.; Ghose, A. ; Misra, P. **An architecture for real time television audience measurement**. In: *Computers & Informatics (ISCI), 2011 IEEE Symposium on*, p. 611–616. IEEE, 2011.
- NCL. **Nested Context Language**. <http://www.ncl.org.br/>. Acessado em dezembro de 2016.
- Rodrigues, L. M. **IPTV: Conceitos, padrões e soluções**. In: *Monografia em Ciência da Computação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro*, 2006.
- Sandvine. **2016 Global Internet Phenomena Report. Latin America & North America**. Technical report, 2016.
- Serin, Y. Semi-markov processes. **Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science**, 2010.
- Smythe, D. W. Communications: blindspot of western marxism. **CTheory**, v.1, n.3, p. 1–27, 1977.
- Soares, E. R.; Barrére, E. Medição de audiência e interatividade em iptv. **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (Vol. 2): Workshops e Sessão de Pôsteres**, 2016.

- R. Soares, E.; Barrére, E. **Analysis of an architecture for measurement of audience in iptv environments**. In: Proceedings of the 23th Brazilian Symposium on Multimedia and Web, p. 97–100, 10 2017.
- Technavio. **Global IPTV Market 2017 to 2021**.
<https://www.technavio.com/report/global-iptv-market>. Acessado em Novembro de 2017.
- Yeh, L.-C.; Wang, C.-S.; Lin, C.-Y. ; Chen, J.-S. **An innovative application over communications-asa-service: Network-based multicast IPTV audience measurement**. In: Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2011 13th Asia-Pacific, p. 1–7. IEEE, 2011.