

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

DANIEL VASCONCELOS CORRÊA DA SILVA

**ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE SESSÕES
DE USUÁRIOS DE DISPOSITIVOS MÓVEIS
EM VÍDEOS AO VIVO**

NITERÓI

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

DANIEL VASCONCELOS CORRÊA DA SILVA

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE SESSÕES DE USUÁRIOS DE DISPOSITIVOS MÓVEIS EM VÍDEOS AO VIVO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor em Computação. Área de concentração: Sistemas de Computação

Orientador:

ANTONIO AUGUSTO DE ARAGÃO ROCHA

Co-orientador:

PEDRO BRACONNOT VELLOSO

NITERÓI

2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

D111a Da silva, Daniel Vasconcelos Corrêa
Análise exploratória de sessões de usuários de
dispositivos móveis em vídeos ao vivo / Daniel Vasconcelos
Corrêa Da silva ; Antonio Augusto de Aragão Rocha,
orientador ; Pedro Braconnot Velloso, coorientador. Niterói,
2020.
105 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói,
2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PGC.2020.d.11568736738>

1. Streaming. 2. Vídeo ao vivo. 3. Dispositivo móvel. 4.
Produção intelectual. I. Rocha, Antonio Augusto de Aragão,
orientador. II. Velloso, Pedro Braconnot, coorientador. III.
Universidade Federal Fluminense. Instituto de Computação.
IV. Título.

CDD -

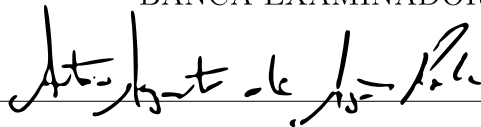
Daniel Vasconcelos Corrêa da Silva

Análise exploratória de sessões de usuários de dispositivos móveis em vídeos ao vivo

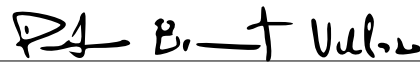
Tese de Doutorado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Computação da Universidade
Federal Fluminense como requisito parcial para
a obtenção do Grau de Doutor em Computação.
Área de concentração: Sistemas de Computação

Aprovada em dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



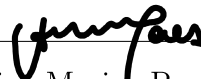
Prof. Antonio Augusto de Aragão Rocha - Orientador, UFF



Prof. Pedro Braconnot Velloso - Co-orientador, UFRJ



Prof. Célio Vinicius Neves de Albuquerque, UFF



Profª. Aline Marins Paes Carvalho, UFF



Profª. Ana Paula Couto Silva, UFMG



Profª. Rosa Maria Meri Leão, UFRJ

Niterói

2020

Dedico este trabalho a Celina Vasconcelos, cujo legado em vida foi, talvez, mostrar que é possível dominar o próprio destino, através do trabalho e estudo.

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem toda ajuda e suporte que recebi, por isto agradeço a minha família. Kaue pelo companheirismo. Nina, Vilma, Laura, Arthur e Marilene pela constante acolhida e cuidado. E a minha querida avó pelo exemplo. Obrigado.

Agradeço aos meus amigos, em especial a Yona, com quem dividi os risos e angustias da pós e da vida. A Leonardo por, me acolher e me ajudar quando tudo parecia inviável. A Anelise, Renato e Cesar, por viabilizarem inúmeras questões no trabalho e, principalmente, pela parceria e afeto. E a todos os meus amigos, por entenderam e apoiarem minhas inúmeras ausências.

Esta tese não seria possível sem meus orientadores, profissionais que muito admiro e que se dedicaram arduamente para viabilizar este trabalho. Guto, sempre paciente, constante e presente. Apoio fundamental. Pedro, sempre com seus comentários bem humorados e inteligentes, e que, em muitas ocasiões, permitiram em uma melhoria significativa neste estudo. Espero que consiga no futuro me espelhar em vocês. Obrigado, professores.

Preciso também registrar a importância de toda a equipe do Instituto da Computação, presente nos sempre bem humorados comentários da professora Débora, nas palavras de incentivo do professor Célio e no carinho da dona do melhor café da uff, a nossa querida Marister. Agradeço a constante gentileza da Teresa, Hélio e Gabriel. E quero também reconhecer o importante papel dos professores do instituto, fundamentais na minha formação, destacando, aqui, a ajuda que recebi do professor Plastino sobre alguns elementos deste trabalho.

“A marca de uma mente educada é ser capaz
de entreter um pensamento sem aceitá-lo.”

Aristóteles

Resumo

A transmissão contínua de vídeo pela Internet, o *streaming*, está entre as maiores aplicações de rede da atualidade, tanto em número de usuários, quanto no volume de tráfego de dados. Em meio aos formatos de transmissão contínua de vídeo, o *streaming* ao vivo é certamente o que impõe mais desafios à infraestrutura de rede, como, por exemplo, não conseguir mensurar com precisão o volume de usuários durante a transmissão, ou mesmo as condições gerais da rede, além das eventuais e prováveis dificuldades da criação do conteúdo em si. O crescimento da transmissão contínua de vídeo ao vivo só foi possível graças: (i) à melhoria geral da infraestrutura da Internet, que promoveu a redução de preço e garantiu acesso a taxas de transmissão mais altas, inclusive para redes móveis, e (ii) ao avanço no desenvolvimento dos dispositivos de comunicação utilizados pelos usuários. Dentre estes equipamentos, disponíveis aos usuários da rede, destacam-se, pela popularidade, os dispositivos móveis, que já se apresentam, em muitos casos, como principal tipo de equipamento usado no acesso à Internet. Os celulares atuais, os *smartphones*, já acumulam muitas funções para além da telefonia à medida que se tornam cada vez mais poderosos computacionalmente. O mesmo se aplica aos *tablets*, tipo de dispositivo com características muito semelhantes aos celulares em termos de usabilidade e mobilidade. Entender o comportamento dos usuários móveis de vídeos ao vivo é imperativo para perceber e mapear problemas, para tornar possível pesquisar soluções atualizadas e realistas para este paradigma de transmissão de vídeo. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é caracterizar e entender o comportamento dos usuários de dispositivos móveis em transmissões de vídeo ao vivo a partir de dados do servidor de um dos maiores provedores de conteúdo do Brasil. Espera-se estabelecer elementos de comparação e mensuração do engajamento dos usuários nas sessões, estabelecer a natureza e consequências dos problemas enfrentados pelos usuários e fornecer informações em formato que ajude pesquisadores e profissionais da área a verificar e mitigar problemas e planejar próximos passos desta importante aplicação da Internet.

Palavras-chave: Streaming, vídeo ao vivo, dispositivo móvel.

Abstract

Video streaming over the Internet is among the largest network applications, both in the number of users and in the volume of data traffic. Among the formats of streaming video, live is certainly the one that imposes more challenges to the network infrastructure. For example, not being able to accurately measure the volume of users during a transmission, or even the general conditions of the network, etc. The growth of live streaming as an application was only possible thanks to (i) the general improvement of the Internet infrastructure, which promoted the price reduction and guaranteed access to higher transmission rates, including for mobile networks, and (ii) advancing the development of communication devices used by users. Available to network users, mobile devices stand out, due to their popularity, which is already, in many cases, the main type of equipment used to access the Internet. Today's cellphones, also known as smartphones, already accumulate many functions beyond telephony as they become increasingly computationally powerful. The same applies to tablets, a type of device with characteristics very similar to cell phones in terms of usability and mobility. Understanding the behavior of mobile users of live videos is imperative to understand and map problems, to make it possible to search for updated and realistic solutions to this video transmission paradigm. In this context, the objective of this work is to characterize and understand the behavior of users of mobile devices in live video transmissions from data from the server of one of the largest content providers in Brazil. It is expected to establish elements of comparison and measurement of user engagement in video sessions. To establish the nature and consequences of the problems faced by users. And also, to provide information that helps researchers and professionals in the area to verify and mitigate issues, and plan the next steps of this important application from the Internet.

Keywords: Streaming, live video, mobile device.

Lista de Figuras

3.1	Esquema geral de compressão de vídeo para <i>streaming</i> com taxa de transferência adaptativa	17
3.2	Esquema geral de compressão e transmissão de vídeo	19
4.1	Função de distribuição acumulada complementar do número de ocorrência de diferentes <i>user agents</i> para cada IP único - Abertura da Olimpíada Rio 2016	27
4.2	Função de distribuição acumulada complementar do número de ocorrência de diferentes IPs públicos para cada <i>user agent</i> específico - Abertura da Olimpíada Rio 2016	27
4.3	Tamanho de sessão do usuário	29
4.4	Esquema do experimento de acesso e validação da leitura dos registros de <i>log</i> dos usuários	34
5.1	Diagrama de atividades representando o processo iterativo incremental proposto por este estudo	42
5.2	Diagrama de atividades do fluxo e tratamento de dados para análise	44
6.1	Classificação dos usuários por quantidade de interrupções - Câmara dos Deputados - Dispositivos móveis	47
6.2	Classificação dos usuários por quantidade de interrupções - Câmara dos Deputados - Dispositivos não móveis	47
6.3	Classificação dos usuários por quantidade de interrupções - Rio2016 - Dispositivos móveis	47
6.4	Classificação dos usuários por quantidade de interrupções - Rio2016 - Dispositivos não móveis	48

6.5	Distribuição do número de interrupções nas sessões de transmissão em estudo. Apresenta quartis, valores máximos, mínimos e a média (quadrado preto)	50
6.6	Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos móveis agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016	52
6.7	Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos móveis agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016 - Zoom	52
6.8	Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos móveis agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão do <i>Impeachment</i> Senado . .	53
6.9	Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos móveis agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão do <i>Impeachment</i> Defesa . . .	53
6.10	Porcentagem dos usuários por tempo em interrupção e agrupados pelo número de ocorrências de interrupções de usuários de dispositivos móveis na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016	54
6.11	Porcentagem dos usuários por tempo em interrupção e agrupados pelo número de ocorrências de interrupções de usuários de dispositivos móveis na sessão de transmissão do <i>Impeachment</i> Câmara	54
6.12	Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos não móveis agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão Abertura dos Jogos Olímpicos Rio 2016	55
6.13	Distribuição do tempo de visualização de usuários nas sessões de transmissão em estudo. Apresenta quartis, valores máximos, mínimos e a média (quadrado preto)	58
6.14	Usuários de dispositivos móveis no sistema na sessão de transmissão do <i>Impeachment</i> Câmara dos Deputados	60

6.15	Usuários de dispositivos não móveis no sistema na sessão de transmissão do <i>Impeachment</i> Câmara dos Deputados	60
6.16	Usuários de dispositivos móveis no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016	61
6.17	Usuários de dispositivos não móveis no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016	61
6.18	Vazão de bytes por segundo dos usuários em reentrada no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada	63
6.19	Vazão de bytes por segundo dos usuários em primeira entrada no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada	63
6.20	Vazão de bytes por segundo dos usuários de dispositivos móveis no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada	64
6.21	Vazão de bytes por segundo dos usuários de dispositivos não móveis no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada	64
6.22	Usuários móveis únicos no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016	67
6.23	Usuários móveis únicos no sistema na sessão de transmissão da Defesa do <i>Impeachment</i>	67
6.24	Regras com ordenadas pelo valor do <i>lift</i>	70
6.25	Regras com ordenadas pelo valor de confiança	71
6.26	Confiança das regras com duração de visualização como consequente	73
6.27	Suporte das regras com duração de visualização como consequente	73
6.28	<i>Lift</i> das regras com duração de visualização como consequente	73
6.29	Confiança das regras com interrupção e vazão como consequentes	75
6.30	Suporte das regras com interrupção e vazão como consequentes	76
6.31	<i>Lift</i> das regras com interrupção e vazão como consequentes	76
7.1	Diagrama de atividades representando as etapas principais deste trabalho	79

Lista de Tabelas

2.1	Comparação objetiva dos trabalhos relacionados neste capítulo	13
4.1	Percepção do aumento de usuários únicos e distribuição das ocorrências de endereços de IP por <i>user agent</i> e de <i>user agents</i> por endereço de IP	25
4.2	Total de interrupções por sessão considerando Cláusula(b) com diferentes t intervalos	32
6.1	Total de interrupções por sessão de transmissão com diferentes intervalos .	46
6.2	Percepção de aumento das sessões de usuário considerando interrupções . .	49
6.3	Porcentagem da combinação de acesso à Internet e sistema operacional por região	66
6.4	Seleção das regras	72

Lista de Abreviaturas e Siglas

Anatel	: Agência Nacional de Telecomunicações;
API	: Application Programming Interface;
AS	: Autonomous System;
CBF	: Confederação Brasileira de Futebol;
CDN	: Content Delivery Network;
DRM	: Digital Rights Management;
GPS	: Global Positioning System;
HDS	: HTTP Dynamic Streaming;
HTML5	: Hypertext Markup Language v5;
HTTP	: Hypertext Transfer Protocol;
HLS	: HTTP Live Streaming;
IBGE	: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IP	: Internet Protocol;
IPTV	: Internet Protocol Television;
KDD	: Knowledge Discovery in Databases;
LTE	: Long Term Evolution;
MSS	: Microsoft Smooth Streaming;
NAT	: Network Address Translation;
PoP	: Point of Presence;
PTT	: Pontos de Troca de Tráfego;
QoE	: Qualidade da Experiência (Quality of Experience);
RTMP	: Real Time Messaging Protocol;
RTP	: Real-time Transport Protocol;
SO	: Sistema Operacional;
VOD	: Video on demand;

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	4
1.2	Objetivos	5
1.3	Organização do trabalho	6
2	Trabalhos relacionados	8
2.1	Trabalhos pioneiros	8
2.2	Comportamento de usuários e dispositivos móveis	9
2.3	Eventos ao vivo de larga escala	10
2.4	Móvel e ao vivo	11
2.5	Considerações do estado da arte	12
3	Infraestrutura e sistema de transmissão	15
3.1	Rede de distribuição de conteúdo	15
3.2	Protocolos de <i>streaming</i>	16
3.2.1	Funcionamento geral	17
3.2.2	Protocolos de <i>streaming</i> na <i>Globo.com</i>	18
3.3	Servidor de <i>streaming</i>	19
3.4	Sobre a reprodução do vídeo	20
3.5	Sessões de transmissão populares consideradas	21
4	Metodologia - Interpretação e validação dos dados	23

4.1	Considerações sobre a leitura dos registros de <i>log</i> - Interpretação inicial dos dados	23
4.1.1	Heurística de Identificação do usuário	24
4.1.2	Dispositivo móvel e não móvel	28
4.1.3	Duração da sessão do usuário	28
4.1.4	Duração da sessão de transmissão	28
4.1.5	<i>Bitrate</i> - Taxa de transmissão e adaptação	29
4.2	Heurística de percepção de interrupções	29
4.2.1	Validação dos dados - Percepção de interrupção	31
4.2.2	<i>Outliers</i> - Distorções de leitura	32
4.3	Experimento de validação dos registros	33
4.3.1	Configuração do experimento	33
4.3.2	Baterias e resultados	34
4.4	Considerações parciais sobre a metodologia	35
5	Metodologia - Métricas, características e técnica de mineração	36
5.1	Métricas	36
5.1.1	Duração de visualização/Permanência do usuário	37
5.1.2	Interrupções e reentradas	37
5.1.3	Vazão	38
5.1.4	Chegadas e partidas (<i>Churn</i>)	38
5.2	Outras características das sessões dos usuários	39
5.3	Mineração de regras de associação	39
5.3.1	Confiança	40
5.3.2	Suporte	41
5.3.3	<i>Lift</i>	41
5.4	Visão geral da metodologia	41

6	Análise - <i>Streaming</i> de vídeo ao vivo em dispositivos móveis	45
6.1	Interrupções	45
6.2	Duração da visualização dos usuários	51
6.3	Usuários no sistema - (<i>Churn</i>)	58
6.4	Vazão	62
6.5	Demais características	65
6.6	Regras de associação	68
6.6.1	Preparação dos dados	68
6.6.2	Seleção das regras	69
6.6.3	Análise das correlações	71
6.6.3.1	Consequente: duração	71
6.6.3.2	Consequente: número de interrupções	74
6.6.3.3	Consequente: vazão	75
6.6.4	Visão geral sobre as regras	76
7	Considerações finais	78
7.1	Contribuições	78
7.1.1	Resultados específicos	79
7.1.2	Publicações	81
7.2	Trabalhos futuros	81
	Referências	83

Capítulo 1

Introdução

A ideia de transmitir conteúdo de vídeo entre computadores distintos pela Internet não é uma proposta nova. Há mais de 20 anos, mais precisamente em 1995, Shenker [60] já previa a necessidade da infraestrutura de rede se adaptar para permitir que não só vídeo, mas vários outros tipos de aplicações multimídia pudessem ser transmitidos pela Internet. Uma simples pesquisa em qualquer ferramenta de busca pela palavra "*streaming*"¹ revela uma expressiva quantidade de serviços e *softwares* para essa finalidade existente nos dias de hoje. É fato que a transmissão de vídeo é realidade na Internet atual, presente no cotidiano de grande parte dos usuários da rede. Um estudo da Cisco [15] indica que quase 66% do atual tráfego vem de aplicações de *streaming* de vídeo, e que este número tende a crescer nos próximos anos. E ainda, também segundo a Cisco [16], os aplicativos de *streaming* de vídeo lideram o consumo de banda e o ranking de popularidade entre todos os sistemas de Internet, sem tendência de queda nos próximos anos. Estes apontamentos são corroborados, em relatório [54], pela Sandvine, outra grande empresa de equipamentos de rede.

Um bom exemplo da importância desta forma de transmissão de mídia é o fato da Confederação Brasileira de Futebol (CBF) ter cogitado, em sua história recente, exibir os jogos da Seleção Brasileira Masculina de Futebol exclusivamente pela Internet [66], sendo futebol, indiscutivelmente, o esporte mais popular do país. Há diversos casos de transmissão de partidas importantes pela Internet. Por exemplo, em uma recente mudança na legislação, a MP 984/2020 [9], que versa sobre o direito de transmissão das partidas de futebol, fez com que o direito de exibição de vários jogos fosse para empresas de transmissão online, como repercutido pela imprensa [25].

¹Termo de língua inglesa que passou a ser usado para definir transmissão contínua de vídeo entre computadores conectados em rede

Existem duas formas fundamentais de se classificar a transferência de vídeos entre computadores em rede: uma relativa à transferência dos dados e a outra referente à forma de criação do conteúdo. Na primeira forma de classificação, quanto à transferência, apresentam-se as seguintes classes:

- Conhecida por ***download* progressivo**, esta classe indica que o carregamento do vídeo de forma sequencial e integral (quanto aos segmentos de vídeo), ou seja, o arquivo de vídeo será transferido em sua totalidade para o dispositivo do usuário. A reprodução pode acontecer em paralelo (até o limite do que foi carregado) ou posteriormente, isto é, com todo o vídeo carregado no dispositivo cliente;
- Nesta segunda classe, usualmente denominada “***streaming***”, o carregamento e a reprodução acontecem necessariamente em paralelo, isto é, o usuário baixa e assiste o vídeo ao mesmo tempo. Durante toda a reprodução, o carregamento do vídeo é feito considerando as condições da rede e as interações do usuário, logo, se este interromper (mesmo que temporariamente) o vídeo, a transferência também será interrompida. Assim, neste contexto, a qualidade do vídeo transmitido pode melhorar ou piorar de acordo com a capacidade da rede;
- Denominada, aqui, como ***download* assíncrono de mídia**, apresenta-se a terceira classe quanto à transferência. Esta última classe determina que a reprodução do vídeo só ocorra após carregamento direto e completo. A diferença desta classe para o *download progressivo* é que, neste caso, não existe uma aplicação multimídia que permita o usuário reproduzir os trechos em paralelo ao carregamento. E, por realizar *download* assíncrono, o carregamento pode ser realizado utilizando estratégias não sequenciais quanto aos trechos do vídeo.

Já a segunda forma de classificação, esta referente à geração e difusão do conteúdo em vídeo, apresenta as seguintes definições:

- Esta classe é conhecida como **VOD**, sigla das palavras em inglês “*Video on demand*”, que pode ser traduzido livremente como vídeo sob demanda. Nesta categoria, o vídeo é primeiramente produzido, armazenado, editado, e só então é disponibilizado para transmissão. É válido ressaltar que os VODs podem se dar tanto como *download* progressivo, como por *streaming*;

- Popularmente chamado de *live*, “transmissão ao vivo”, “ao vivo” ou “*streaming* ao vivo”, apresenta-se a segunda classe quanto à geração e ao formato de difusão. Nesta classe, o vídeo é enviado pela rede ao mesmo tempo em que é produzido (ou disponibilizado).

Considerando estas classificações, é possível perceber que a transmissão ao vivo na Internet é mais desafiadora que a transmissão de vídeo sob demanda por dois motivos principais. Primeiramente, a geração do conteúdo em vídeo ocorre simultaneamente à transmissão, e por isto o *streaming* ao vivo não consegue fazer uso pleno de *cache* e técnicas correlatas de computação de borda (em que o processamento dos dados é realizado na fronteira da rede, próximo aos usuários/clientes). Esta condição faz a transmissão ao vivo ser mais sensível a problemas da rede, como atraso e baixa taxa de transmissão. Para entender isto, basta se colocar no lugar do usuário/cliente de transmissão de um jogo de futebol, por exemplo, e ouvir o vizinho gritar gol muito tempo antes da exibição da jogada. O segundo motivo é que a transmissão ao vivo é, usualmente, baseada em eventos [41]. Eventos como partidas esportivas, palestras, jogos digitais, grandes shows ou episódios únicos da política, etc., sempre em data e hora específica. O horário determinado e a possível indisponibilidade posterior do conteúdo criam nestas transmissões enorme potencial de possuir um grande número de usuários simultâneos, o que exige muito da infraestrutura.

Esta demanda de infraestrutura ficou amplamente conhecida recentemente, com o contexto de isolamento social imposto mundialmente pela Covid-19. Os números do *streaming* de vídeo ao vivo se tornaram ainda mais expressivos, atingindo novos recordes, não só de número de telespectadores, mas também de número de transmissões ao vivo, inclusive de grandes artistas, conforme listado pela Billboard em [7]. O Instagram, por exemplo, relatou que a ocorrência de *streaming* ao vivo móvel aumentou em 70% [10]. Em tempo de quarentena, também foi notado um aumento no tráfego da rede global [6], no qual o *streaming* de vídeo tem uma contribuição significativa. Inclusive, este perceptível e recente aumento do tráfego global de vídeo tem feito as grandes plataformas mundiais de *streaming* reduzirem a qualidade dos vídeos, fato repercutido por diversos veículos de imprensa, como [50], [65] e [11].

É importante esclarecer que os desafios impostos pela transmissão de vídeo ao vivo na Internet não são de caráter sazonal ou pontual. Não é incomum ocorrências de servidores de vídeos subdimensionados em relação a demanda. Um exemplo foi a transmissão da partida de futebol entre os times Flamengo e Volta Redonda, jogo este que valia vaga na

final do Campeonato Carioca 2020. Neste evento, com transmissão exclusiva pela Internet, os servidores da empresa responsável pela transmissão não suportaram a demanda gerada pelo provável grande volume de expectadores [67, 26].

Além da relevância da transmissão de vídeo no cotidiano dos usuários da Internet, uma outra realidade nos atuais dias é o uso de dispositivos móveis. Em diversos contextos, celulares e *tablets* já se tornaram a “primeira tela”, ou seja, o dispositivo mais utilizado, como apontado em [43, 42]. Um indício importante é o fato de que a venda dos dispositivos móveis superaram a de *desktops* como relatado por [29]. Um relatório da Oracle [51] aponta que um a cada cinco usuários acessam a Internet apenas por dispositivos móveis. A Cisco aponta em sua previsão anual [16] que o tráfego de vídeo *streaming* proveniente de dispositivos móveis representa 60% do total global, com 8,8 bilhões de dispositivos conectados em 2018 e uma estimativa de 13,1 bilhões até 2023. E no Brasil, segundo estudo do IBGE [35] e do CETIC.BR [12], celulares são utilizados para acessar à Internet em mais de 97% das casas brasileiras, superando em muito o uso de computadores, por volta de 50%.

1.1 Motivação

No contexto, apresentado acima, do aumento de transmissões de vídeo por *streaming* ao vivo na Internet e do amplo uso de dispositivos móveis, é esperado que plataformas de serviços de *streaming* de vídeo passem a ter usuários de celulares e *tablets* como principais clientes/usuários. Este fato é também apontado pelo já citado estudo do IBGE [35], em que está demonstrado que 83,8% dos usuários brasileiros de celular utilizam este tipo de dispositivo para acessar conteúdo em vídeo através da Internet. E esta realidade traz consigo uma grande quantidade de desafios inerentes à limitação destes dispositivos e das redes que eles compõem.

Apesar de existirem muitos trabalhos que estudam vídeo sob demanda, como por exemplo [14, 13, 56, 27, 53, 38], existem poucos trabalhos que abordam vídeos ao vivo assistidos a partir de dispositivos móveis. Os trabalhos que tratam especificamente de vídeos ao vivo e/ou em dispositivos móveis, como [41, 39, 40, 34, 75], utilizam dados regionalizados e/ou de um intervalo de tempo analisado muito limitado, da ordem de dias, não comparam com outros dispositivos, não usam dados reais, dentre outros.

Portanto, estudar a transmissão de vídeo ao vivo para usuários de dispositivos móveis é uma necessidade para entender as dinâmicas e correlações, perceber as eventuais dificuldades, para então ser possível buscar soluções. Pensando no futuro dos dispositivos, da Internet e das transmissões de vídeo é imperativo estudar o comportamento dos usuários e da rede para que seja possível pensar em como essa aplicação se comportará, considerando ainda a expectativa do volume de usuários e a forma de acesso. Por exemplo, identificar geograficamente regiões com mais sessões problemáticas e baixa vazão de *bytes* pode apontar para políticas de distribuição do conteúdo, assim como, determinar perfis de engajamento pode embasar previsões de demanda de infraestrutura. Essa caracterização é ainda mais importante quando se considera as diversas questões e problemas enfrentados pelos usuários e administradores em lugares como o Brasil, cuja infraestrutura ainda é desigual e, em muitas regiões, limitada, como pode ser verificado no portal da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações)[4]. Logo, a compreensão e caracterização do comportamento dos usuários é fundamental para o aprimoramento da eficiência dos sistemas de *streaming* de vídeo ao vivo do futuro.

1.2 Objetivos

O objetivo desta tese é realizar uma análise exploratória com dados de usuários de um sistema de transmissão de *streaming* de vídeo em dispositivos móveis assistindo grandes eventos ao vivo. O intuito é compreender os principais problemas e questões relacionadas aos sistemas de *streaming* de vídeo ao vivo para usuários de celulares e *tablets*, e pretende responder as perguntas de pesquisa: (i) Usuários de dispositivos móveis tem características diferentes dos usuários não móveis? (ii) Quais são os fatores que impactam a transmissão de vídeo ao vivo para usuários móveis?, e (iii) Qual é o atual panorama *streaming* para dispositivos móveis? Para tanto, este trabalho considera a análise de sessões de transmissões de vídeos ao vivo assistidas a partir de dispositivos móveis (celulares e *tablets*), que usa como base o registro de *logs* dos servidores da *Globo.com*. E apresenta ainda, neste contexto, os seguintes objetivos específicos:

1. Estabelecer uma metodologia de reconstrução das sessões dos usuários de transmissões de vídeo ao vivo a partir dos registros de *log* do servidor de *streaming* utilizado por este estudo;
2. Definir métricas e metodologias de medição, pertinentes a caracterização, possíveis de serem implementadas com os dados disponíveis, incluindo mecanismos de per-

cepção de falhas e interrupções;

3. Realizar uma análise comparativa entre registros de usuários de dispositivos móveis (celulares e *tablets*) e dispositivos não móveis (computadores, consoles, *smartTVs*, ...). O intuito desta análise é avaliar a hipótese que dispositivos móveis tem uma qualidade de experiência pior e talvez seus usuários sejam menos engajados;
4. Apresentar um panorama geral do *streaming* ao vivo para celulares e tablet, avaliando modo de acesso à rede, sistema operacional, distribuição geográfica, etc.

1.3 Organização do trabalho

Nesta seção é apresentada a organização deste trabalho. Na sequência deste, o Capítulo 2 traz um levantamento de trabalhos relacionados ao tema, organizados por subtemas pertinentes a esta tese, como transmissão de eventos populares de larga escala, transmissão de vídeo para dispositivos móveis, serviços de distribuição de conteúdo *streaming*, caracterização de tráfego e comportamento dos usuários. O Capítulo 2 termina com uma comparação objetiva entre os trabalhos e esta tese.

O Capítulo 3 descreve o cenário a ser estudado, apresentando protocolos *streaming*, informações do funcionamento do provedor de conteúdo, a natureza dos dados e da operação do sistema de transmissão. O capítulo termina com a definição do escopo do estudo, isto é, quais sessões de transmissão serão analisadas.

O Capítulo 4 apresenta a primeira parte da metodologia desenvolvida para este estudo. O capítulo traz a leitura dos dados e reconstrução das sessões dos usuários nas transmissões, incluindo os experimentos de validação e considera ainda a especificidade do provedor de conteúdo.

Já o Capítulo 5 expõe a segunda parte da metodologia desta tese. Neste capítulo são apresentadas as métricas de tempo de reprodução, interrupção, vazão e chegadas e partidas. São também apresentadas discussões pertinentes a estas medições, e como os dados que as compõem são estruturados. Este quinto capítulo apresenta características que se somam as métricas para definir as sessões de usuário, na importante etapa de enriquecimento dos dados. Na sequência, são apresentadas as técnicas de mineração de dados por regra de associação que serão utilizadas para verificar correlações nas sessões estudadas. E, este capítulo termina ao descrever, de forma objetiva, as etapas do processo utilizado neste estudo.

A parte mais importante deste estudo, isto é, a análise dos dados sob a ótica da metodologia proposta, é descrita no Capítulo 6. Considerando as métricas previamente estabelecidas, este capítulo apresenta (i) a análise exploratória dos dados, (ii) a comparação entre dados de usuários móveis e não móveis, e (iii) as correlações dos dados das sessões dos usuários (extraídas a partir da mineração de regras de associação). Por fim, o panorama geral do *streaming* ao vivo no Brasil é apresentado.

Ao final, no Capítulo 7 - Considerações Finais, são apresentadas as últimas discussões deste estudo e incluem: (i) as principais contribuições desta tese, organizadas de forma direta, incluindo o diagrama de atividade que representa todo o trabalho realizado (ii) os resultados específicos encontrados na análise exploratória proposta, bem como as correlações relevantes, (iii) as publicações oriundas deste estudo, e (iv) finaliza ao apontar prováveis caminhos para futuros trabalhos que usem este como fundamento.

Capítulo 2

Trabalhos relacionados

A transmissão de vídeo através da Internet é um assunto de interesse de muitos pesquisadores, de diferentes áreas, ao redor do mundo. Este capítulo tem por objetivo apresentar os trabalhos que se relacionam a esta tese. As publicações, aqui relacionadas, foram organizadas por grupos, expostos nas seções seguintes. Porém, como este agrupamento não define a natureza destes textos, ao final deste capítulo é apresentada uma comparação objetiva destes estudos, classificando-os através de atributos relevantes.

2.1 Trabalhos pioneiros

No início da década passada, três trabalhos [73, 63, 18] se destacaram na literatura acadêmica sobre transmissão de vídeo na Internet. Um dos primeiros esforços para analisar as principais características de transmissão de vídeo ao vivo na Internet, em [73] os autores propõem o que é creditado como uma primeira caracterização de carga de usuários de transferência de vídeo ao vivo, utilizando dados de 28 dias de um *reality show* transmitido ao vivo.

Em [63], os autores avaliam a rede de distribuição de conteúdo da Akamai, medindo a popularidade dos vídeos, o processo de chegada dos usuários, a duração das sessões e os protocolos de transporte utilizados. Os principais resultados mostram que o engajamento do usuário (traduzido na duração da sessão do usuário) depende do tipo do vídeo: trata-se de vídeo de uma transmissão ininterrupta com conteúdo atual, cíclico, ou se é um vídeo de curta duração. Este estudo avalia ainda a distribuição da popularidade e características relacionadas aos conteúdos transmitidos. Os resultados foram obtidos usando dados de um intervalo de 3 meses, com mais de 70 milhões de requisições.

O trabalho [18], embora faça análise de carga, se diferencia dos demais trabalhos pioneiros por apresentar um estudo de interatividade dos usuários, através de uma classificação das mídias. Os autores usaram dados de transmissão de áudio e vídeo sob demanda, estes classificados em educação e entretenimento. Este trabalho de Costa et al. traz um primeiro resultado sobre comportamento do usuário de serviços de *streaming*: interrupção momentânea, o *pause*, é a interação mais corriqueira dentre os usuários.

2.2 Comportamento de usuários e dispositivos móveis

Nos últimos anos, a melhora na capacidade dos dispositivos móveis e na disponibilidade de acesso à Internet com altas taxas de transmissão através destes dispositivo, nos últimos anos, tem trazido uma constante reformulação no modo com que as aplicações de mídia funcionam, como seus usuários as utilizam e como se comportam durante as transmissões. Alguns trabalhos avaliam o comportamento de usuários móveis em sistema de transmissão de vídeo, mas sem focar em conteúdos ao vivo ou levar em conta subjetividades dos usuários ou das aplicações [39, 14, 13, 20, 56].

Li *et al.* [39] investigam o comportamento de usuários móveis de um sistema de TV em larga escala na China. Os autores comparam o comportamento de usuários conectados a partir de uma rede Wi-Fi e de uma rede 3G. A partir dos registros de *log* do servidor e de dados coletados junto aos usuários, os autores analisam o tempo de visualização e a popularidade dos canais. Este artigo analisou 1 mês de dados com mais de 1 milhão de usuários únicos.

Em [14], os autores apresentam um modelo de engajamento dos usuários nas sessões de transmissão de vídeo sob demanda. Considerando o tempo assistido e a qualidade dos vídeos, o modelo proposto é comparado com uma abordagem de mineração de dados, levando em conta o cenário de 3 semanas de dados de IPTV na China. Uma das conclusões mais interessantes do trabalho é que vídeos longos têm, de modo geral, baixo tempo de visualização por parte dos usuários.

No trabalho de Chen *et al.* [13] é avaliado o engajamento do espectador a partir de métricas relacionadas à qualidade do serviço, ao gênero do usuário (homem ou mulher), à qualidade da rede, ao conteúdo, à qualidade do vídeo transmitido, ao tamanho e popularidade do vídeo, ao *website* de origem do serviço de *streaming* e à demografia dos espectadores. A partir da análise desenvolvida, os autores propõem um modelo para simular o engajamento dos espectadores de acordo com as métricas estudadas. Diferente-

mente da maioria dos trabalhos nesta área, que analisam dados coletados pelos servidores de vídeos, os autores instalam uma plataforma de coleta de dados no campus da universidade. No entanto, o enfoque são os usuários que estão conectados a redes Wi-Fi apenas. Eles também comparam o comportamento dos usuários de dispositivos móveis com usuários de dispositivos não-móveis.

Já Dimopoulos *et al.* [20] desenvolveram um *framework* para detectar a origem de falhas e de redução na Qualidade de Experiência (QoE - Quality of Experience) dos usuários de *streaming* de vídeo em dispositivos móveis. O arcabouço proposto coloca aplicativos de medição (tradução livre de *measurement probes*) em três lugares diferentes: nas duas extremidades (transmissor e receptor) e um no roteador sem fio. Os autores do estudo treinaram um algoritmo de aprendizado de máquina supervisionado, com a introdução de falhas em experimento controlado em laboratório e medição da QoE. Posteriormente, o arcabouço proposto foi avaliado em uma rede real. Neste trabalho foi também analisada a influência de cada uma das extremidades na acurácia dos resultados apresentados pelos autores.

Por fim, na publicação [56], os autores propõem avaliar/quantificar o impacto de diferentes parâmetros na QoE do serviço de *streaming* de vídeo sob demanda do YouTube em redes móveis. Para este estudo, foram considerados os seguintes parâmetros: navegador, protocolo de transporte, largura de banda disponível, cobertura e qualidade do sinal da rede móvel. Este trabalho, que usou dados de usuários de 4 países, focou em estabelecer correlações entre os parâmetros ponderados com a qualidade de experiência percebida pelos usuários.

2.3 Eventos ao vivo de larga escala

Na transmissão de vídeo ao vivo na Internet, os maiores desafios são enfrentados em cenários de larga escala por exigir muito dos recursos de infraestrutura. Em [24, 58, 55, 3, 2] os autores apresentam diferentes abordagens e perspectivas para avaliar eventos muito populares transmitidos em *streaming* ao vivo.

A final da liga estadunidense de futebol americano, o *Super Bowl*, é um dos eventos esportivos mais populares de todo o mundo. No artigo [24], os autores se propõem a analisar o fluxo de dados dos usuários presentes no estádio durante o evento e conectados à Internet. Considerando no estudo o acesso através de redes de telefonia móvel e Wi-Fi, os autores perceberam que parte significativa do tráfego de dados, aproximadamente

20%, era proveniente de aplicações de *streaming* de vídeo, possivelmente de transmissões do próprio evento. Outra informação relevante, presente no trabalho, é que 99% destes usuários de vídeo usavam *tablets*.

No trabalho [58] os autores apresentam um primeiro olhar sob a transmissão de vídeo em eventos populares para usuários conectados à Internet por rede de celular. Embora não apresentem a exata natureza dos dois eventos estudados, tão pouco a fonte de dados ou como os mesmos foram obtidos, trazem uma análise pertinente às camadas de transporte e enlace, neste tipo de aplicação. Esta análise apresenta, dentre outras, a comparação de fluxos de tipos diferentes de conteúdo/aplicação, como *streaming* de vídeo, de áudio, busca, mídias sociais, etc.

Santos *et al.* [55] caracterizam o comportamento dos usuários de vídeo ao vivo na Internet em partidas da copa do mundo de 2014. A partir da caracterização obtida, os autores propõem um modelo simples que reflete o comportamento típico de um espectador de jogos de futebol. Por fim, eles comparam o modelo proposto com o comportamento de outros espectadores de outros tipos de transmissões ao vivo e desenvolvem um gerador de carga sintética para simular o comportamento dos usuários de sistemas de vídeo ao vivo na Internet.

Ahmed et al. apresentam estudos [3, 2] sobre Qualidade da Experiência em transmissões de streaming de vídeo ao vivo em grande escala. Os dois trabalhos usam dados gerados em CDNs e coletados em Pontos de Presença (PoP - *Point of presence*). Em [3], os autores analisam a QoE na distribuição de vídeo ao vivo em larga escala. Os autores avaliam a taxa de preenchimento de *buffer*, taxa média de transmissão e variação da taxa de transmissão do vídeo durante uma sessão. Assim como em [58], os autores também não deixam clara a natureza do evento, apenas que este durou 5 horas e contou com mais de 600 mil expectadores. Já em [2], os autores definem parâmetros de comparação do engajamento dos usuários com QoE destes. Este estudo considera dados oriundos da transmissão ao vivo do Oscar 2015, e considera ainda aspectos como *buffering* e taxa de bits adaptativa.

2.4 Móvel e ao vivo

Nesta seção são apresentados os últimos trabalhos relacionados, com foco mais aproximado ao deste trabalho, isto é, os que consideram usuários móveis e conteúdo de vídeo ao vivo [41, 61].

Salamatian *et al.* [41] investigam as diferenças de comportamento de usuários móveis e fixos em um sistema de larga escala de *streaming* de vídeo ao vivo, o PPTV *live streaming*. No estudo, os autores utilizam diversas métricas como o tempo de visualização, o número de sessões problemáticas, os tipos de dispositivos móveis e de sistemas operacionais, a localização geográfica, a taxa de abandono, e a atividade do usuário em relação à quantidade de vídeos assistidos e ao tempo de visualização. Eles mostram, por exemplo, que a taxa de abandono de usuários no 3G é maior que no Wi-Fi e que os motivos do abandono são diferentes. Enquanto no 3G a maioria dos abandonos ocorrem devido à baixa qualidade da conexão sem fio, no Wi-Fi a maioria ocorre por perda de interesse e por problemas na conexão. Ao longo do texto, os autores ainda abordam a diferença de sistema operacional dos dispositivos, e como os usuários de Android apresentam uma inconsistência muito maior devido à diversidade de hardwares compatíveis com este sistema.

No estudo [61] Siekkinen *et al.* analisam o Periscope, uma plataforma que permite aos usuários transmitirem vídeo ao vivo a partir do próprio dispositivo móvel. Os autores utilizam um sistema desenvolvido para monitorar o aplicativo em celulares Android e criaram milhares de sessões para mensurar as métricas propostas. Eles avaliam a qualidade do vídeo recebido pelos usuários em termos de atraso de começo e número de interrupções. Além disso, eles avaliam o consumo de energia dos aparelhos de telefone. Os autores afirmam que 2 Mb/s é o limiar abaixo do qual os valores de atraso de começo e o número de interrupções crescem consideravelmente. Os autores avaliam o tempo de visualização, e a taxa de interrupção (*stall ratio*, em tradução livre), que representa a divisão da soma de todas as interrupções pela soma dos tempos de visualização acrescido da soma das interrupções.

2.5 Considerações do estado da arte

Ao longo deste capítulo foram apresentados, de forma sucinta e objetiva, os trabalhos cujas contribuições são pertinentes e relevantes a esta tese. Estes trabalhos foram classificados em: (i) Primeiros trabalhos, (ii) Comportamento de usuários e dispositivos móveis, (iii) Eventos ao vivo de larga escala, e (iv) Móvel e ao vivo. É válido apontar que esta classificação proposta tem por finalidade facilitar a compreensão do estado da arte, e, logo, não esgota outras possibilidades de arranjo.

A Tabela 2.1 apresenta uma comparação direta entre estes estudos com intuito de apontar, de forma inequívoca, as diferenças entre estes. Esta tabela situa todos os traba-

Transmissão			Dados			Dispos.		Rede		Ano
Ao vivo	Evento popular	VOD	Servidor	Rede	Cliente	Móvel	Não-Móvel	Rede celular	Cabeada	
Trabalhos relacionados										
[73]	•		•				•			2002
[63]	•		•				•			2004
[18]		•	•				•			2004
[39]	•		•		•	•	•	•	•	2011
[14]		•	•		•		•			2013
[13]		•		•			•			2015
[20]		•	•	•	•	•		•	•	2015
[56]		•		•	•		•	•		2019
[24]	•	•		•		•		•	•	2013
[58]	•	•		•		•		•		2013
[55]	•	•	•							2016
[3]	•	•	•	•						2016
[2]	•	•	•	•						2017
[41]	•		•		•	•	•	•	•	2015
[61]	•		•		•	•		•	•	2016
Este trabalho										
•	•		•			•	•	•	•	

Tabela 2.1: Comparação objetiva dos trabalhos relacionados neste capítulo

lhos relacionados neste capítulo, ordenados pela ocorrência, e considera como atributos **(i) Tipo de transmissão:** se sob demanda (VOD), ao vivo e/ou evento popular; **(ii) Origem dos dados usados:** se oriundos do servidor, rede ou se coletados no dispositivo cliente; **(iii) Tipo de dispositivo:** aponta se o estudo fez distinção entre os equipamentos dos usuários, entre móvel e não-móvel; **(iv) Tipo de acesso à Rede:** ilustra quais trabalhos distinguiram a forma de acesso à Internet, entre rede de telefonia móvel e rede cabeada; e **(v) ano:** informa ainda qual o ano da publicação.

O conteúdo deste capítulo, e, por conseguinte, os artigos e trabalhos aqui relacionados, demonstram o atual espaço na literatura da área. É possível perceber esta lacuna existente na diferença demonstrada na Tabela 2.1 entre os estudos que compõem o estado da arte e este trabalho (cujas características se apresentam ao final da tabela). Logo, fica evidenciada a ausência de estudo recente e amplo que considere os desafios da transmissão de vídeo ao vivo em um grande evento, e, em especial, a popularização dos dispositivos móveis.

Capítulo 3

Infraestrutura e sistema de transmissão

Iniciando propriamente a discussão desta tese, este capítulo apresenta o escopo do sistema de vídeo que é objeto central do estudo, abordando detalhes da infraestrutura e do sistema de transmissão da *Globo.com*, com informações dos servidores e clientes. Além disso, este capítulo apresenta os conceitos fundamentais utilizados ao longo deste trabalho, como protocolos de transmissão de vídeo e sessões definidas para estudo.

É importante salientar que a *Globo.com* ofereceu o acesso ao registro de *log* de seus servidores, porém as demais informações apresentadas neste capítulo possuem como fonte outros trabalhos que usam a mesma base de dados, informações públicas da *Globo.com*, documentação dos softwares usados nos servidores e características eventualmente ou pontualmente experimentadas para este estudo.

3.1 Rede de distribuição de conteúdo

A infraestrutura da *Globo.com* é baseada no conceito de rede de distribuição de conteúdo, CDN (*Content Delivery Network*). Uma CDN é uma rede composta de vários servidores geograficamente distribuídos, cujo princípio fundamental consiste em replicar o conteúdo em servidores mais próximos do usuário a fim de mitigar o atraso de acesso e reduzir o tráfego na rede.

Na CDN da *Globo.com* existem diversos canais de transmissão que exibem vídeos ao vivo. Cada canal exibe um vídeo ao qual seus usuários podem assistir, e é comum que múltiplos canais transmitam o mesmo conteúdo. Esta “redundância” é percebida em contextos cujo conteúdo seja pertinente a mais de um canal, por exemplo, uma transmissão

de natureza esportiva pode ser exibida pelo canal principal da TV Globo e pelo canal da SporTV. Um canal pode também se fragmentar em vários, exibindo conteúdos diferentes para usuários específicos; por exemplo, a informação pode ser regionalizada, de forma similar ao funcionamento das retransmissoras locais de TV convencional, o que pode ser interessante inclusive para propaganda. De forma objetiva, é possível resumir os conceitos da CDN da Globo, relevantes a este estudo, da seguinte forma:

- Os vídeos ao vivo são exibidos em diversos **canais de transmissão**;
- Dois ou mais canais podem, simultaneamente, transmitir um mesmo conteúdo;
- Todos os canais de transmissão exibem conteúdos diversos a depender do dia ou da hora;
- Um determinado canal de transmissão não precisa exibir vídeos durante todo tempo;
- Uma **sessão de transmissão** é um evento exibido em um ou mais canais de transmissão;
- O conteúdo exibido nestas sessões de transmissão pode ser de qualquer natureza;
- O tempo que um determinado usuário permanece no sistema de transmissão é denominado **sessão do usuário**;
- A *Globo.com* realiza a entrega dos vídeos em diversos formatos e usando protocolos diversos, explicados em detalhes na próxima seção.

3.2 Protocolos de *streaming*

A grande expansão das aplicações de vídeo na Internet exigiu muitas mudanças na distribuição deste tipo de conteúdo na rede. Parte importante da atual solução de distribuição é a adoção de protocolos de *streaming* com taxa de transferência adaptativa. Este tipo de protocolo, que se apresenta como alternativa ao carregamento progressivo, consegue perceber a condição da rede (do servidor ao cliente) para definir a qualidade do vídeo a ser carregado e reproduzido pelo usuário, de forma a garantir a reprodução. Todos os atuais protocolos de *streaming* com taxa de transferência adaptativa executam sob HTTP, e com isso podem alcançar alguns benefícios, tais como:

- Fazer uso de sistemas de *cache*;

- Transpor *Firewalls* e NATs (Network Address Translation);
- Possibilitar escalabilidade do servidor ao operar com uma conexão orientada pelo cliente, com carregamento dos segmentos de vídeo através do método **HTTP - GET Request**.

3.2.1 Funcionamento geral

Conforme ilustrado na abstração da Figura 3.1, todo conteúdo (vídeo bruto) a ser transmitido é codificado com diferentes qualidades, para ser então segmentado para difusão. Os protocolos adaptativos, de modo geral, definem a segmentação do vídeo em pequenos blocos também chamados de segmentos ou *chunks*. Estes blocos/segmentos são armazenados e relacionados a um arquivo de manifesto. Arquivos de manifesto relacionam um conjunto de segmentos de vídeo a um determinado contexto, ou seja, é uma lista de reprodução (“*playlist*”) de uma determinada qualidade de compressão que relaciona a ordem de exibição dos segmentos dos vídeos.

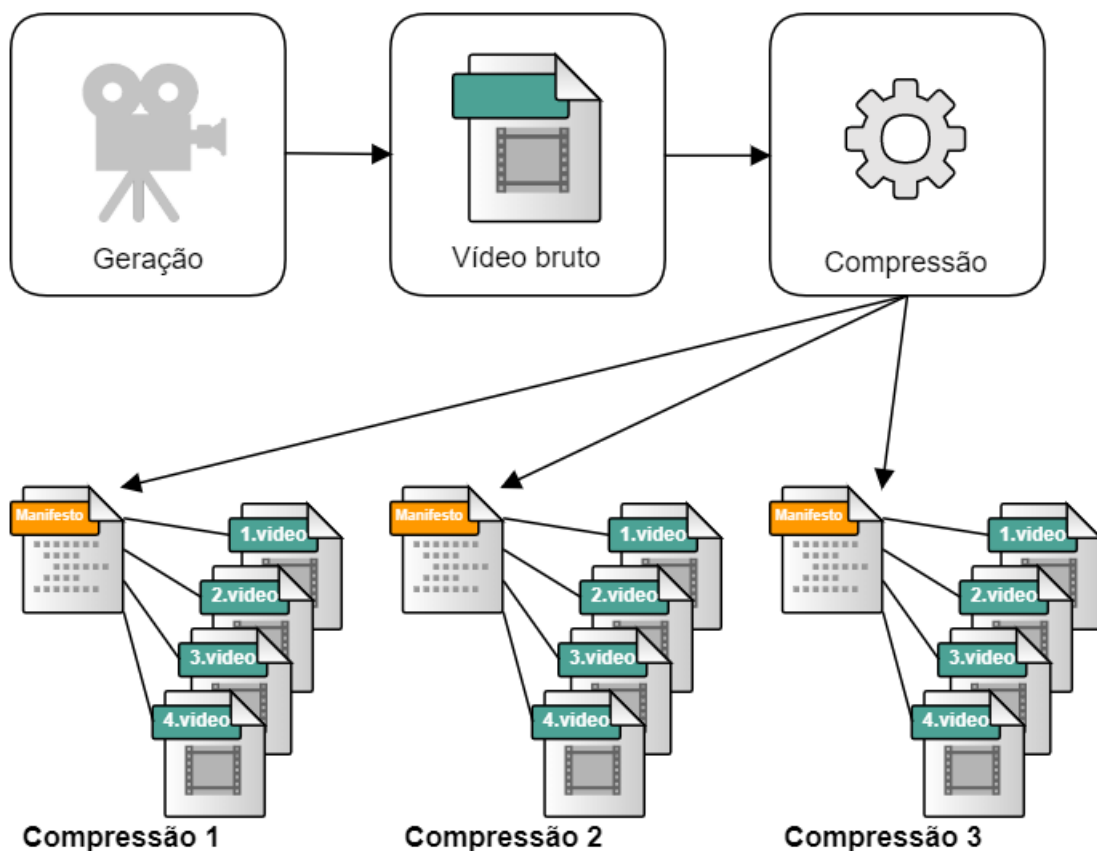


Figura 3.1: Esquema geral de compressão de vídeo para *streaming* com taxa de transferência adaptativa

Uma vez que o conteúdo tenha sido segmentado numa determinada compressão, os usuários, por meio da Internet, fazem o *download* do arquivo manifesto, que permite o acesso aos segmentos. Quando um dado usuário recebe todos os segmentos associados a uma lista, é solicitado um novo arquivo manifesto. A adaptação da taxa de transferência ocorre quando o sistema percebe degradação da rede, requisitando segmentos de vídeo com uma compressão mais leve, ou quando este observa melhora na sua capacidade de *download*, requisitando vídeo em uma qualidade mais alta. Existem diversos protocolos de *streaming* com taxa de transferência adaptativa, como por exemplo:

- **HLS** - O HTTP Live Streaming [36] é um formato proprietário suportado principalmente por tocadores HTML5, pelos dispositivos Apple e móveis;
- **MPEG-DASH** - Recentemente revisado, o DASH [45] é o único desta classe de protocolo que se apresenta como padrão internacional. É supostamente compatível com qualquer formato de vídeo;
- **HDS** - Adobe HTTP Dynamic Streaming [1] é um protocolo popular em servidores que necessitem ter suporte a DRM (*Digital Rights Management*) e/ou *Flash Media Server*;
- **MSS** - O Microsoft Smooth Streaming [44], assim como os demais, é baseado em HTTP. Popular em servidores Windows.

3.2.2 Protocolos de *streaming* na *Globo.com*

Para a difusão de vídeo ao vivo, a *Globo.com* usa *hardware* específico para realizar compressão e segmentação do conteúdo. Os arquivos, sejam segmentos de vídeo ou *playlists*, são então armazenados num banco de dados distribuído. Segundo [33], essa característica do servidor de *streaming* permite que os usuários, de alguns contextos, retrocedam a transmissão. O sistema armazena sempre uma janela dos últimos 30 minutos da transmissão, limite até o qual o usuário pode voltar. A Figura 3.2 ilustra o esquema de codificação e transmissão de vídeo da *Globo.com*

Como apontado anteriormente, a *Globo.com* entrega vídeo usando vários protocolos de taxa de transferência adaptativa, de acordo com a necessidade/tipo do dispositivo do usuário. A maior parte da entrega de vídeo da *Globo.com* é por HLS, compatível com dispositivos Apple, algumas TVs conectadas e com o tocador HTML5 usado nas páginas pelos que acessam os vídeos por navegador ou pelos *webapps*. Além disso, as sessões de

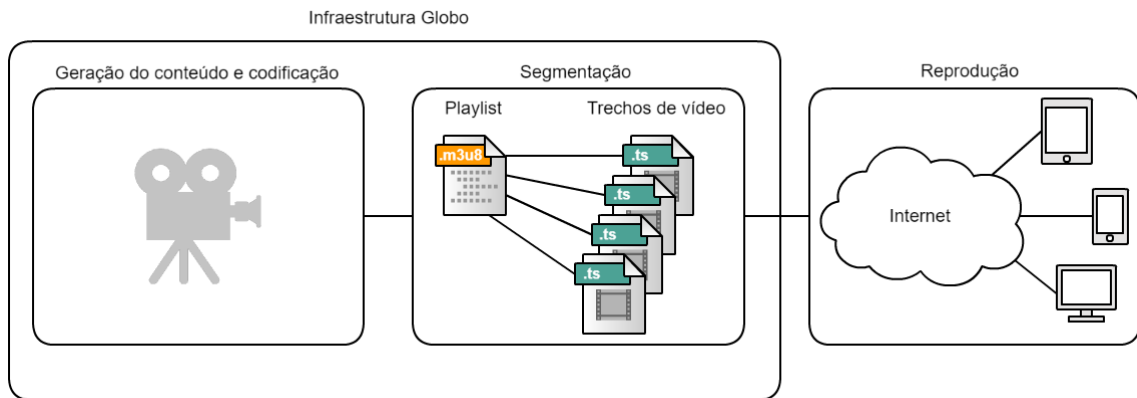


Figura 3.2: Esquema geral de compressão e transmissão de vídeo

usuário são sempre iniciadas com a pior taxa disponível na sessão de transmissão, e esta melhora somente se a infraestrutura de rede permitir.

3.3 Servidor de *streaming*

Em termos de *streaming* de vídeo, a *Globo.com* gerencia transmissões de diversas origens, não apenas da TV Globo, mas do Multishow, SporTV, GNT, GloboNEWS, e demais canais de TV e conteúdos de sua estrutura. Para tal, a *Globo.com* utiliza o NGINX [48] no gerenciamento dos seus servidores HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*). Este software controla o serviço de distribuição de vídeo através dos diversos protocolos de *streaming*, como HLS, DASH, Smoothstreaming, etc. Para realizar transmissões de vídeo, o tamanho de duração dos segmentos de vídeo recomendada por [52, 46, 47, 5, 64] varia entre 3 a 10 segundos.

Registro de *log*: O NGINX registra uma mensagem de *log* para cada arquivo transmitido, seja um arquivo manifesto ou arquivo referente a um segmento de vídeo. Em cada mensagem são relacionadas as seguintes informações:

- Endereço de IP da origem da requisição;
- Data e hora do registro da mensagem;
- Método HTTP (GET ou POST);
- Caminho para arquivo;
- Código de resposta HTTP;

- Intervalo de tempo que o servidor levou para responder a requisição;
- Carga útil, em *bytes*;
- Acerto ou falha no cache do arquivo requisitado;
- Detalhes do navegador do usuário.

Algumas outras informações, no entanto, nem sempre estão presentes, a depender do contexto da mensagem ou requisição:

- Identificação da transmissão, raramente presente nos *logs*;
- Origem da requisição, por exemplo: Facebook. Registro dos usuários que acessam o conteúdo direto pelo site ou aplicativo não geram dado neste campo;
- Intervalo de tempo para disponibilizar o arquivo no servidor, presente no registro somente no caso de falha de cache.

No final de cada dia, estas mensagens de *log* são escritas em vários arquivos de texto (*plain/text*). Cada arquivo deste, que contém da ordem de alguns milhões de registros, possui até 2 GB, e variando entre 50 MB até 350 MB em formato compactado.

3.4 Sobre a reprodução do vídeo

Os usuários podem assistir aos conteúdos pela Internet a partir de um navegador *web*, ou por aplicativo de dispositivos específicos como *smartphones*, *tablets* e *smartTVs*, como consta no guia de ajuda do portal da *Globo.com* [30]. O tocador de mídia utilizado pelo sistema da *Globo.com* é o Clappr [17], um programa de código aberto que é compatível com múltiplos navegadores. Na configuração utilizada do Clappr, os clientes não podem regular a qualidade do vídeo, pois utiliza-se *bitrate* (vazão ou taxa de transmissão de bits) adaptativo, como já apresentado.

Independentemente do tipo de dispositivo, do modo de acesso (navegador *web* ou aplicativo) e da forma de conexão com a Internet, existem duas restrições principais de acesso aos conteúdos, ambas relativas à regra de negócio. A primeira limitação imposta é relativa ao direito de acesso a conteúdo pago, pois somente assinantes devem ser liberados em determinadas transmissões, como explicita [37]. A localização do usuário é a segunda

restrição² [31], onde consta a liberação do acesso que abrange apenas as cidades das mesorregiões do Distrito Federal, Belo Horizonte, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo. Este estudo constatou que a localização não utiliza o sensor GPS (*Global positioning system* - Sistema de posicionamento global) dos dispositivos móveis, mas a geolocalização do PTT (Ponto de troca de tráfego) do provedor de acesso do usuário. Esta constatação foi possível de ser feita com testes realizados em diferentes cidades do estado do Rio de Janeiro e diferentes provedores.

Outra informação obtida nestes testes é que de acordo com interesse do provedor de conteúdo, a restrição pode ser desconsiderada, como foi verificado por este estudo durante a sessão de transmissão da votação da admissibilidade da denúncia da Procuradoria Geral da República contra o então presidente Michel Temer pelo crime de corrupção passiva [72].

3.5 Sessões de transmissão populares consideradas

Para as análises presentes neste estudo, foram selecionadas algumas sessões de transmissão populares do ano de 2016 e transmitidas pela *Globo.com*. Estas sessões foram escolhidas por serem eventos únicos e relevantes para história Brasileira, no período que este estudo foi iniciado. As sessões escolhidas possuem naturezas, tamanhos e propósitos diversos, verificáveis nas descrições a seguir:

- **Sessão da Câmara - abertura do processo de Impeachment:** a Câmara Federal realizou, no dia 17 de abril de 2016 das 14h ao fim do dia, conforme descrito em [19]. A sessão que autorizou a abertura do processo de Impeachment da então presidenta Dilma. Esta transmissão durou mais de 10h. Este controverso episódio da história nacional atraiu grande audiência, sendo um dos eventos mais populares de 2016;
- **Sessão do Senado - admissibilidade do Impeachment:** com mais de 20h de duração, foi a sessão do Senado Federal que garantiu a admissibilidade do processo de Impeachment de Dilma Rousseff [57]. Este evento iniciou-se na quarta-feira dia 11 de maio e terminou na madrugada do dia 12;

²Restrição existente no período que os dados desta tese foram coletados dos servidores da *Globo.com*

- **Sessão de defesa de Dilma Rousseff no Impeachment:** na segunda-feira, dia 29 de agosto de 2016, durante a parte da manhã, Dilma Rousseff apresentou sua defesa ao Senado Federal. Este evento, que durou por volta de 2 horas, é a sessão com menor popularidade dentre todas as estudadas por esta tese;
- **Sessão de julgamento do Impeachment:** a quarta e última sessão do Impeachment, selecionada por este trabalho, foi a do julgamento. Realizada pelo Senado Federal no dia 31 de agosto, esta transmissão durou pouco mais de 4 horas, iniciando-se às 11h da manhã, e finalizada por volta das 15h;
- **Abertura da Olimpíada:** a abertura dos Jogos Olímpicos Rio 2016 aconteceu no dia 5 de agosto, e durou 5 horas, incluindo a cobertura feita antes do início oficial. Descrito por [71], o evento contou com uma série de apresentações muito bem avaliadas pelos jornalistas, e por se tratar de um grande espetáculo de interesse mundial, foi também um dos maiores eventos de 2016;
- **Semifinal da Eurocopa:** foi escolhida a primeira semifinal da Eurocopa 2016, Portugal contra País de Gales, segundo informação da própria equipe da *Globo.com*, são jogos que usualmente atraem grande público. A partida aconteceu no dia 06 de julho de 2016. Os dados capturados desta transmissão incluem o intervalo e 15 minutos anteriores ao início efetivo da partida, usualmente usado para exibir informações gerais sobre o jogo.

Capítulo 4

Metodologia - Interpretação e validação dos dados

Neste capítulo é descrito o conjunto de métodos usados para reconstruir, a partir dos registros de *log*, as sessões dos usuários. Esta reconstrução é fundamental para caracterizar e viabilizar o estudo das sessões dos usuários. A primeira tarefa é definir o que os dados presentes no registro de *log* dos servidores de vídeo da *Globo.com* representam e quais informações podem ser obtidas, isto é, como interpretar estes dados. A segunda seção deste capítulo apresenta a validação da leitura dos registros de *log*, e considera a extração e critérios de interpretações dos mesmos, apresentando ainda uma discussão inicial a respeito das interrupções de reprodução de vídeo. O capítulo se encerra com o experimento usado para validar a leitura de dados proposta.

4.1 Considerações sobre a leitura dos registros de *log* - Interpretação inicial dos dados

Neste trecho do texto será apresentada a interpretação dada aos registros de *log*, utilizados neste estudo. O formato destes dados foi apresentado na Seção 3.3. Para simplificar a leitura, os nomes dos campos obtidos do registro estão grafados em **negrito**. Além disso, vale pontuar que eventuais experimentos de validação aqui propostos consideram os dados das sessões populares de 2016 apresentadas na Seção 3.5.

4.1.1 Heurística de Identificação do usuário

Seria natural imaginar que o endereço de IP fosse a maneira de identificar usuários únicos durante as sessões de transmissão, no entanto é comum que provedores utilizem um mesmo IP público para diversos usuários, em um dado contexto, com características de uma rede NAT (*Network Address Translation*). Esta estratégia de NAT é também utilizada, por exemplo, por usuários residenciais, que podem conectar, simultaneamente, diversos dispositivos a um mesmo roteador, com objetivo de compartilhar um mesmo link de acesso à Internet. Logo, utilizam do mesmo IP público. Então, para individualizar os usuários, este estudo propõe a utilização da composição das informações **endereço de IP da origem da requisição + detalhes do navegador do usuário**. Este último campo é o *user agent* e possui informações muito detalhadas, explicitando nome e versão do sistema operacional, versão da *engine* (*software* “motor” do navegador) e informações do próprio navegador (como nome, versão, etc). Trabalhos como [23, 8] se aprofundam em detalhes e na mensuração da unicidade dos *user agent*, bem como a capacidade deste de ser usado na identificação de indivíduos.

Nesta proposta, individualiza-se de fato o dispositivo, já que uma mesma pessoa pode acessar um mesmo vídeo, ao mesmo tempo, a partir de mais de um dispositivo. No entanto, para estabelecer uma compreensão mais próxima a realidade, que uma pessoa acessa um vídeo a partir de apenas um dispositivo, este estudo usará o termo “usuário” ao longo do texto, isto é, usuário único = dispositivo único.

Validação da identificação de usuários únicos: Este seguimento do texto busca validar a heurística proposta de combinar o endereço de IP com informações sobre os programas usados pelo usuário, o *user agent*. Considerando algumas das sessões de transmissão apresentadas no capítulo anterior, a Tabela 4.1 apresenta o quanto a combinação de IP e *user agent* amplia a percepção de usuários únicos de dispositivos móveis, por exemplo, ultrapassando 20% de aumento de usuários na transmissão da sessão de admissibilidade do Impeachment no Senado Federal.

Na Tabela 4.1 verificou-se ainda todas as combinações de endereços de IP por *user agent*, bem como as combinações de *user agent* por IP. Este calculo foi proposto para entender o quão comum é ter vários usuários conectados através de um mesmo IP, bem como perceber o tamanho da popularidade de um modelo/configuração de dispositivo específico.

Transmissões	Senado	Julgamento	Rio2016
Percepção de aumento			
IPs únicos	135.026	35.139	91.672
<i>User agents</i> únicos	8.837	2.581	3.821
Composição IP+UA	183.922	43.529	116.786
Percepção de aumento	26,59%	19,27%	21,50%
IPs associados a um dado <i>user agent</i>			
Mínimo	1	1	1
1º quartil (até 25%)	1	1	1
2º quartil (até 50%)	1	1	2
3º quartil (até 75%)	3	4	4
Máximo	9.654	2.396	11.487
<i>user agents</i> associados a um dado IP			
Mínimo	1	1	1
1º quartil (até 25%)	1	1	1
2º quartil (até 50%)	1	1	1
3º quartil (até 75%)	1	1	1
Máximo	29	15	39

Tabela 4.1: Percepção do aumento de usuários únicos e distribuição das ocorrências de endereços de IP por *user agent* e de *user agents* por endereço de IP

- IP por *user agent*

Essa combinação se trata de quantos IPs são relacionados a um mesmo *user agent*. Considerando IP o conjunto de endereços de IP dos dispositivos móveis de todos os usuários das sessões estudadas. Seja i uma variável aleatória discreta do número de endereços IP associados a um mesmo *user agent*. Usando os dados da sessão de abertura da Rio2016, por exemplo, podemos calcular:

$$i \subset IP$$

$$P[i = 1] = 50,06\%$$

$$P[i > 1000] = 0,33\%$$

- *User agent* por IP

Esta combinação se trata de quantos *user agents* são relacionados a um mesmo IP. Seja UA o conjunto de *user agent* de todos os dispositivos móveis dos usuários das sessões estudadas. Seja u uma variável aleatória discreta do número de *user agent* associados a um mesmo endereço de IP. Considerando, como exemplo, os dados da abertura dos jogos Olímpicos, é possível calcular:

$$u \subset UA$$

$$P[u = 1] = 88,9\%$$

$$P[u > 20] = 0,05\%$$

As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam a função de distribuição acumulada complementar (CCDF - *Complementary Cumulative Distribution Function*) do (i) número de ocorrência de diferentes *user agents* para cada IP público na sessão de transmissão e (ii) o total de IPs públicos associados a cada *user agents* específico no evento, respectivamente, da sessão de Abertura da Olimpíada Rio 2016. Os gráficos, que usam escala logarítmica no eixo das abscissas, complementam as informações apresentadas na Tabela 4.1. Além disto, estas figuras, que também usam dados de usuários conectados à transmissão a partir de dispositivos móveis, demonstram a totalidade das distribuições das características aqui avaliadas.

É possível perceber que existe um número relativamente pequeno de usuários utilizando um mesmo número IP, com valor máximo de 39 na transmissão da abertura da Rio2016, e de 1 pra 1 em quase todas as sessões ao menos até 75%, como indica a Tabela 4.1 e a Figura 4.1. E, por outro lado, existe um número expressivo de usuários utilizando dispositivos com as mesmas características (mesmo *user agent*), quando olharmos os valores máximos, como indica a Tabela 4.1 e a Figura 4.2. Porém, avaliando o segundo segmento da Tabela 4.1, é possível perceber que até 50% temos uma equiparação pequena e se mantém na mesma escala a até pelo menos o 3º quartil. Estes fatos combinados indicam que, apesar de eventuais estratégias NAT das operadoras e usuários com mesmo dispositivo e configurações de *software*, o uso de IP+*user agent*, neste contexto, é uma boa estratégia para identificar usuários únicos. Uma curiosidade é que, em todas as sessões estudadas, Iphones são os dispositivos com maior número de IPs associados. Este fato é explicado quando consideramos que o Iphone possui um único fabricante, e, em contraste, o número de empresas, modelos e versões para Android é muito vasto.

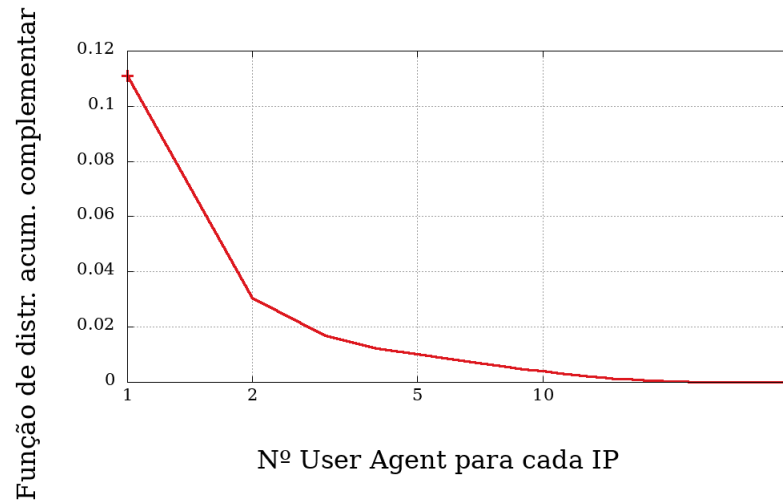


Figura 4.1: Função de distribuição acumulada complementar do número de ocorrência de diferentes *user agents* para cada IP único - Abertura da Olimpíada Rio 2016

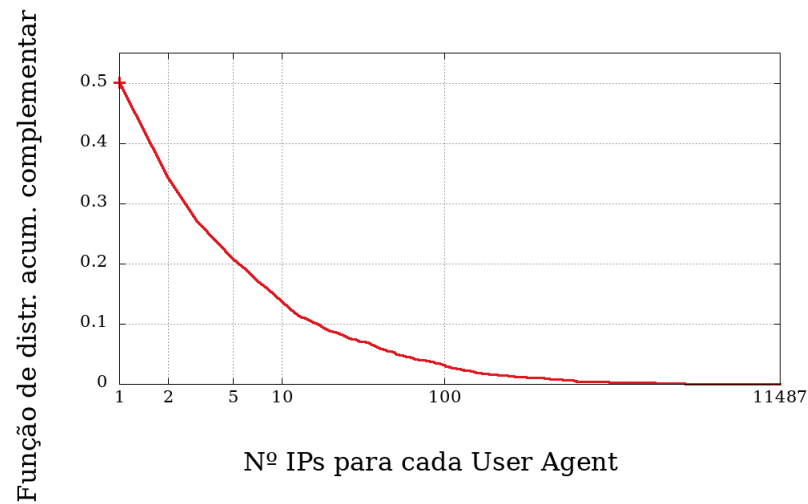


Figura 4.2: Função de distribuição acumulada complementar do número de ocorrência de diferentes IPs públicos para cada *user agent* específico - Abertura da Olimpíada Rio 2016

Embora este resultado valide a heurística proposta, ele também aponta a provável existência de uma pequena fração de registros combinados de mais de um usuário que podem ser interpretados como de um único usuário, isto é, dois usuários distintos usando equipamentos similares (com o mesmo *user agent*) e por trás do mesmo NAT (com o mesmo IP público); esta e outras eventuais distorções serão abordadas posteriormente na Seção 4.2.2.

4.1.2 Dispositivo móvel e não móvel

Considerando estas informações, foi possível criar um dicionário para classificar os registros em móvel e não móvel. A seguir são apresentados alguns exemplos de *user agent* reais capturados e usados aqui para ilustrar como o dicionário pode realizar objetivamente tal distinção:

- AppleCoreMedia/1.0.0.13F69 (**iPad**; U; CPU OS 9-3-2 like Mac OS X; pt-br)
- Samsung SM-P555M stagefright/Beyonce/1.1.9 (Linux;**Android**5.0.2)
- AppleCoreMedia/1.0.0.12H523 (**Apple TV**; U; CPU OS 8-4-1 like Mac OS X; pt-br)
- Mozilla/5.0 (**Macintosh**; Intel Mac OS X 10-11-5) AppleWebKit/601.6.17 (KHTML, like Gecko) Version/9.1.1 Safari/601.6.17
- Mozilla/5.0 (**iPhone**; CPU iPhone OS 9-3-2 like Mac OS X) AppleWebKit/601.1.46 (KHTML, like Gecko) Version/9.0 Mobile/13F69 Safari/601.1
- Mozilla/5.0 (**Windows** NT 10.0; WOW64) Chrome/51.0.2704.103

4.1.3 Duração da sessão do usuário

A duração da sessão do usuário representa o tempo que um determinado usuário permanece no sistema de transmissão. É definida pela diferença entre o horário da última e da primeira mensagem deste usuário, somando o resultado ao tamanho de segmento de vídeo usado na sessão de transmissão, como aponta a Figura 4.3. A sequência das mensagens é dada pelo campo **data e hora do registro da mensagem**.

Esta interpretação dos dados está fortemente vinculada à métrica *duração de visualização* e engajamento dos usuários, e que serão apresentadas no próximo capítulo.

4.1.4 Duração da sessão de transmissão

A duração da sessão de transmissão representa por quanto tempo um dado evento foi exibido em um canal de *streaming*. Pode ser calculada de forma análoga a “Duração da sessão do usuário”, porém considera a diferença entre a última e a primeira mensagem na

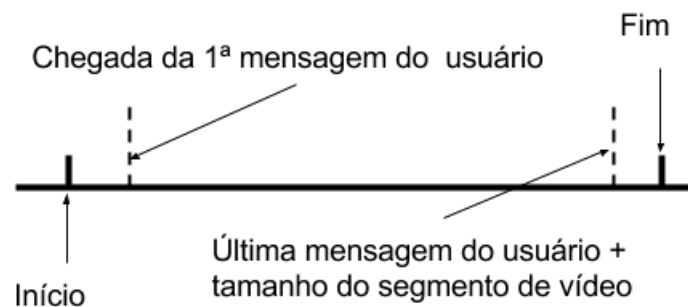


Figura 4.3: Tamanho de sessão do usuário

sessão de transmissão, ao invés de um único usuário, isto é, a primeira mensagem do primeiro usuário, e a última mensagem do último usuário conectado à sessão de transmissão de vídeo ao vivo.

4.1.5 *Bitrate* - Taxa de transmissão e adaptação

Durante a geração do conteúdo de vídeo, na fase de codificação, cada trecho/segmento do vídeo é alocado com nome e caminho específico. Segmentos de vídeo do mesmo trecho que foram gerados com qualidades diferentes, para atender às diferentes taxas de transferência, usam caminhos e nomes também diferentes. Ou seja, os segmentos são salvos de acordo com a qualidade de codificação. Por isto, o **caminho para arquivo** pode ser utilizado para perceber mudança de qualidade do vídeo reproduzido, considerando o uso de *bitrate* adaptativo nos tocadores que reproduzem conteúdo de vídeo da *Globo.com*, como apresentado no capítulo anterior.

Além disso, o *bitrate*, isto é, a taxa de transmissão real experimentada pelos usuários pode ser calculada através da razão do somatório da **carga útil (em bytes)** pela permanência do usuário na sessão, isto é, a **duração da sessão do usuário** descrita acima. A leitura deste dado está ligada à métrica de vazão que será apresentada no capítulo seguinte.

4.2 Heurística de percepção de interrupções

Em uma primeira leitura nos dados da *Globo.com*, foi possível perceber algumas peculiaridades, como, por exemplo, um número expressivo de mensagens com a carga útil (em bytes) registrando zero, ou com um intervalo grande entre mensagens. Essas pe-

culiaridades podem representar um problema da transmissão, isto é, uma interrupção na reprodução do vídeo no dispositivo dos clientes. Para compreender estes comportamentos, os dados de entrada das métricas foram gerados e experimentados utilizando as estratégias descritas a seguir:

- **Entrada única** - este primeiro tipo de extração de informação leva em conta todos os usuários. Porém, desconsidera eventuais interrupções na sessão do usuário, ou seja, a duração de visualização de um determinado usuário é considerada a partir da entrada do mesmo no sistema até o recebimento da última mensagem, mesmo que este usuário tenha ficado sem receber mensagens de dados por um longo período. Os dados gerados por este critério também se caracterizam como limiar de comparação com os demais, uma vez que desconsideram qualquer tipo de interrupções, sejam falhas ou reentradas voluntárias;
- **Ponderação da carga útil** - este critério implementa a **cláusula (a)**: quando um dado usuário recebe uma sequência de x mensagens sem carga útil, ou seja, não recebeu nenhum *byte* do vídeo, considera-se que ocorreu algum problema e o usuário teve uma interrupção na sua transmissão. Portanto, as mensagens seguintes são consideradas como uma nova entrada de sessão do usuário. Foram experimentados diferentes valores para x . Os cenários avaliados com $x = 1$ ou $x = 2$ não apresentaram diferença significativa, por isso foi adotado para validação o valor de $x \geq 3$;
- **Trechos faltantes** - considera como regra a **cláusula (b)**: sempre que um usuário permanece sem receber mensagens do vídeo por um período de tempo superior a t segundos, as mensagens seguintes são consideradas como pertencentes a uma nova sessão de usuário. Vale ressaltar, como já dito anteriormente, que os segmentos podem variar de 3 a 10 segundos. Foram experimentados valores diversos de t para calcular, medir e caracterizar este tipo de interrupção, apresentados a seguir, na Seção 4.2.1;
- **Descarte dos usuários sem carga útil** - este método de geração de dados implementa a **cláusula (c)**, que consiste em simplesmente descartar os usuários cuja soma da carga útil em todas as mensagens for zero;
- **Combinação $A + B$** : este critério é composto por duas cláusulas diferentes, (a) + (b), já descritas anteriormente. Não existe “prioridade” entre as cláusulas, ou seja, a cláusula que for atendida primeiro fará o corte;

- **Combinação $A + B + C$** : este critério de geração dos dados é composto por três cláusulas diferentes, (a) + (b) + (c), já descritas anteriormente. Não existe “prioridade” entre as cláusulas (a) e (b), ou seja, a cláusula que for atendida primeiro fará o corte. Já a cláusula (c) por sua vez, caso validada, faz com que as mensagens daquele contexto sejam descartadas.

Todos os mecanismos de geração de dados descritos que implementam as cláusulas (a) e/ou (b), descritos acima, foram experimentadas com a seguinte variação: uma vez detectada uma interrupção, o retorno do usuário é considerado apenas a partir do recebimento de uma mensagem de vídeo com carga útil maior que zero, isto é, não nula.

4.2.1 Validação dos dados - Percepção de interrupção

A primeira tarefa para realizar esta validação foi experimentar todas as combinações dos critérios propostos. Este trabalho concluiu que os critérios que implementam a **cláusula(b)** são os únicos realmente relevantes, isto é, o critério **Trechos faltantes** foi o único que apresentou diferença significativa ao ser testado nas sessões estudadas (e descritas na Seção 3.5). Logo, é possível perceber, considerando este fato, que o atraso na entrega das mensagens de vídeo é o elemento com maior impacto na transmissão de vídeo ao vivo.

Na ponderação do critério **trechos faltantes**, foram experimentados vários intervalos de tempo t distintos, como mostrado na Tabela 4.2. Estes intervalos de tempo t representam a quantidade de tempo que um determinado usuário passou sem receber novos trechos de vídeo, isto é, em uma interrupção.

A questão que se coloca é como definir o intervalo t seguro a partir do qual se pode afirmar que houve uma interrupção para o usuário. A Tabela 4.2 apresenta ainda o valor total de usuários únicos e o número de sessões de usuário considerando reentradas com diferentes intervalos de interrupção, nas sessões de abertura dos Jogos Olímpicos e da abertura do processo de Impeachment na Câmara dos Deputados.

Avaliando os dados da Tabela 4.2 é possível perceber que o intervalo $t = 20$ apresenta um número significativamente maior de interrupções percebidas, logo faria pouco sentido usar um intervalo t maior que 20, já que isso reduzia a capacidade de perceber interrupções. Considerando ainda que os trechos de vídeo podem variar entre 3 e 10 s, na configuração recomendada do NGINX, usar intervalos $t = 20s$ oferece uma boa margem de segurança na leitura dos dados.

Sessões	Câmara		Abertura Rio2016	
	móvel	não móvel	móvel	não móvel
Entradas únicas	542.856	1,054.614	116.786	310.979
Total Interrupções - Cláusula (b)				
Intervalo 20 s	576.299	1.254.037	154.906	151.571
Intervalo 30 s	452.898	891.665	116.034	102.032
Intervalo 40 s	380.084	744.728	93.314	78.692
Intervalo 1 min	302.521	596.000	72.760	59.965
Intervalo 2 min	216.101	436.572	50.104	39.128

Tabela 4.2: Total de interrupções por sessão considerando Cláusula(b) com diferentes t intervalos

4.2.2 *Outliers* - Distorções de leitura

Este estudo utiliza dados de registro de *log* para recriar as sessões de usuário, e estes registros não foram configurados para este fim. Então, por mais acurada que seja a proposta de leitura, eventuais distorções foram detectadas e inclusive usadas para refinar a interpretação final dos registros da *Globo.com* apresentados nesta tese. Portanto, os dados que eventualmente não puderam ser validados ou cuja leitura era ambígua foram descartados. Estes descartes são a última etapa da heurística proposta e representam menos de 2% do total das sessões de usuário, logo influenciariam pouco a análise. São exemplos de distorções:

- Sessão de usuário com número muito acima da média de mensagens enviadas por tempo. Indica falha na combinação de IP+*user agent*;
- Usuários cuja soma da carga útil (em *bytes*) é nula. Esta distorção foi mensurada pela Cláusula(a) (descrita anteriormente), e representa menos que 0,01% das sessões;

- Mensagens com extensão de arquivo não relacionadas a vídeo. Aponta que os servidores HTTP de vídeo ao vivo da *Globo.com* proveram outros tipos de serviço além de vídeo propriamente;
- Mensagens de controle e medição de saúde do servidor. O NGINX realiza diversos testes de *healthcheck* em intervalos regulares.

4.3 Experimento de validação dos registros

Uma das maiores dificuldades da proposta de caracterizar usuários a partir de registros de servidor é que a forma com que essas informações são escritas em *log* podem não refletir a realidade, por problemas do *software* ou até de configuração. Logo, uma importante etapa proposta na metodologia deste estudo é a validação dos dados.

4.3.1 Configuração do experimento

A validação proposta consiste em um experimento de acesso controlado aos canais de vídeo ao vivo da CDN da *Globo.com*, cuja abstração é representada pela Figura 4.4. Nesta ilustração, estão representados os servidores da *Globo.com*, o percurso do vídeo através da Internet, o roteador com ponto de acesso sem fio, os dispositivos de reprodução do experimento e um sistema terminal provido de um analisador de pacotes. É importante apontar que os pacotes oriundos e destinados aos dispositivos de reprodução de vídeo são replicados para o computador com analisador de pacotes. Para realizar o experimento foram executados os seguintes passos:

1. Instalar os aplicativos de acesso a vídeo ao vivo do sistema da *Globo.com* nos dispositivos a serem utilizados pelo experimento;
2. Configurar um computador de suporte ao experimento com *software* capaz de realizar análise de pacotes;
3. Utilizar roteador capaz de prover acesso à Internet através de ponto de acesso sem fio para os dispositivos de reprodução de vídeo;
4. Configurar o roteador para encaminhar todas as mensagens provenientes e destinadas ao dispositivo móvel, em teste, para o computador de suporte.

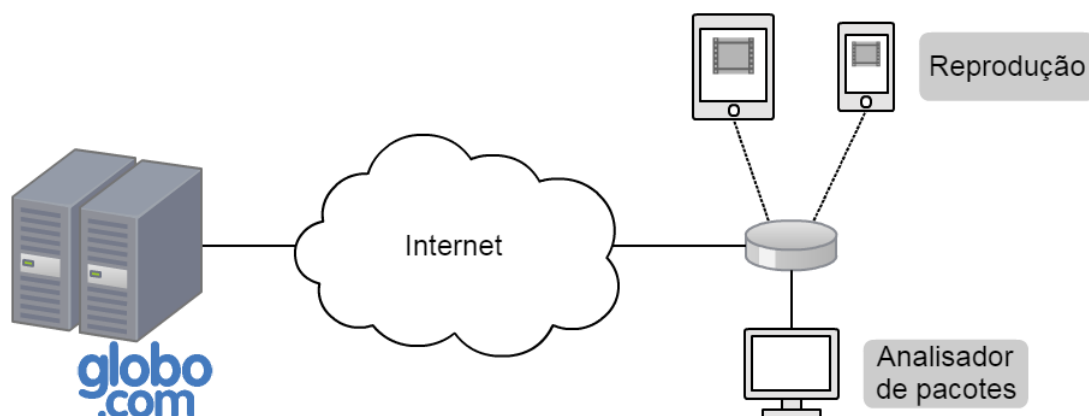


Figura 4.4: Esquema do experimento de acesso e validação da leitura dos registros de *log* dos usuários

4.3.2 Baterias e resultados

Uma vez realizada a configuração descrita anteriormente, coube executar baterias de testes com os seguintes passos: (i) anotar o IP público, (ii) anotar a hora de início, (iii) reproduzir vídeo por alguns minutos, (iv) anotar eventual interrupção ou falha, e (v) anotar a hora de término.

Ao longo deste estudo, foram realizadas 6 sessões distintas deste experimento, totalizando 30 baterias de teste, ao longo de mais de 1 ano. Diferentes parâmetros foram considerados neste experimento, como: dispositivos móveis e não móveis, diferentes sistemas operacionais, acesso por rede fixa e rede móvel-LTE, acesso simultâneo e interrupções artificiais. As baterias foram executadas em horários com baixa expectativa de audiência, para simplificar o posterior processo de coleta dos dados nos servidores do provedor de conteúdo. A partir das informações posteriormente coletadas através do acesso aos servidores da *Globo.com*, pode-se localizar os dados referentes às baterias de teste realizadas. Estes dados foram usados para reconstruir as “sessões de usuários” do experimento, como no processo descrito ao longo deste capítulo. Estas sessões de usuário foram confrontadas com a experiência percebida durante a execução das baterias.

Este processo foi fundamental para refinar a leitura proposta dos dados e garantir a acurácia das análises apresentadas ao longo desta tese, e que caracterizou o processo de desenvolvimento dos algoritmos de processamento de *log* e reconstrução das sessões dos usuários em iterativo e incremental. Foi possível perceber que a *Globo.com* fez poucas mudanças na configuração padrão do NGINX, fato que simplificou em muito a leitura dos

dados. E como já esperado, cabe apontar que o processo descrito neste capítulo já é a versão refinada.

4.4 Considerações parciais sobre a metodologia

Este capítulo apresentou uma forma de interpretar e validar os dados dos servidores HTTP/NGINX de vídeo ao vivo da *Globo.com*. Separar esta interpretação das métricas (que serão apresentadas no capítulo seguinte) é importante para apontar que as técnicas deste estudo podem ser adaptadas para outros contextos e outros tipos de sistemas de transmissão de vídeo.

Destacam-se neste capítulo: (i) identificação de usuários únicos no sistema de transmissão, (ii) a identificação do tipo de dispositivo usado pelo usuário (se móvel ou não móvel), (iii) interpretação de dados de *log* em informações relevantes para a análise, (iv) heurística de validação dos registros que considera como estimar uma interrupção e eventuais distorções de leitura. O capítulo termina ao descrever o experimento que, com um processo iterativo e incremental, foi usado para validar as leituras propostas ao longo do próprio capítulo.

Capítulo 5

Metodologia - Métricas, características e técnica de mineração

Com o processo de reconstrução das sessões de usuário instituído, descrito no capítulo anterior, cabe agora dissertar sobre as métricas e características que se deseja avaliar neste estudo. Logo, este capítulo apresenta a definição das métricas e técnicas de análise do acesso aos vídeos ao vivo a partir de dispositivos móveis da *Globo.com*. Este capítulo está organizado em quatro seções principais: (i) na primeira estão descritas as métricas objetivas, (ii) na segunda parte são descritas características de interesse para análise, (iii) na terceira seção é apresentada a técnica de mineração de regra de associação, e (iv) o capítulo termina com a seção que apresenta a coletânea de métodos propostos neste estudo.

É válido apontar que este capítulo foi concebido apartado do anterior para delimitar os elementos da metodologia de forma a facilitar eventual reprodução das técnicas e métodos propostos, isto é, definir os que são derivados da necessidade imposta pela realidade de adaptação dos dados da *Globo.com*, apresentados no capítulo anterior, dos elementos possivelmente aplicáveis a outros cenários, reforçando a leitura e interpretação, estes últimos apresentados aqui.

5.1 Métricas

As medidas descritas a seguir foram definidas olhando para dois pontos principais: O que já havia sido utilizado na literatura e o que era possível de ser extraído a partir dos dados fornecidos pela *Globo.com*. Esta discussão soma-se à interpretação proposta das métricas apresentadas por este estudo, individualizada nas seções a seguir:

5.1.1 Duração de visualização/Permanência do usuário

Esta métrica revela o tamanho da sessão de usuário, e representa o tempo que este permaneceu assistindo a uma determinada transmissão. É, usualmente, ilustrada pela função de distribuição acumulada da duração de visualização dos usuários em uma dada transmissão. É uma medida presente em diversos trabalhos, como [41] e [61].

O tempo de permanência do usuário está diretamente relacionado ao engajamento deste e pode refletir, especialmente em dispositivos móveis, a autonomia de reprodução e tolerância a falhas por parte do usuário. Devida a sua importância, o tempo no sistema ou engajamento, pode ser combinado a diversos outros aspectos de análise, uma vez que se apresenta possivelmente como principal medida de interesse em trabalhos desta natureza.

A base do cálculo desta métrica, neste estudo, usa a definição de duração de sessão de usuário apresentada na Seção 4.1.3. Esta medida pode ou não considerar tempo ausente dos usuários, e neste aspecto se complementa a medição de interrupção/reentrada apresentada na sequência.

5.1.2 Interrupções e reentradas

Um usuário pode deixar de assistir a uma sessão de transmissão por diversos motivos, como: (i) dificuldade na infraestrutura do servidor e/ou de rede, (ii) vontade própria, isto é, o usuário ativamente interrompe a transmissão, e (iii) o próprio funcionamento do dispositivo usado, como em mensagens e alertas do sistema operacional, execução de aplicação preemptiva, etc. Este evento de saída do usuário de uma sessão configura uma **interrupção**.

Estas interrupções na reprodução, em muitos casos, são seguidas de novas tentativas de assistir a transmissão, excluindo neste caso, talvez, o egresso voluntário por parte dos usuários. Uma tentativa desta natureza é definida como **reentrada**.

As diferentes abordagens de cálculo desta métrica, no contexto deste estudo, foram apresentados no capítulo anterior. Considerando que os conceitos de reentrada e interrupção são interligados ao engajamento do usuário desde a concepção, é importante que ponderações a partir desta medida sejam feitas levando em conta a permanência dos usuários nas sessões de transmissão.

5.1.3 Vazão

Representa o total de *bytes* de carga útil do vídeo recebido por um determinado dispositivo durante uma sessão de usuário. Esta métrica permite identificar a taxa média de dados que cada um dos usuários está recebendo e compará-la com as taxas de transmissão de outros usuários ou com as taxas de transmissão da CDN. Portanto, ela possibilita perceber eventuais problemas na transmissão e até identificar usuários que desviem da expectativa de aumentar o total de *bytes* ao longo do tempo de permanência na transmissão.

Considerando um dado usuário, esta medida pode ser obtida para representar a vazão final, isto é, vazão média, obtida pela soma de todos os bytes carregados pelo usuário dividida pelo tempo de permanência deste usuário na transmissão. De forma análoga, é também possível calcular a vazão de um dado intervalo de tempo ou de janela temporal.

Detalhes sobre o cálculo usado neste estudo foram apresentadas na Seção 4.1.5. O valor é calculado a partir da percepção do servidor, haja vista a natureza da informação. Soma-se a este fato o uso de redundância temporal e espacial na compressão de vídeo, e estes ajudam a compreender que esta métrica se apresenta enquanto limite superior a vazão efetivamente praticada.

5.1.4 Chegadas e partidas (*Churn*)

Presente de formas diversas na literatura, como em [41], essa métrica apresenta o padrão de entradas e saídas dos usuários em uma dada sessão de transmissão. Pode ser calculada, por exemplo, sobrepondo as sessões dos usuários. A partir desta métrica, é possível identificar o total de usuários no sistema (sessão de transmissão) num dado instante de tempo. Portanto, é possível avaliar eventuais picos de usuários e/ou a quantidade média de expectadores. Esta métrica, pode ainda, diferenciar entradas únicas e reentradas, viabilizando a percepção do volume de usuários que por alguma razão reingressaram na sessão de transmissão.

Considerando todos os usuários em todas as sessões de transmissão, é possível avaliar a capacidade do sistema de transmissão. E quando se considera os usuários de uma determinada sessão de transmissão surge a possibilidade de mensurar o volume de audiência e eventualmente engajamento do ponto de vista do conteúdo.

5.2 Outras características das sessões dos usuários

Quase todas as informações oriundas do servidor de *streaming* são relacionadas a transmissão/reprodução de vídeo, com informações limitadas sobre os usuários. Para enriquecer os dados, este estudo propõe associá-los a informações obtidas através de APIs (*Application Programming Interface*) de geolocalização baseada em IP. O uso desse tipo de serviço é amplamente discutido, como por exemplo [59, 21].

A partir destes dados, é possível criar um banco de dados ampliado no qual cada tupla representa a sessão de um determinado usuário, compreendendo as informações das sessões anteriores e as seguintes:

- **Acesso à rede** - mostra se o usuário está usando rede celular móvel (como 3G ou 4G) ou conectado via Wifi e/ou rede cabeada regular (rede “fixa”);
- **AS e Provedor** - identificação do AS (*Autonomous system* - Sistema Autônomo) e do provedor através do qual o usuário se conectou à Internet;
- **Geolocalização** - a partir da latitude e longitude, é possível identificar a localização dos usuários de acordo com a cidade, região (província, estado) e país;
- **Sistema operacional** - esta informação é a única deste conjunto oriunda do servidor de *streaming*, obtida através do dado **Detalhes do navegador do usuário** descrito no Capítulo 3.

5.3 Mineração de regras de associação

As técnicas de mineração de dados são comumente usadas para extrair informações e descobrir relacionamentos e correlações entre os dados, o que pode não ser tão evidente quando se usa métodos estatísticos tradicionais em um grande conjunto de dados.

Portanto, este estudo propõe a aplicação da técnica de Mineração de Regras de Associação, que é uma técnica de KDD (*Knowledge-Discovery in Databases* - Descoberta de Conhecimento em Bancos de Dados), descrita por [32]. A principal razão para usar esta técnica é devido ao seu baixo custo computacional, considerando a enorme quantidade de dados deste trabalho, bem como seus resultados proeminentes na literatura, aplicada de forma exitosa em diversas áreas.

Nesta técnica, uma regra de associação é expressa no formato: $A \implies B$, lido como “ A implica B ”, onde A é o *antecedente* e B é o *consequente*. As regras mineradas representam correlações entre informações de um dado contexto. A e B podem representar qualquer agrupamento de informação no conjunto de dados, isto é, podem representar um único valor de atributo ou um grupo destes.

Considerando as seguintes regras como exemplo: A primeira regra do exemplo indica que usuários usando rede móvel (3G/4G) teriam ‘baixo engajamento’, isto é, o uso da rede de celular implicaria em um baixo tempo de reprodução dos vídeos. Já a segunda regra aponta que usuários usando Wifi teriam ‘vazão alta’.

- 3G/4G $\implies$ baixo engajamento
- Wifi $\implies$ vazão alta

É comum que os dados sejam estruturados com valores de atributos contínuos ou nominais, o que pode gerar um número alto de regras, e estas, por sua vez, podem ter leitura irrelevante, como descrito por [32]. Logo, a aplicação da técnica de mineração de regras de associação está condicionada a construção e/ou adequação da base de dados, considerando, por exemplo, a discretização dos valores de atributos.

Regras de associação é uma técnica de mineração de dados indireta, pois requer a validação de um especialista. Esta necessidade se mostra evidente quanto se imagina uma regra cujo consequente seja muito popular na base de dados ou até na tentativa de estabelecer associação causal, uma vez que correlação não implica necessariamente em causalidade. A importância e relevância das regras de associação mineradas neste estudo podem ser avaliadas pelas três métricas a seguir:

5.3.1 Confiança

A confiança indica a relevância do *consequente* em relação a todas as tuplas que incluem o *antecedente*. É equivalente à probabilidade condicional (B dado A). Considerando uma data regra $T_{A \cap B}$, o valor da confiança é obtido pela divisão do número de ocorrências da regra pela cardinalidade do conjunto, isto é, pelo total de tuplas do banco de dados que contém o *antecedente* da regra (T_A), como na equação:

$$Confianca(regra) = \frac{T_{A \cap B}}{T_A} \quad (5.1)$$

5.3.2 Suporte

O suporte reflete como a regra é representativa em relação ao tamanho do banco de dados em estudo. É uma métrica importante para entender o quão “forte” é a regra em questão. Dada uma regra $T_{A \cap B}$, o suporte é calculado dividindo o número de ocorrências da regra pelo total de tuplas (T), conforme mostrado na equação:

$$Suporte(regra) = \frac{T_{A \cap B}}{T} \quad (5.2)$$

5.3.3 Lift

A medida *Lift* indica a medida da frequência de B com base na ocorrência de A . O *Lift* pode representar três valores possíveis:

1. O $Lift < 1$ significa que A afeta negativamente a frequência de B .
2. Se o $Lift = 1$ indica que A não influencia a ocorrência de B .
3. E quando $Lift > 1$, A afeta positivamente a ocorrência de B .

A escolha do *Lift* como métrica neste estudo é explicada pela capacidade desta de avaliar se um fator analisado influencia a ocorrência de outro em uma sessão de transmissão de vídeo ao vivo. Essa última métrica é obtida a partir da divisão do valor de confiança da regra pelo suporte do *Consequente*, este, por sua vez, é definido pela divisão das tuplas de B pelo total de registros no banco de dados. O cálculo do *Lift* é apresentado na equação:

$$Lift = \frac{Confianca(regra)}{Suporte(B)} \quad (5.3)$$

5.4 Visão geral da metodologia

Este capítulo apresentou quais medidas e atributos serão usados na análise proposta por este estudo, assim como apresentou detalhes da técnica de Mineração de Regra de Associação, que será usada suplementarmente a análise estatística das métricas e características. E, somado ao conteúdo do capítulo anterior, define todo o arcabouço metodológico proposto por esta tese.

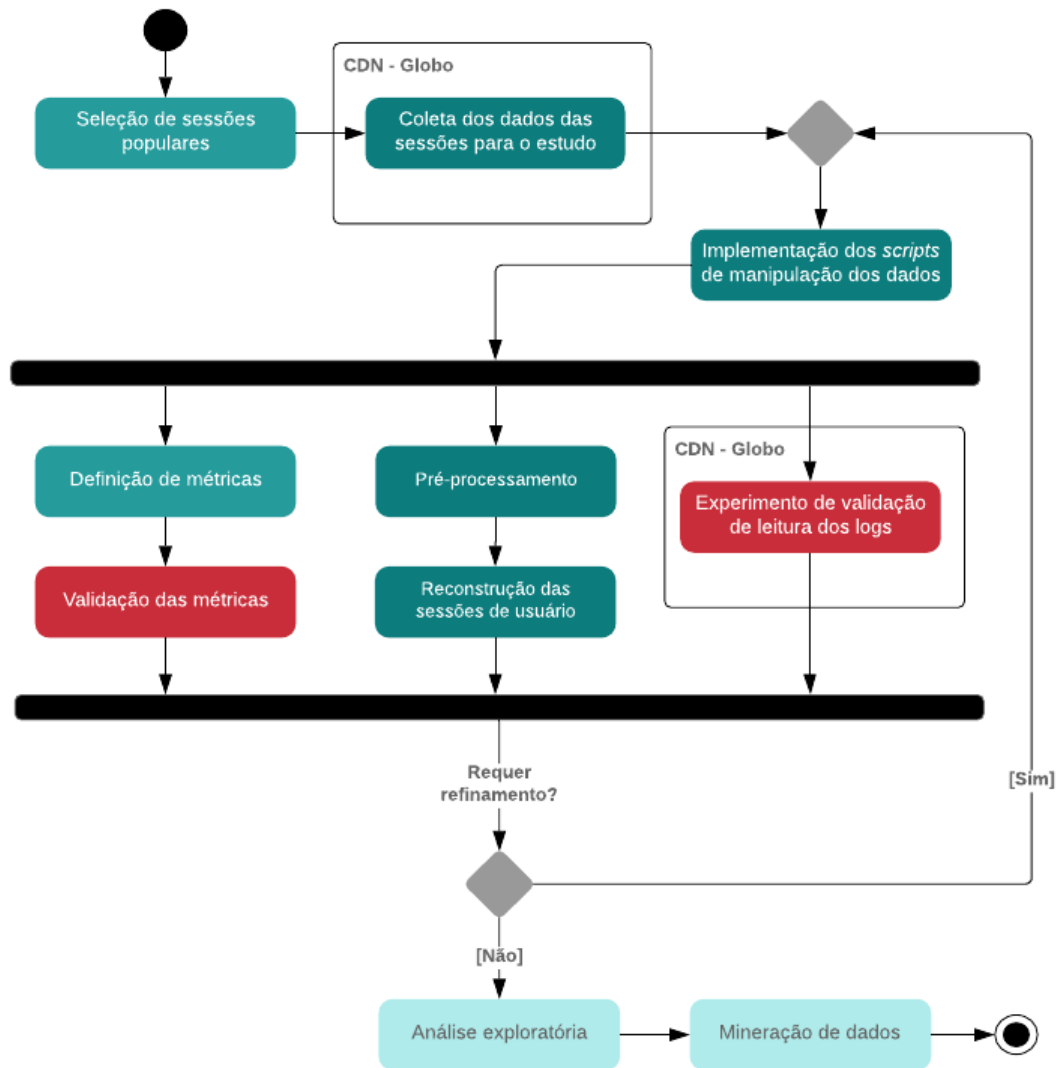


Figura 5.1: Diagrama de atividades representando o processo iterativo incremental proposto por este estudo

A Figura 5.1 apresenta o diagrama de atividades que ilustra os principais passos propostos e executados neste estudo. Considerando seu fluxo principal, o diagrama inicia com a seleção e coleta de dados das sessões populares previamente selecionadas para o estudo, seguido da etapa de implementação dos *scripts* para processar os dados e reconstruir as sessões. A partir deste ponto o fluxo se divide em 3 atividades paralelas: (i) definir e refinar métricas, (ii) processar dados brutos e reconstruir as sessões, e (iii) validar a leitura realizada. As duas etapas em vermelho indicaram, por diversas vezes, refinamento do processo ao longo deste estudo. Uma vez exaurida a necessidade de melhoria, foi possível realizar a análise e mineração de dados, que serão apresentadas no capítulo seguinte.

Uma primeira interpretação da Figura 5.1 pode, talvez, gerar a impressão que trata-se de um processo rápido. No entanto, somente a atividade de pré-processar dados das sessões selecionadas para o estudo poderia durar dias, usando o servidor disponibilizado pela universidade. Isto se deve ao enorme volume dos registro de *log*. Para exemplificar, somente nas horas da sessão da Câmara, a *Globo.com* registrou, não considerando compactação dos arquivos, quase 0,5 TB (terabyte) em arquivos de *logs*.

Então, com intuito de representar o trabalho realizado para o tratamento dos dados, é apresentada a Figura 5.2. Nesta abstração, é possível acompanhar todas as macro atividades realizadas para que os dados estivessem prontos para análise. E, apesar de não apresentar demais detalhes da metodologia, traz detalhamento técnico que melhor refletem o esforço computacional desta tese. As atividades ilustradas no diagrama são detalhadas nos itens a seguir:

1. O fluxo inicia com a representação da coleta de dados nos servidores de *log* da *Globo.com*. Estes registros são carregados em formato compactado, como mencionado na Seção 3.3;
2. Uma vez que os *logs* foram carregados no servidor da universidade, é realizado o pré-processamento dos dados. Esta atividade varre todos os arquivos baixados da *Globo.com*, descompacta os arquivos identificados, extrai todos os registro correspondentes aos canais de transmissão e a data/hora do evento selecionado. Esta tarefa termina com a organização das colunas e ordenação as linhas;
3. A etapa de reconstrução das sessões de usuário é executada múltiplas vezes, para cada critério/cláusula/parâmetro definido. Estas várias execuções utilizam os mesmos dados pré-processados, e esta estratégia foi pensada exatamente para reduzir o custo computacional deste estudo. Nesta etapa de reconstrução, os diversos registros do mesmo usuário são sumarizadas em uma única linha/tupla;
4. Considerando os números de IP presentes nos dados da *Globo.com*, e como já descrito na Seção 5.2, é realizada a etapa de enriquecimento dos dados a partir de bases de dados públicas de informações baseadas em IP;
5. Uma vez que os dados foram gerados e processados, é possível carregá-los em banco de dados relacional para refinamento, tratamento e discretização. Utilizando estratégia de *views* materializadas, é possível preservar dados originais, para verificação e adequação, e ainda disponibiliza-los com tempo de consulta de apenas alguns minutos, para etapas de análise e mineração de dados.

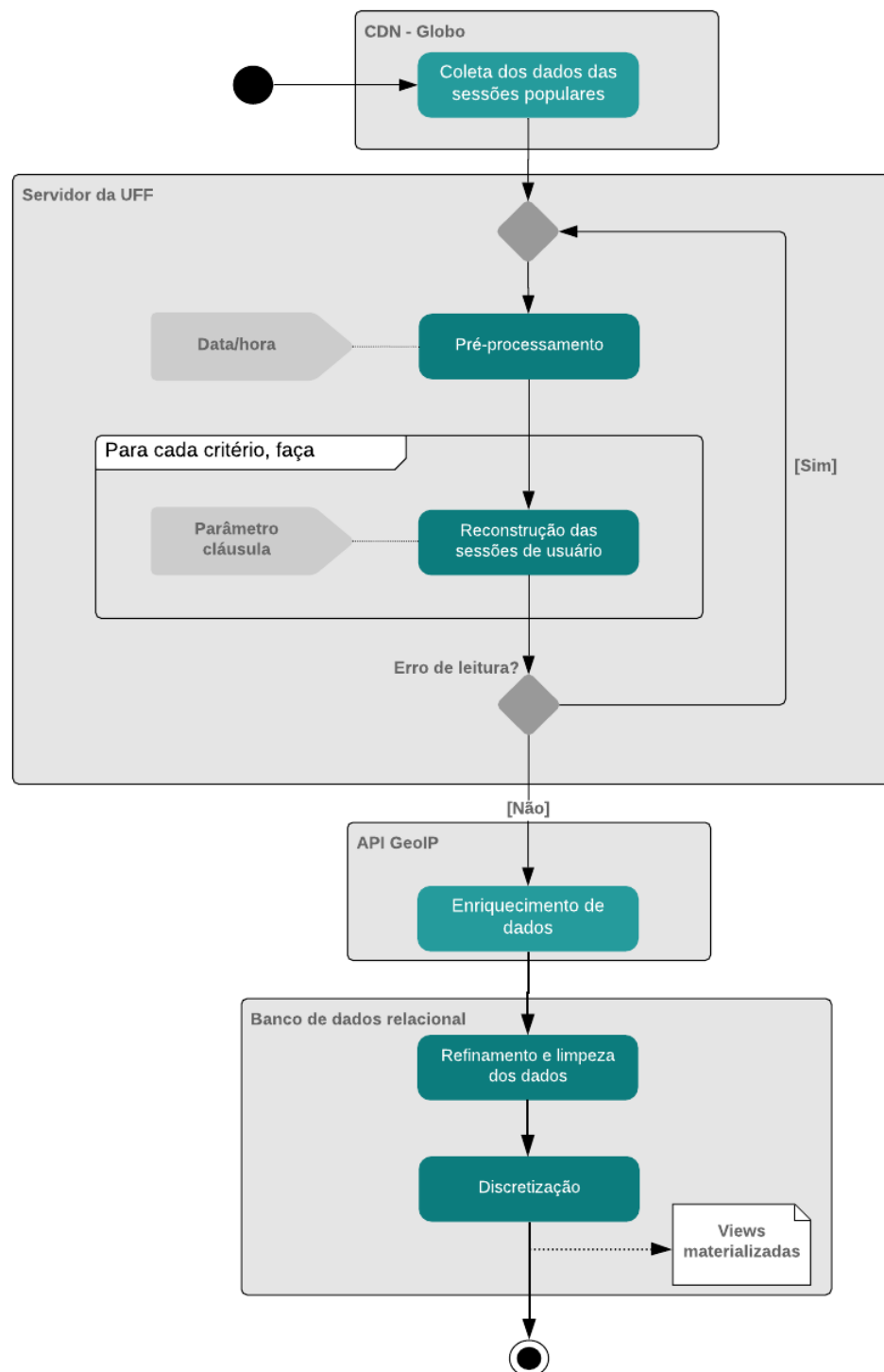


Figura 5.2: Diagrama de atividades do fluxo e tratamento de dados para análise

Capítulo 6

Análise - *Streaming* de vídeo ao vivo em dispositivos móveis

Nos últimos 3 capítulos foram apresentados: (i) o funcionamento do sistema de transmissão de vídeo da *Globo.com*, (ii) a interpretação conferida aos dados oferecidos pela empresa, e (iii) os métodos e técnicas de análise destes dados. Logo, neste capítulo está o cerne deste estudo: analisar transmissão de vídeo ao vivo para dispositivos móveis.

Ao longo desta parte do texto, as sessões selecionadas para estudo (apresentadas na Seção 3.5) serão examinadas a luz das métricas e características previamente estabelecidas. Para definir o que de fato é uma característica de usuário de dispositivos móveis, esta tese propõe comparações de elementos não circunscritos ao escopo do estudo, isto é, confrontar diferenças e semelhanças com dados dos usuários de dispositivos não móveis (PC, *notebook*, etc.). Ao final das etapas de análise geral/estatística de métricas e características este capítulo apresenta as regras de associação mineradas a partir dos dados das sessões.

6.1 Interrupções

As interrupções representam, dentre as métricas selecionadas, instrumento com maior potencial de detectar problemas nas sessões de usuário, e por isso é o primeiro instrumento desta análise. No Capítulo 4 foi apresentada a heurística de percepção de interrupção, cabendo agora entender os efeitos destas nas transmissões e para os usuários.

Interrupções e reentradas devem ser ponderadas considerando engajamento, afinal, seja por saída voluntária ou por problema de infraestrutura, aquele usuário interrompido escolheu retornar a transmissão. É possível perceber pela Tabela 6.1, já apresentada anteriormente, que, independentemente do valor do intervalo de tempo mínimo para detectar

Sessões	Câmara		Rio2016	
	móvel	não-móvel	móvel	não-móvel
Entradas únicas	542,856	1,054,614	116,786	310,979
Total Interrupções - Cláusula(b)				
Intervalo 20 s	576,299	1,254,037	154,906	151,571
Intervalo 30 s	452,898	891,665	116,034	102,032
Intervalo 40 s	380,084	744,728	93,314	78,692
Intervalo 1 min	302,521	596,000	72,760	59,965
Intervalo 2 min	216,101	436,572	50,104	39,128

Tabela 6.1: Total de interrupções por sessão de transmissão com diferentes intervalos

a interrupção, a sessão de abertura do *Impeachment* da Câmara dos Deputados teve um número significativamente maior de interrupções. Esta diferença no número de interrupções não é proporcional à duração da sessão ou à quantidade de usuários únicos, isto quando comparada à abertura dos Jogos Rio2016. E lembrando, a duração da sessão de abertura do *Impeachment* na Câmara é de 10 horas, enquanto a da cerimônia de abertura das Olimpíadas é de 5 horas.

Além disso, à medida que aumentamos o valor do intervalo de tempo interrompido, a proporção do número de interrupções se modifica, especialmente na sessão de transmissão de abertura do *Impeachment* na Câmara dos Deputados. Este fato significa que a transmissão de abertura do *Impeachment* tem interrupções mais longas do que a abertura dos Jogos Rio2016, considerando dispositivos móveis e não móveis. Mesmo levando em conta as durações respectivas das sessões inicialmente avaliadas, esta constatação é justificável pelo fato da sessão da Câmara ser efetivamente a transmissão de um longo processo de votação, e que mesmo um tempo longo de interrupção não atrapalharia a compreensão do conteúdo e, ao contrário deste, a abertura dos Jogos Olímpicos contou com várias performances, atrações e shows.

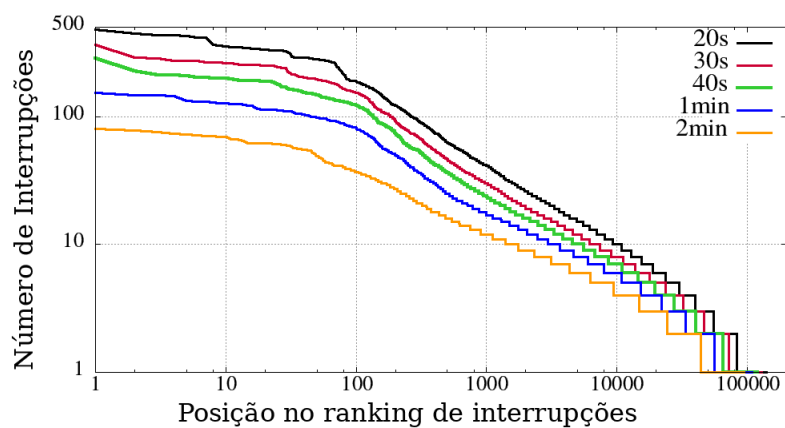


Figura 6.1: Classificação dos usuários por quantidade de interrupções - Câmara dos Deputados - Dispositivos móveis

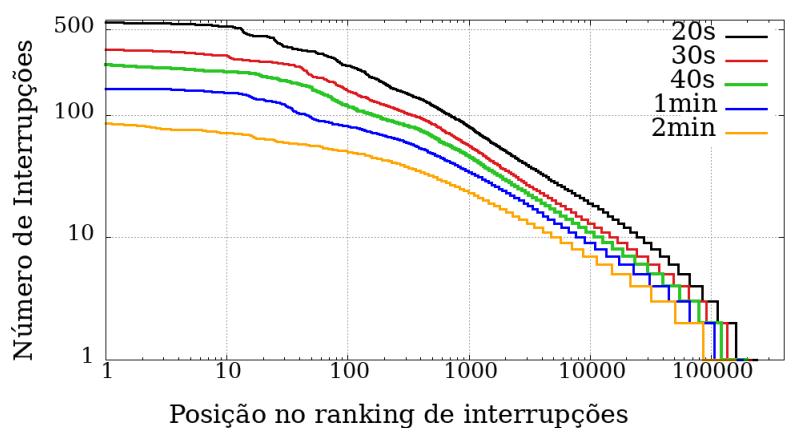


Figura 6.2: Classificação dos usuários por quantidade de interrupções - Câmara dos Deputados - Dispositivos não móveis

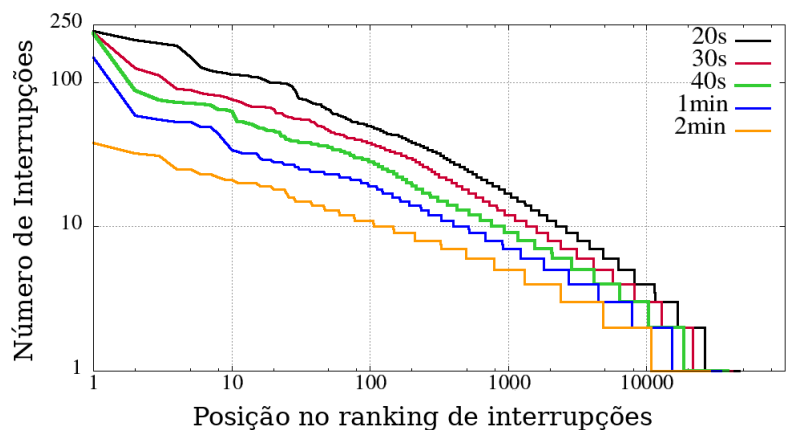


Figura 6.3: Classificação dos usuários por quantidade de interrupções - Rio2016 - Dispositivos móveis

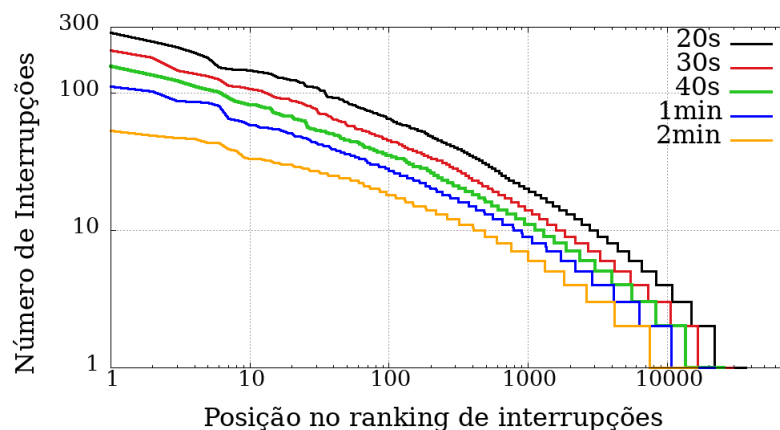


Figura 6.4: Classificação dos usuários por quantidade de interrupções - Rio2016 - Dispositivos não móveis

As Figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4 mostram a classificação dos usuários pela quantidade de interrupções, da maior para a menor. Nestas figuras, os usuários com os piores resultados, ou seja, aqueles com mais interrupções, estão nas primeiras faixas, que têm um número significativo de usuários com mais de dez interrupções e incluem usuários com números alarmantes de até centenas.

Considerando estes usuários problemáticos (com muitas interrupções) nas duas sessões de transmissão em questão, é evidente que os usuários não móveis têm um número máximo de interrupções muito maior. Embora seja uma leitura contraintuitiva, pois espera-se que dispositivos e redes móveis tenham menor capacidade, esta primeira diferença (entre estas duas classes de usuários) indica que os usuários não móveis são mais tolerantes. Este fato talvez possa ser justificado quando se considera que os usuários não móveis não estão necessariamente preocupados com uso de plano de dados ou com a sua autonomia de bateria, e por isto estariam dispostos a manter a tentativa de reprodução de vídeo em execução.

Analisando as curvas apresentadas nas Figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4, é possível perceber que independente do intervalo t de corte da cláusula (b), o comportamento é o mesmo, embora intervalos mais curtos potencialmente revelem mais interrupções, como já discutido. A ausência de uma alteração significativa entre as curvas, isto é, na distribuição do ranking de interrupções, aponta que não existe um comportamento diferente a ser percebido ao se variar t . Considerando ainda que os segmentos de vídeo possuem entre 3 a 10 segundos, como apresentado no Capítulo 3, ou seja, que intervalos entre as mensagens muito curtos são um comportamento esperado, logo, pode-se concluir empiricamente

que 20 segundos é um intervalo seguro como tamanho mínimo das interrupções como já discutido no Capítulo 4.

Sessões		Rio2016		Câmara	
		Usuários		Usuários	
Usuários únicos	Android	58.567	13.69%	333.102	20.85%
	iPhone	45.063	10.53%	153.842	9.63%
	iPad	13.156	3.08%	55.912	3.50%
	Não móvel	310.979	72.70%	1.054.614	66.02%
		Usuários		Usuários	
Com reentradas	Android	140.265	18,22%	1.057.874	24,17%
	iPhone	108.422	14,08%	507.696	11,60%
	iPad	26.640	3,46%	196.790	4,50%
	Não móvel	494.640	64,24%	2.615.255	59,74%
Percepção de aumento	Android	139.49%		217.58%	
	iPhone	140.60%		230.01%	
	iPad	102.49%		251.96%	
	Não móvel	59.06%		147.98%	

Tabela 6.2: Percepção de aumento das sessões de usuário considerando interrupções

A Tabela 6.2 apresenta uma outra visão sobre o número total de interrupções nas sessões de transmissão de abertura do *Impeachment* e da Rio2016, para usuários móveis e não móveis, e foi criada para ampliar o entendimento da disparidade entre usuários móveis e não móveis no que tange interrupções. Os usuários móveis, foco deste estudo, estão segmentados por sistema operacional. Esta tabela foi dividida em 3 contextos: (i) as sessões de usuários únicos de cada segmento e a porcentagem destes na transmissão, (ii) as sessões de usuários considerando cada reentrada como uma nova sessão, e (iii) a porcentagem do aumento, por segmento, comparando o primeiro bloco de usuários únicos com o segundo.

Os dados nesta tabela reforçam a diferença do tipo de engajamento considerando o conteúdo, pois aponta, por segmento, no quadro de percepção de aumento, que os espectadores da sessão de abertura do *Impeachment* tiveram um número significativamente maior de interrupções que os da abertura dos Jogos Olímpicos. Além disso, a partir dos dados apresentados é possível perceber que os sistemas operacionais de dispositivos móveis apresentam, inicialmente, percepções de aumento geral muito parecidas entre si.

Então, com intuito de ampliar o entendimento sobre como as interrupções por usuário estão distribuídos nas sessões apresenta-se a a Figura 6.5. Esta ilustração mostra a distribuição das interrupções por usuário móveis de 6 sessões de transmissão analisadas neste estudo. O eixo y representa o número de interrupções por usuário, ilustrado em escala logarítmica. Cada uma das sessões, são identificadas no eixo x e por diferentes cores. Cada sessão apresenta um diagrama de caixa com valores dos extremos e quartis (mínimo, 25%, mediana, 75% e máximo). O pequeno quadrado preto traz a média aritmética do número de interrupções por usuário de cada uma das sessões.

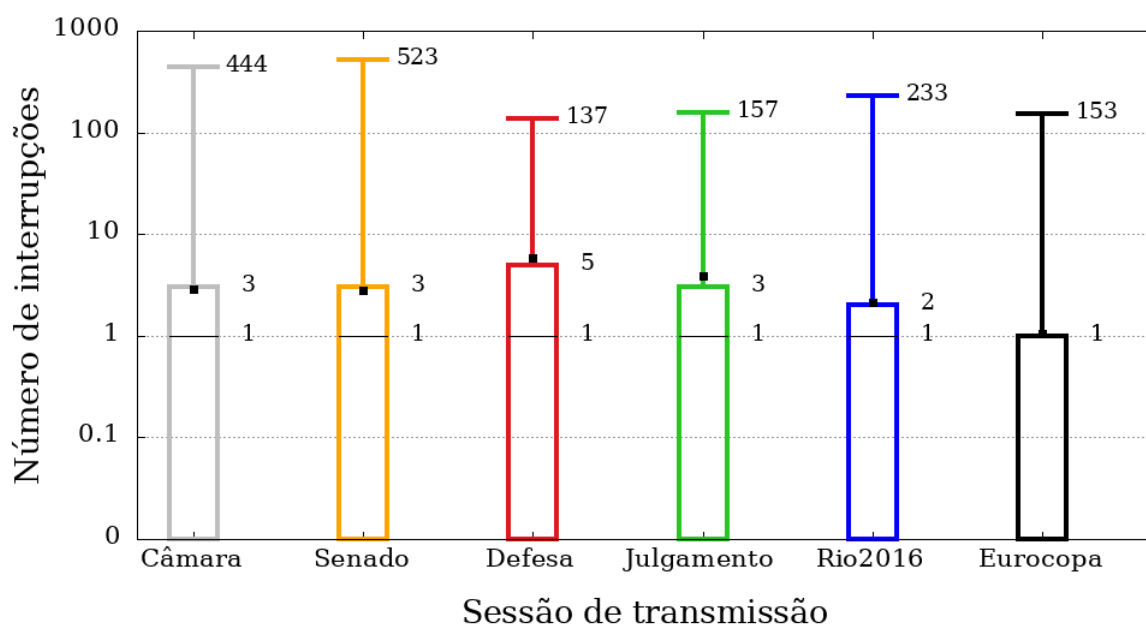


Figura 6.5: Distribuição do número de interrupções nas sessões de transmissão em estudo. Apresenta quartis, valores máximos, mínimos e a média (quadrado preto)

Fica evidenciado na Figura 6.5 que mais de 25% dos usuários de todas as sessões não possuem nenhum tipo de interrupção e metade sofreu apenas uma. A primeira diferença se apresenta no terceiro quartil, com números variando entre 2 até 5. Considerando que

todas as sessões foram longas, estes valores podem se provar toleráveis por parte dos usuários, porém é necessário comparar estes valores com outras métricas de engajamento.

Outra questão na distribuição das interrupções se apresenta nos valores máximos, como pode ser percebido não só na Figura 6.5 mas também nas Figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4, o que inclui dispositivos móveis e não móveis. Considerando, por exemplo, o maior valor de interrupção móvel, isto é, 523 interrupções da sessão de admissibilidade do *Impeachment* no Senado, e considerando que cada interrupção teve ao menos 20 segundos, indica que este usuário teve mais de 2 horas de interrupção, que é um valor alto, mesmo levando em conta que as sessões em análise são muito longas.

6.2 Duração da visualização dos usuários

O tempo de visualização é, talvez, a métrica mais significativa a ser avaliada. O tempo de visualização caracteriza o uso do serviço de *streaming* de vídeo em si por parte dos usuários e, por isso, reflete mais diretamente o engajamento destes. No entanto, é importante mencionar que esta métrica pode ser fortemente influenciada por outras questões para usuários de dispositivos móveis, pois existe uma expectativa de que eles possuam limitações mais restritivas de capacidade de reprodução prolongada, justificadas, por exemplo, pela autonomia de bateria, franquia de dados móveis, tempo segurando o dispositivo, etc.

Como apresentado na seção anterior, alguns usuários podem ficar muito tempo em interrupção, o que é especialmente curioso no caso de usuários conectados à transmissão através de dispositivos móveis. Com intuito de elucidar qual a relação entre interrupção e engajamento foram criadas as Figuras 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9. Estas imagens apresentam as funções complementares da distribuição acumulada do tempo de visualização dos usuários segmentado de acordo com o número de interrupções que obtiveram nas sessões analisadas.

Para a abertura das Olimpíadas (Figura 6.6), como primeiro resultado interessante, pode-se perceber que os usuários que tiveram no máximo uma interrupção possuem um tempo de visualização acima da média, enquanto os usuários com 2 ou mais interrupções obtiveram um tempo de visualização abaixo da média. Claramente, os usuários que tiveram 10 ou mais interrupções tiveram um tempo de visualização muito abaixo dos outros usuários, este fato demonstra que um número elevado de interrupções compromete o engajamento dos usuários, e apontando para estas seções o limiar de tolerância. Este comportamento pode ser observado também na Figura 6.7, que apresenta um detalhe da Figura 6.6, e, em escala logarítmica no eixo y , coloca em evidência 90% dos usuários.

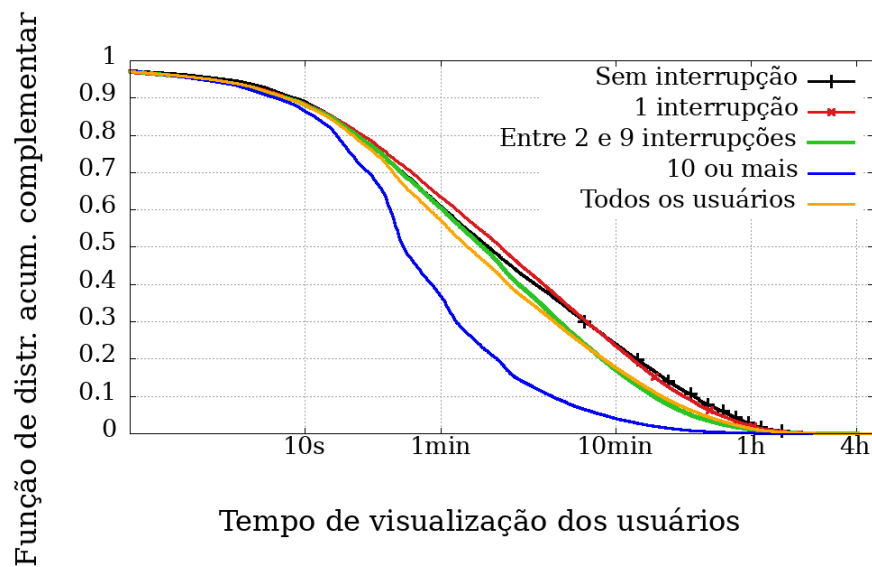


Figura 6.6: Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos **móveis** agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016

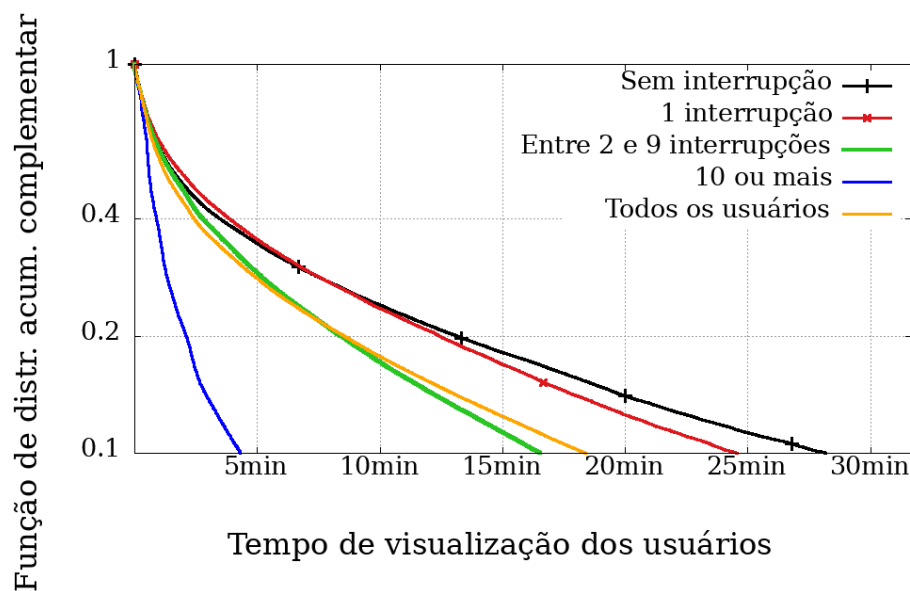


Figura 6.7: Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos **móveis** agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016 - Zoom

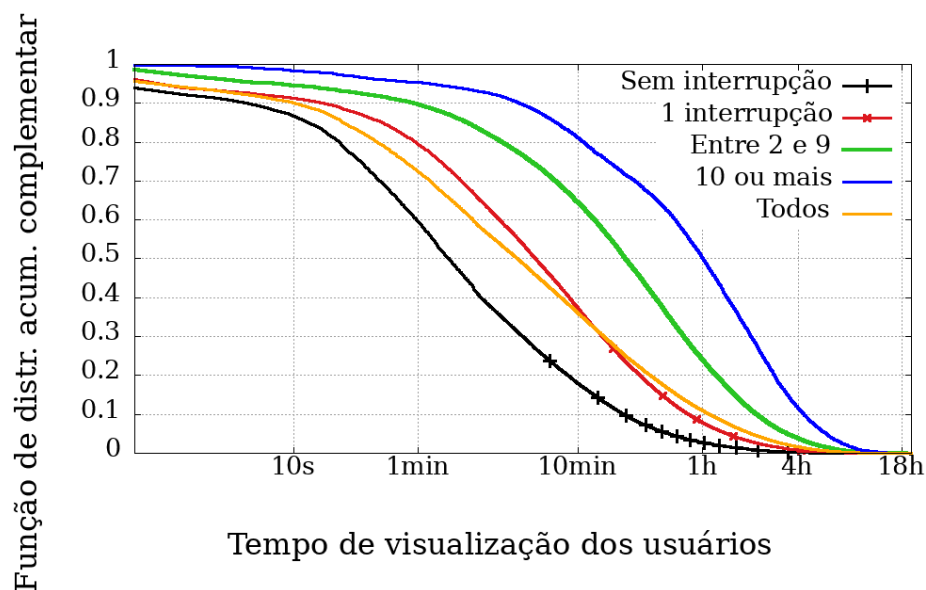


Figura 6.8: Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos **móveis** agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão do *Impeachment* Senado

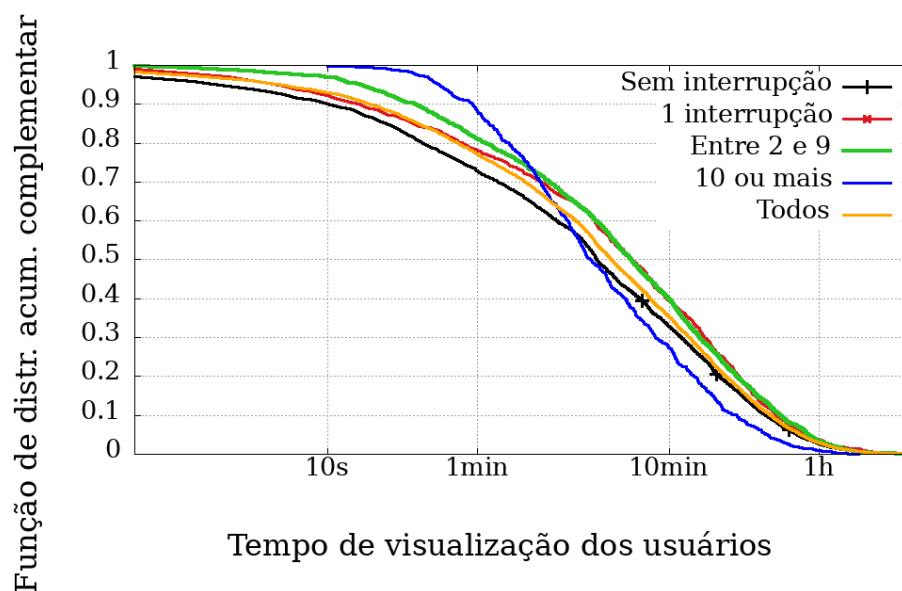


Figura 6.9: Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos **móveis** agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão do *Impeachment* Defesa

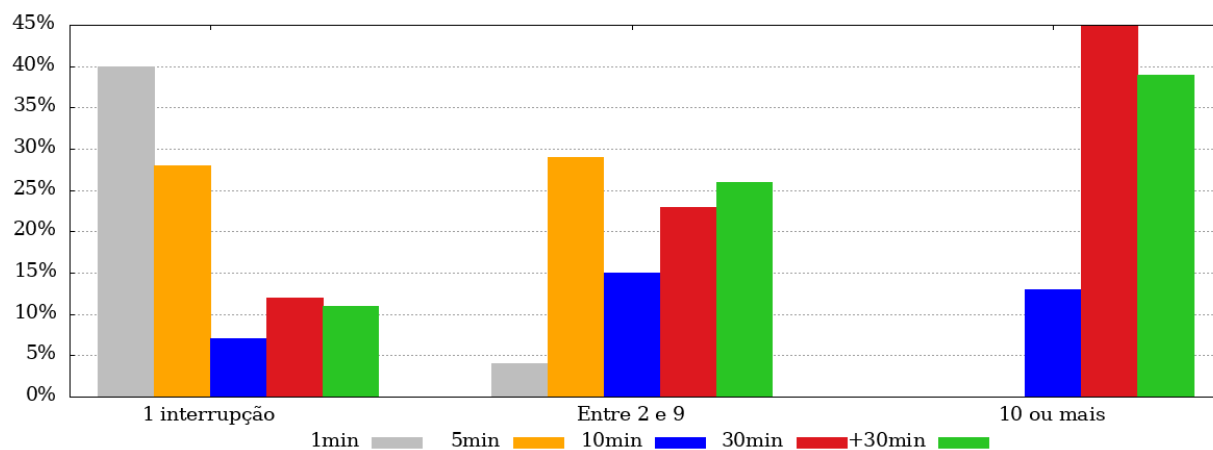


Figura 6.10: Porcentagem dos usuários por tempo em interrupção e agrupados pelo número de ocorrências de interrupções de usuários de dispositivos **móveis** na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016

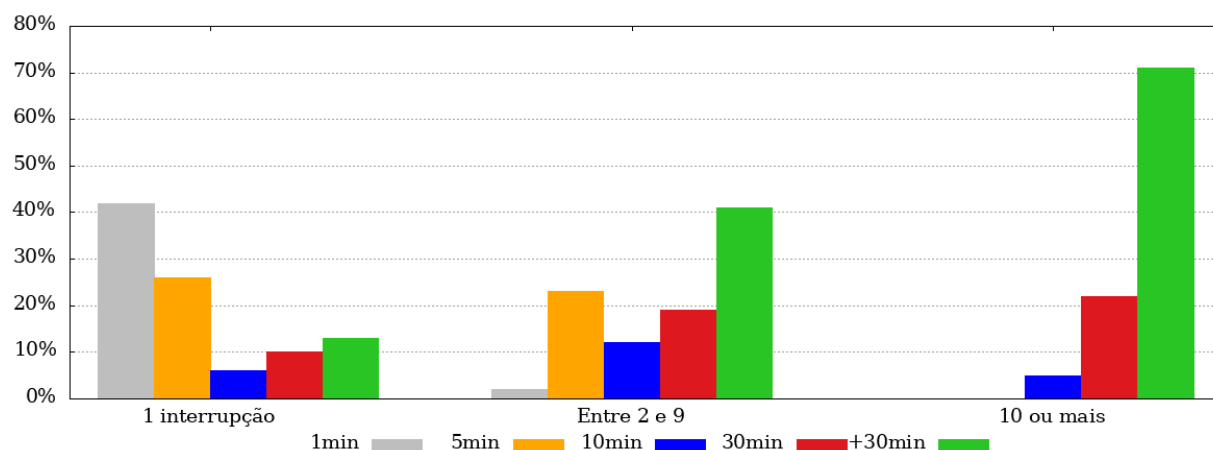


Figura 6.11: Porcentagem dos usuários por tempo em interrupção e agrupados pelo número de ocorrências de interrupções de usuários de dispositivos **móveis** na sessão de transmissão do *Impeachment* Câmara

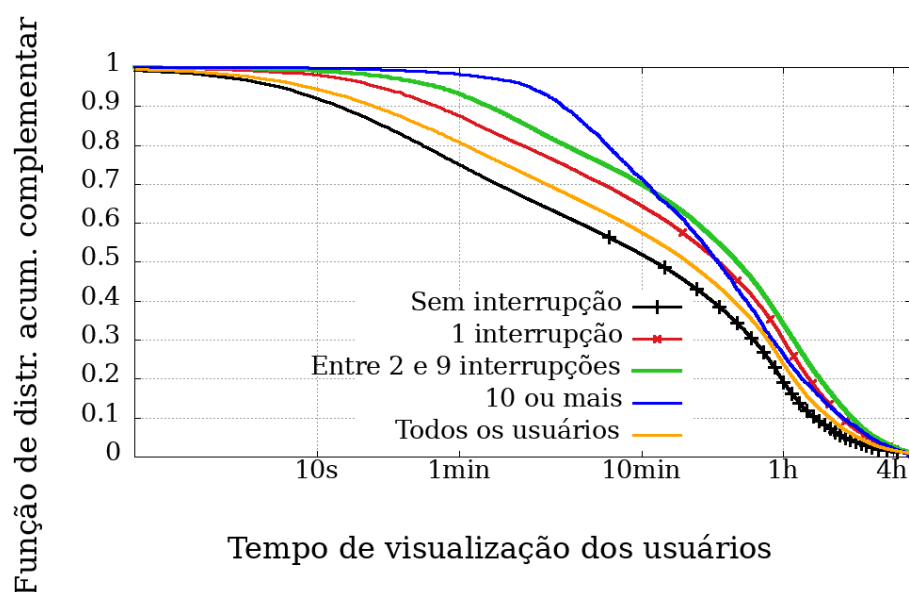


Figura 6.12: Função de distribuição acumulada complementar do tempo de visualização de usuários de dispositivos **não móveis** agrupados por quantidade de interrupções experimentadas na sessão de transmissão Abertura dos Jogos Olímpicos Rio 2016

No entanto, esta leitura não se reproduz para a sessão de admissibilidade do *Impeachment* da então presidenta Dilma no Senado, representado graficamente na Figura 6.8. Nesta sessão de transmissão, os usuários que permaneceram por mais tempo no vídeo foram aqueles que experienciaram o maior número de interrupções. Este fato pode ser explicado pelos resultados anteriores (descritos na seção anterior sobre interrupções) que mostraram que o número de interrupções deste evento foi superior ao da sessão de Abertura Olimpíadas no Rio. Fato gerado, possivelmente, por usuários interessados em saber o andamento da votação, mas que não estariam dispostos a permanecer engajados por horas (esta sessão do Senado teve 15h de duração).

Para confirmar este entendimento são apresentadas as Figuras 6.10 e 6.11. Nessas figuras são apresentadas as porcentagens dos usuários para cada faixa de tempo em interrupção, isto é, intervalo total de tempo entre sessões de reprodução do mesmo usuário, discretizadas em (i) até 1 minuto, (ii) até 5 minutos, (iii) até 10 minutos, (iv) até 30 minutos, e (v) mais de 30 minutos. Estes gráficos consideram ainda o mesmo agrupamento usado nas abstrações anteriores, com intuito de simplificar a leitura. A Figura 6.10 apresenta dados de usuários de dispositivos móveis na sessão de transmissão dos Jogos Olímpicos Rio 2016, já a Figura 6.11 é referente a sessão da Câmara.

Comparando as Figuras 6.10 e 6.11, é possível perceber que os usuários destas possuem números proporcionalmente semelhante, considerando o agrupamento de 1 interrupção e bem como de 2 e 9 interrupções. A diferença se apresenta no último agrupamento, em que se destacam os usuários, em especial da sessão do *Impeachment*, com mais de 10 interrupções e mais de 30 minutos em interrupção. Estes gráficos corroboram o entendimento de que, em sessões de transmissões de vídeo ao vivo, muitas interrupções não são necessariamente oriundas de sessões problemáticas, especialmente em eventos da política em que o engajamento contínuo não é necessariamente obrigatório para compreender ou acompanhar o conteúdo.

O resultado mais surpreendente dentre as sessões analisadas talvez seja o da Defesa da Dilma. Ilustrada pela Figura 6.9, esta sessão se caracteriza por ser a com menor quantidade de expectadores entre todas as sessões do *Impeachment*, e pela curva dos usuários com mais de 10 interrupções se comportar de maneira muito própria. Apesar de ter conteúdo relacionado ao processo de *Impeachment*, esta sessão teve um tipo de engajamento diferente das demais, fato que talvez se justifique por não se tratar de uma votação, logo, o que estivesse sendo dito não teria uma consequência imediata no processo. Considerando ainda a curta duração desta sessão de transmissão (apenas 1 hora), neste contexto, os usuários com 10 interrupções ou mais, não são reingressantes voluntários, mas provavelmente usuários que experimentaram problemas e desistiram da transmissão.

Para estabelecer visualmente uma comparação destes resultados de usuários de dispositivos móveis com usuários não móveis, apresenta-se a Figura 6.12, representando gráfico com a mesma leitura dos anteriores, porém construído a partir das informações dos usuários **não móveis** da abertura dos Jogos Olímpicos. Retomando, em termos de comparação, as Figuras 6.6 e 6.7, é possível observar que usuários **móveis** com até 1 interrupção geralmente tiveram um maior tempo de visualização, enquanto os usuários com duas ou mais interrupções tiveram tempo de visualização abaixo da média. Curiosamente, na mesma transmissão, usuários **não móveis** sem interrupção tiveram menor engajamento. É importante apontar que este resultado é semelhante nas demais sessões de transmissão estudadas.

Este fato, descrito acima, reforça a interpretação de que usuários não móveis são mais resistentes e tolerantes a falhas, enquanto usuários móveis estão mais preocupados em usar os recursos do dispositivo. Vale ressaltar que outros problemas podem influenciar as métricas de tempo de reprodução para celular. Espera-se que eles tenham limitações mais restritivas à capacidade de reproduzir vídeos por períodos mais longos.

A comparação destas sessões, especialmente as da abertura da Rio2016 e da sessão do Senado, sobre a ótica das métricas de tempo de visualização e interrupção, aponta que a natureza do conteúdo tem influência no comportamento dos usuários considerando engajamento, reentrada e até tolerância. Este entendimento sobre como diferentes formas de engajamento dos usuários relacionadas ao conteúdo pode afetar estratégias e decisões dos provedores e servidores de vídeo no futuro.

Ao passo que a diferença entre as duas classes de usuário (móvel e não móvel), na relação de engajamento com tolerância a interrupção, está estabelecida, uma similaridade curiosa ainda se apresenta, independente de móvel ou não móvel: por que tantos usuários tem tempo de visualização tão baixo? Para melhor demonstrar esta questão, uma outra forma de perceber o tempo de visualização dos usuários é apresentada na Figura 6.13. De forma mais ampla, esta ilustração traz a distribuição dos tempos de visualização dos usuários das sessões analisadas neste estudo. O eixo y representa a duração da visualização (em segundos), representado em escala logarítmica. Cada uma das sessões, são identificadas no eixo x e por diferentes cores, apresenta um diagrama de caixa com valores dos extremos e quartis. O pequeno quadrado preto traz a média aritmética da duração da visualização dos usuários de cada uma das sessões.

Na Figura 6.13 é possível notar que boa parte dos usuários tem uma duração de visualização ínfima, de poucos segundos. Em quase todas as sessões, até 25% dos usuários dificilmente excederá 1 minuto. Uma das exceções é a semifinal da Eurocopa, que até 50% atinge 8 minutos, fato talvez explicado pelo engajamento mais incisivo, característico da audiência deste tipo de esporte. Além disso, as médias de todas as sessões estão entre 7 minutos (*Impeachment* - defesa) e 1 hora e 20 minutos (*Impeachment* - Senado), o que não representa um valor alto em comparação com a duração das sessões de transmissão, todas em uma escala de horas.

Este fato parecia não encontrar eco na realidade, já que é difícil imaginar porque um número tão grande de usuários, em alguns casos mais da metade, ficaria conectado por apenas poucos segundos, sendo que à princípio foi o próprio usuário que ativamente entrou na sessão de transmissão. Porém conforme descrito pela imprensa [70], [69], [28] e [62], Google e Facebook, duas das maiores plataformas de vídeo do mundo, mudaram suas políticas de medição de engajamento de vídeo para venda de publicidade.

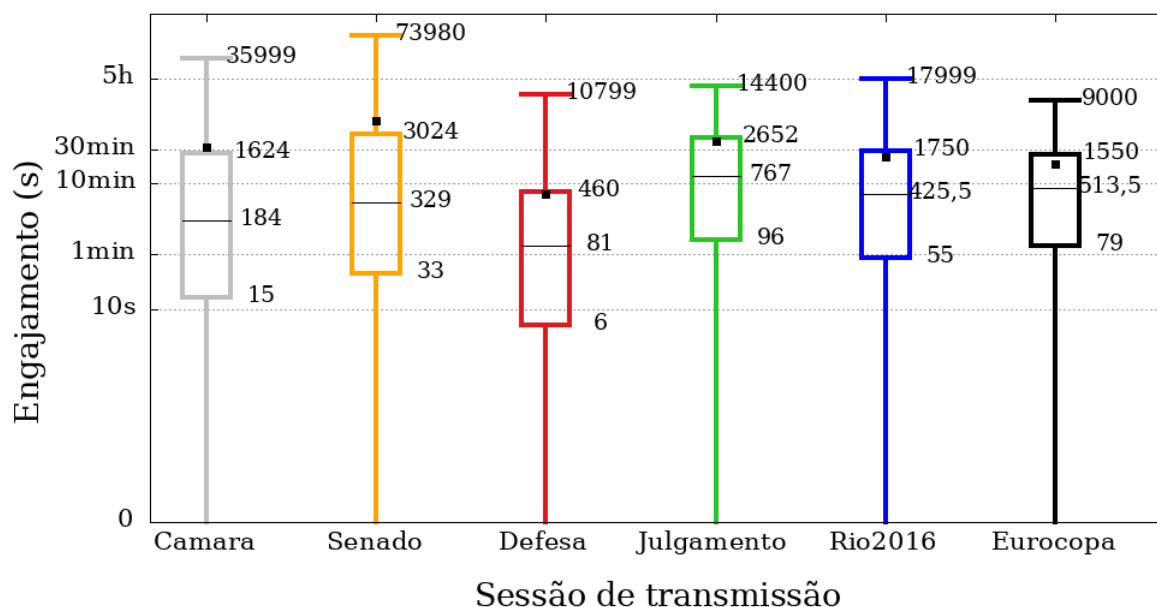


Figura 6.13: Distribuição do tempo de visualização de usuários nas sessões de transmissão em estudo. Apresenta quartis, valores máximos, mínimos e a média (quadrado preto)

Essas mudanças incluíram passar a considerar, para fins comerciais, sessões de usuário de 3 segundos. Esta alteração aumentou a percepção do usuário entre 80% e 900%, de acordo com relatórios jornalísticos. Cabe apontar que estes dados são do mesmo período das sessões analisadas por este estudo, importante pra eventuais questionamentos sobre diferença tecnológica em dispositivos e infraestrutura.

O ineditismo desta tese, estudar dados de vídeo ao vivo de uma grande CDN, tem como limitação, em muitos casos, a ausência de possibilidade de comparação com outros cenários. No entanto, graças à publicação destas reportagens, é possível confirmar os valores de engajamento do usuário apresentados por este estudo, mesmo que pareça contraintuitivo a existência deste volume de usuários com engajamento tão baixo.

6.3 Usuários no sistema - (*Churn*)

Uma vez avaliado o engajamento do ponto de vista dos usuários, cabe entender como este se dá ao longo das sessões de transmissão. Esta métrica visa apresentar uma visão mais específica das sessões dos usuários no contexto de cada transmissão, apontando o número de usuários conectados à transmissão em um determinado momento (em segundos).

As Figuras 6.14, 6.15, 6.16 e 6.17 mostram usuários no sistema (*Churn*) nas sessões de transmissão analisadas. Cada uma das ilustrações possui três linhas: A linha preta com os usuários que fizeram login na sessão de transmissão pela primeira vez e permaneceram sem reentrar. A segunda linha, grafada em vermelho, indica os usuários reentrantes, ou seja, aqueles que já foram interrompidos e retornaram a transmissão. Além disso, a última linha, verde, representa o total de usuários somados, isto é, união dos usuários em primeira entrada com os em reentrada.

A comparação geral que pode ser feita entre as duas classes de usuários está em seu volume de indivíduos. Os conectados através de dispositivos não móveis ainda são muito mais numerosos. A principal semelhança entre essas duas classes (**móvel e não móvel**), no prisma desta métrica, é que o comportamento geral do engajamento é bastante parecido.

Esta semelhança é perceptível mesmo em “soluços” da transmissão, por exemplo: (i) entre 3h e 5h nas Figuras 6.14 e 6.15, da sessão da Câmara, e (ii) logo após 4h nas figuras dos Jogos Olímpicos (Figuras 6.16 e 6.17). Considerando que estes “soluços” são problemas no sistema de transmissão, é perceptível que usuários móveis têm uma recuperação mais lenta do que os não-móveis.

Ao avaliar os usuários conectados à transmissão dos Jogos de Abertura Rio2016, nas Figuras 6.16 e 6.17, percebe-se que a maioria dos usuários começou a assistir à transmissão nos últimos 90 minutos. Este período coincide com o final do desfile da delegação olímpica e na retomada dos shows. Este fato é verdadeiro para ambos os tipos de usuário, porém a curva de entrada de novos usuários móveis é bastante acentuada, momento em que se descola da curva de reentrantes.

Diferentemente dos usuários não móveis, o volume de usuários de dispositivos móveis reinseridos é semelhante ao número de usuários móveis ininterruptos, e isso pode reforçar a interpretação que interrupções em eventos dessa natureza podem desencorajar o engajamento, tratando-se de usuários de celulares e *tablets*.

Uma interpretação da sessão de abertura do *Impeachment* na Câmara, representada nas Figuras 6.14 e 6.15, é que, entre a 3^a e a 5^a hora, o número de usuários reinseridos supera os usuários sem interrupção, reforçando a leitura anterior sobre usuários que não desejam seguir todas as dez horas de votação, mas que estão interessados em seguir os votos oportunamente, observáveis nas duas classes de usuários avaliadas.

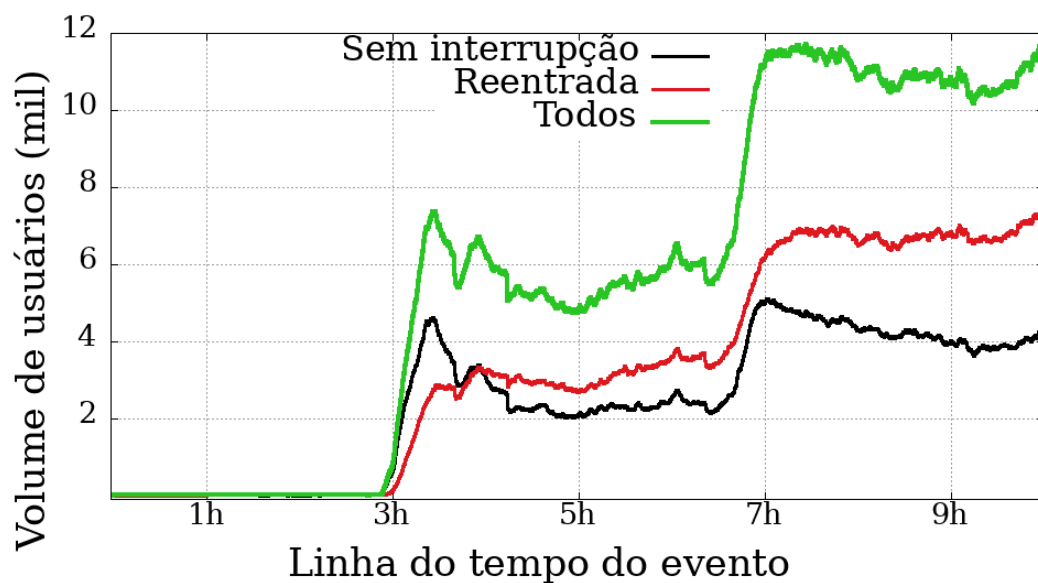


Figura 6.14: Usuários de dispositivos **móveis** no sistema na sessão de transmissão do *Impeachment* Câmara dos Deputados

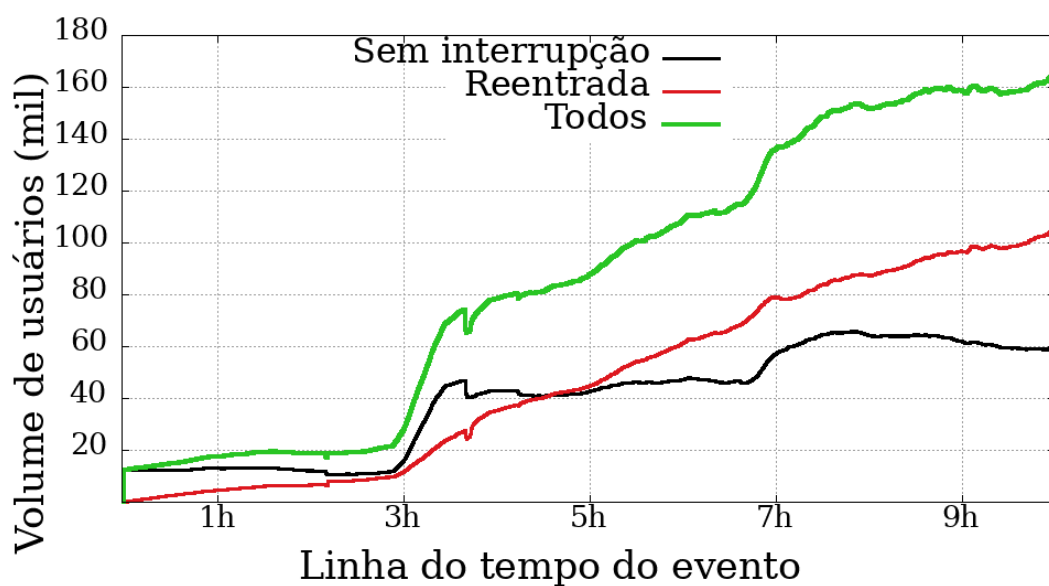


Figura 6.15: Usuários de dispositivos **não móveis** no sistema na sessão de transmissão do *Impeachment* Câmara dos Deputados

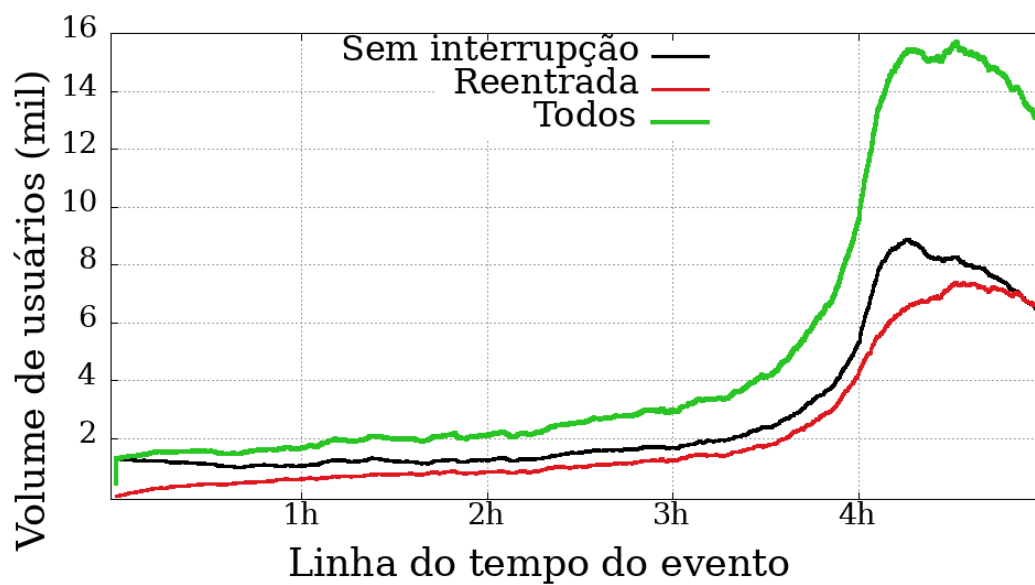


Figura 6.16: Usuários de dispositivos **móveis** no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016

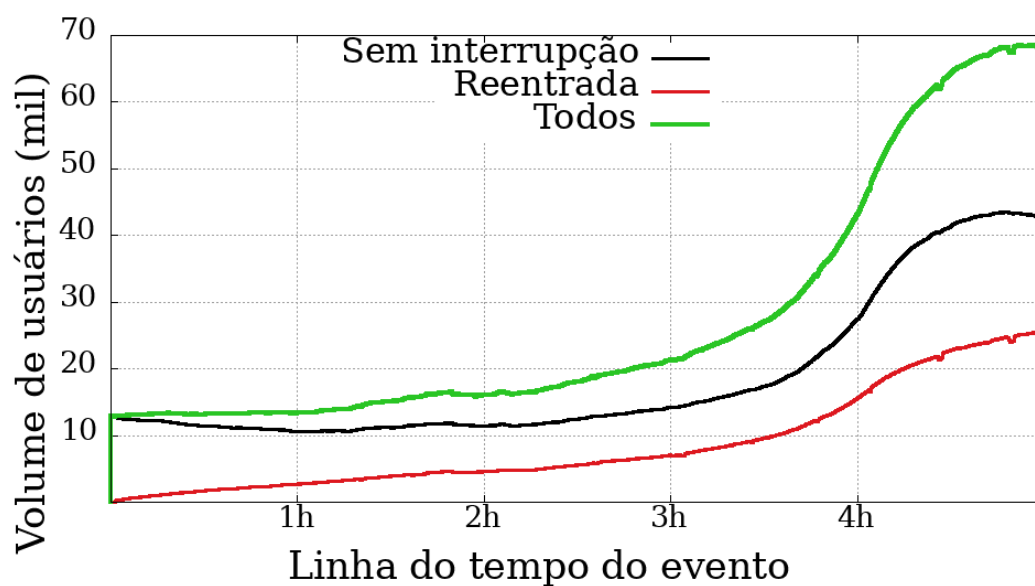


Figura 6.17: Usuários de dispositivos **não móveis** no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016

6.4 Vazão

Essa medida relaciona o total de *bytes* carregados pelos usuários ao longo do tempo de permanência destes. Segundo [55], as taxas de transmissão da *Globo.com* são de 400 KBps, 500 KBps e 800 KBps. Essas taxas foram usadas como comparação na avaliação da vazão dos usuários das sessões analisadas neste trabalho.

Para representar esta métrica são apresentadas as Figuras 6.18, 6.19, 6.20 e 6.21. Nestes gráfico de dispersão, cada ponto é um usuário, posicionado no par ordenado (permanência no sistema, total de bytes baixados). As taxas de transmissão mencionadas anteriormente foram também traçadas, bem como a regressão linear (equação *fitting*) que tem por objetivo apresentar a linha que melhor se ajusta e representa os pontos.

Todas as quatro imagens representam a medida vazão de usuários da abertura dos Jogos Olímpicos, mas cada uma delas traz um contexto diferente: (i) A Figura 6.18 mostra apenas usuários em reentrada, (ii) A Figura 6.19 representa a vazão dos usuários em primeira entrada, e nas Figuras 6.20 e 6.21 são apresentados os usuários (iii) móveis e (iv) não móveis, respectivamente.

Avaliando estas abstrações, pode-se perceber que boa parte dos usuários segue tendências. Alguns poucos estão acima da maior taxa, justificados por retransmissão ou por usuários que tenham feito uso da função "*rewind*", ou seja, voltaram um pouco a transmissão para rever algum trecho. É importante esclarecer que a transmissão, embora seja ao vivo, possui naturalmente atraso e o HLS permite o uso do protocolo de transporte TCP, que justifica eventuais retransmissões.

No entanto, boa parte dos usuários com problemas estão abaixo da menor taxa de transmissão. Estes usuários permaneceram por longo tempo no sistema, mas receberam poucos *bytes*, quando comparados as taxas de transmissão. Nos usuários móveis, a maioria permaneceu por um curto período de tempo, enquanto uma parte considerável de usuários não móveis permaneceu no sistema por um longo tempo, apesar do aparente problema na reprodução do conteúdo, outro fato que confirma a interpretação que usuários de dispositivos móveis tem baixa tolerância a sessões problemáticas.

Um resultado importante é o fato de a taxa média conseguida pelos espectadores ter ficado abaixo da segunda menor taxa de transmissão oferecida pelos servidores da *Globo.com*. Isto mostra que a taxa de transmissão ainda é uma limitação, independentemente do tipo de dispositivo (móveis ou não móvel).

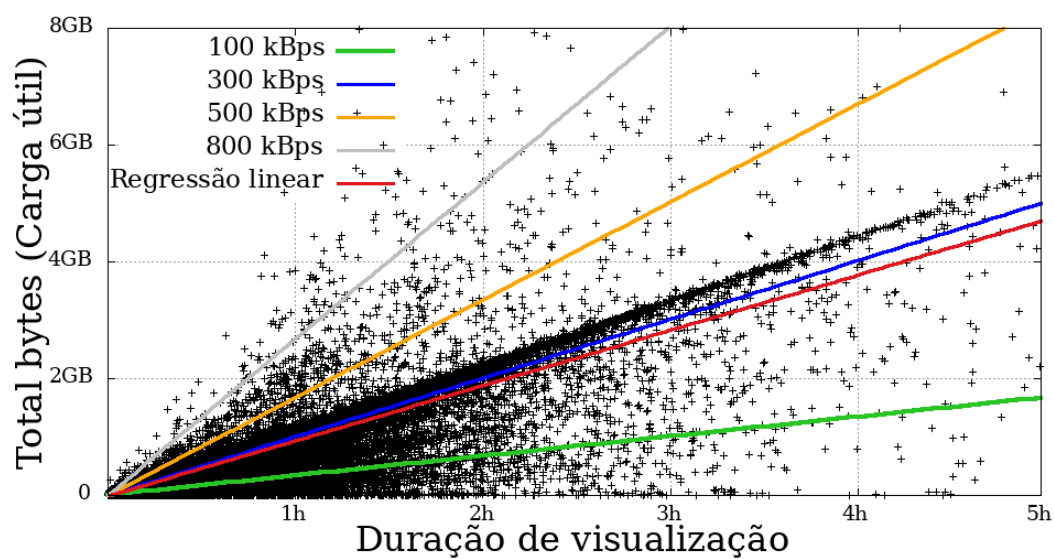


Figura 6.18: Vazão de bytes por segundo dos usuários em **reentrada** no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada

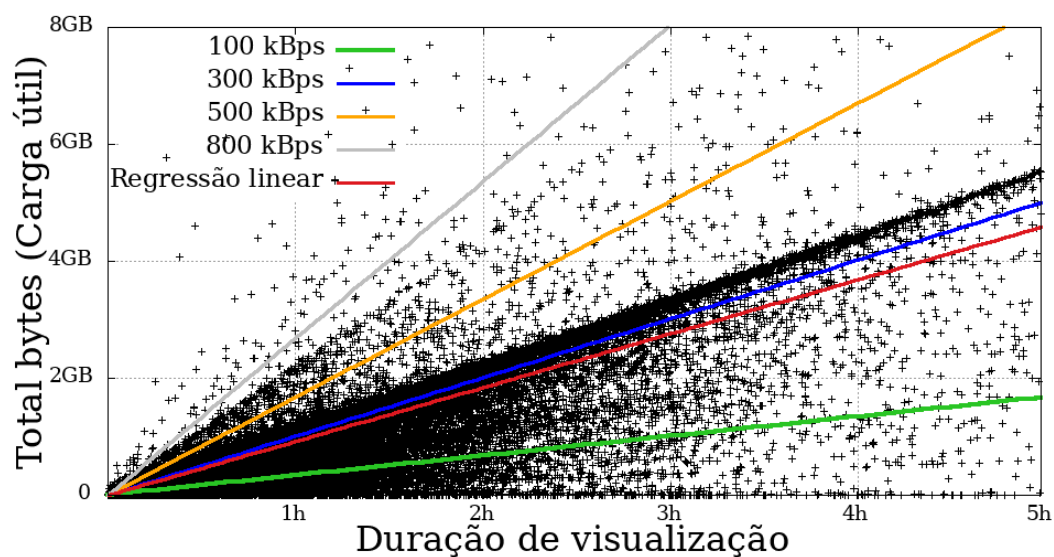


Figura 6.19: Vazão de bytes por segundo dos usuários em **primeira entrada** no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada

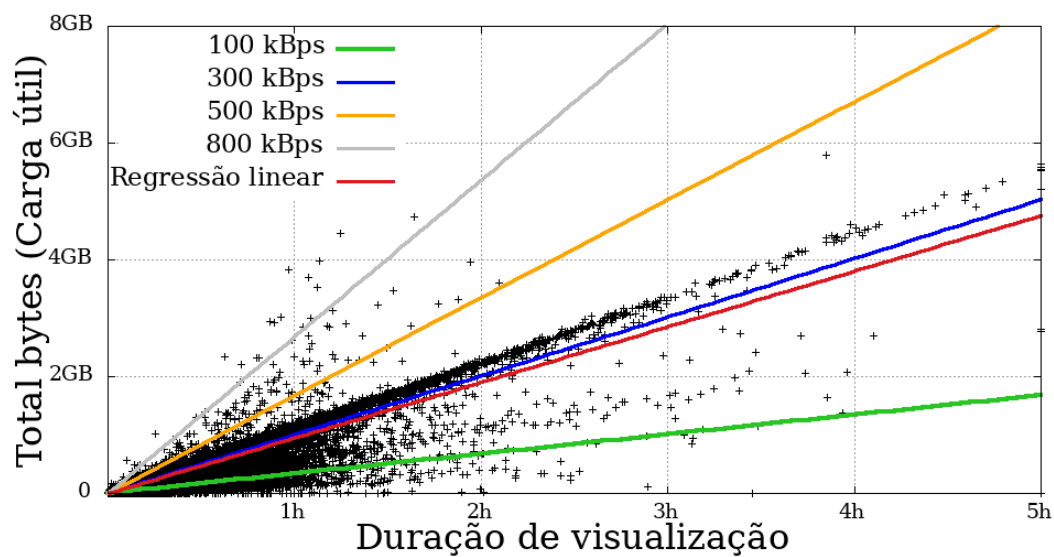


Figura 6.20: Vazão de bytes por segundo dos usuários de dispositivos **móveis** no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada

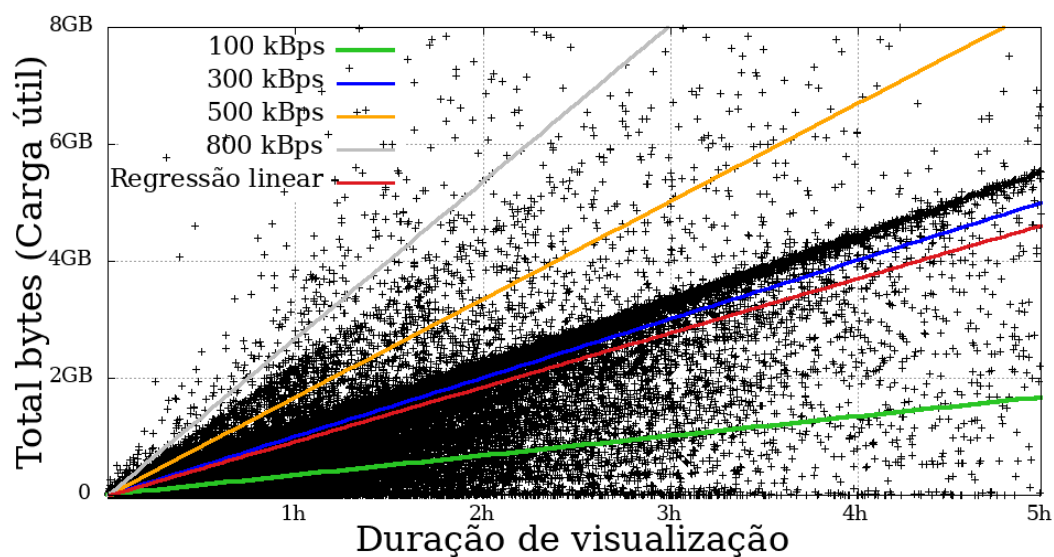


Figura 6.21: Vazão de bytes por segundo dos usuários de dispositivos **não móveis** no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada

6.5 Demais características

Antes da etapa de mineração de regras de associação, última parte da análise proposta, é necessário apresentar como estão distribuídos os demais atributos. Logo, esta seção se propõe a descrever o cenário de transmissões ao vivo populares em dispositivos móveis, com características distintas, relacionando aspectos como SO, acesso à rede e localização.

A Tabela 6.3 apresenta a distribuição de sistema operacional e acesso a rede nas 5 regiões do Brasil e também dos usuários fora do país. Os sistemas operacionais considerados são Android e iOS, suprimidas as versões, e o acesso à Internet é classificado como (i) rede móvel, como 3G, 4G ou equivalente, que por simplicidade é grafado 3G na tabela, e (ii) rede fixa, e como a grande maioria dos dispositivos móveis possui adaptadores de rede sem fio, é grafado Wifi na tabela. Os dados desta tabela foram gerados considerando todos os usuários móveis de todas as sessões selecionadas, previamente descritas na Seção 3.5.

A Tabela 6.3 traz porcentagens a frente do nome das regiões que apresentam a distribuição da soma dos usuários de todas as sessões de transmissão. Fica evidente que o Sudeste concentra a maior parte dos usuários, em contraponto à região Norte. Vale ressaltar a fatia de usuários externos ao Brasil é relevante, e só é menor que do Sudeste.

Ainda na Tabela 6.3, é possível perceber que as regiões Nordeste, Sul, Norte e Centro-Oeste são semelhantes nas características apresentadas, por volta de 1/3 dos usuários usam iOS e 2/3 Android e mais de 80% em rede fixa. Em todas as regiões, Android é o sistema mais usado por usuários de *streaming* ao vivo, oposto ao percebido por usuários externos ao território Brasileiro. Somente a região Sudeste e os usuários fora do país ultrapassaram a marca de 30% de usuários utilizando rede móvel, que é um número expressivo, mas que demonstra que grande parte dos usuários, embora usando dispositivos móveis, estão geograficamente restritos, já que estão usando redes fixas.

A abertura da Rio2016, por se tratar de evento internacional, tinha a expectativa de ter um número grande de usuários fora do Brasil, porém o número não ultrapassou 1% dos usuários únicos, com baixa participação até mesmo em países de língua portuguesa. Este fato pode ser explicado pelo fato de que provavelmente cada país possa ter feito suas próprias transmissões.

No entanto, a distribuição dos usuários nos estados é diferente das sessões do *Impeachment*, como ilustrado pelas Figuras 6.22 e 6.23. Estas imagens são mapas de calor do território nacional, segmentada por unidade federativa, em que cada um dos estados foi colorido de acordo com a quantidade de usuários móveis conectados à transmissão.

Sudeste (56,12%)	Android IOS	3G	Wifi	
		17,76%	41,76%	59,52%
		14,92%	25,56%	40,48%
		32,68%	67,32%	
Sul (10,81%)	Android IOS	3G	Wifi	
		8,60%	58,86%	67,46%
		5,66%	26,88%	32,54%
		14,26%	85,74%	
Nordeste (11,15%)	Android IOS	3G	Wifi	
		6,61%	62,99%	69,59%
		4,75%	25,66%	30,41%
		11,36%	88,64%	
Norte (2,56%)	Android IOS	3G	Wifi	
		9,29%	62,18%	71,46%
		6,19%	22,35%	28,54%
		15,48%	84,52%	
Centro-Oeste (7,72%)	Android IOS	3G	Wifi	
		9,68%	57,85%	67,53%
		6,75%	25,72%	32,47%
		16,42%	83,58%	
Fora do Pais (11,64%)	Android IOS	3G	Wifi	
		13,01%	23,08%	36,09%
		18,34%	45,57%	63,91%
		31,35%	68,65%	
Total (100,00%)	Android IOS	3G	Wifi	
		14,13%	45,57%	59,70%
		12,33%	27,97%	40,30%
		26,46%	73,54%	

Tabela 6.3: Porcentagem da combinação de acesso à Internet e sistema operacional por região

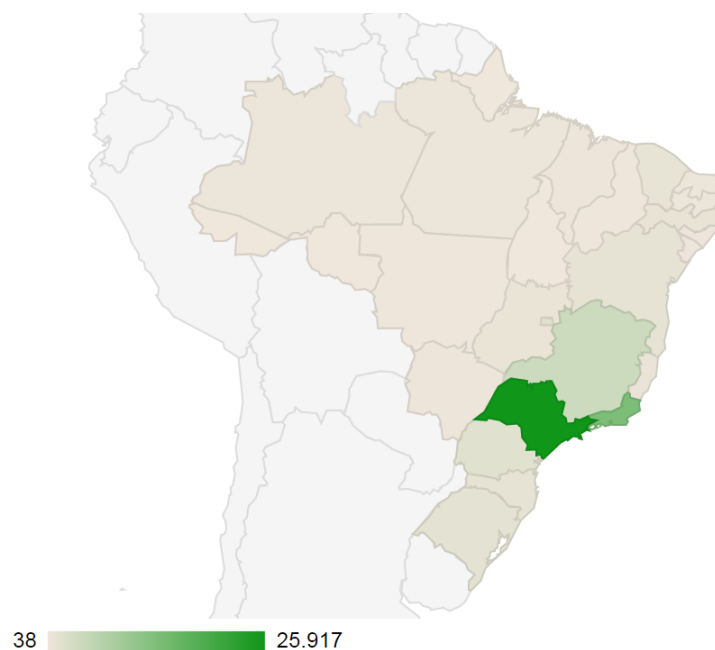


Figura 6.22: Usuários móveis únicos no sistema na sessão de transmissão da Abertura da Olimpíada Rio 2016

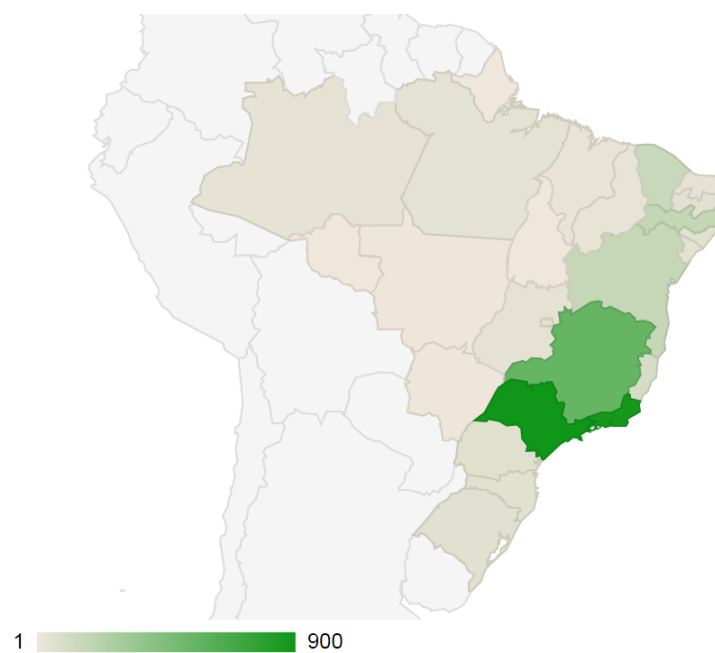


Figura 6.23: Usuários móveis únicos no sistema na sessão de transmissão da Defesa do *Impeachment*

Através da interpretação destas figuras fica evidente uma concentração no sudeste brasileiro, que é a região mais populosa e rica do país. Nas sessões do *Impeachment* existe uma maior distribuição pelo país, e a quantidade de usuários de fora do país chegou a quase 10%. Destaca-se a participação do público nordestino na sessão de Defesa da então presidenta, representada pela Figura 6.23.

6.6 Regras de associação

Uma vez estabelecido todo o panorama das sessões em estudo, cabe agora tentar descobrir eventuais correlações entre as métricas e características apresentadas.

6.6.1 Preparação dos dados

Um processo importante para esta fase da análise é tratar os dados corretamente. Como explicado anteriormente, na mineração de regras de associação os dados não podem ser contínuos. Este trabalho utilizou os seguintes agrupamentos/discretizações nos valores de atributos dos dados capturados:

- A informação de **sistema operacional** foi classificada, inicialmente, em Android e iOS. Devido ao processo iterativo da análise, foi percebida diferença de comportamento entre usuários grupos de usuários de iOS: os com iPad e os de iPhone. Portanto, o agrupamento final de sistema operacional feito foi Android, iPad e iPhone. Outros sistemas operacionais de dispositivos móveis não foram incluídos devida a ausência de suporte do serviço de *streaming* de vídeo da Globo a estes. Além disso, as versões foram suprimidas, pois existem inúmeras versões disponíveis no mercado, especialmente para Android, como explicado em [49];
- Para o **número de interrupções**, este trabalho propõe uma divisão semântica em 4 grupos: usuários sem interrupção, os com 1 interrupção, usuários que tiveram entre 2 e 9 interrupções, e os que tiveram 10 ou mais interrupções durante a visualização da transmissão. Este agrupamento corresponde a interpretações realizadas anteriormente neste estudo e melhor representam o comportamento dos usuários;
- Já os **tempos de reprodução** são discretizados em: (i) usuários que ficaram até 10s, representando talvez usuários com problemas severos, transmissão fruto de equívoco no uso ou ainda os preocupados com economia de plano de dados, (ii) usuários com tempo entre 10s a 1min, possivelmente usuários que entenderam o que

estava sendo transmitido, mas não se interessaram pelo conteúdo, (iii) entre 1min a 10min, (iv) os de 10min até 30min, e (v) e os que ficaram mais que 30min, sendo essas últimas 3 classes representando os usuários interessados no conteúdo, mas com níveis diferentes de engajamento;

- Em contraponto ao tempo de reprodução está o **tempo em interrupção**, discretizado da seguinte forma: (i) usuários sem interrupção, (ii) usuários com até 1min em interrupção, (iii) os que ficaram entre 1min a 5min interrompidos, (iv) os entre 5min e 10min, e (v) e por último os que ficaram mais que 10min, nestes últimos dois casos encontram-se talvez usuários que tiveram interrupções voluntárias;
- A partir da carga útil e do tempo do usuário no sistema é possível calcular a **Vazão**, que representa a taxa média de recebimento de dados do usuário, expressa em quilobyte por segundo (kB/s). Considerando a possibilidade de adaptação da taxa de transferência e as taxas de transmissão da *Globo.com*, esta informação foi discretizada em: suficiente (superior a taxa mínima) e insuficiente (valor final da vazão menor que a taxa de transferência mínima);
- A forma de **acesso à Internet** já é uma formação discretizada em rede móvel e rede Fixa;
- A **Geolocalização** foi agrupada nas regiões do país, uma vez que utilizar cidade traria uma capilaridade muito grande para mineração de regras de associação, e usar país traria regras óbvias, uma vez que, conforme a Tabela 6.3, quase 90% dos usuários das sessões analisadas são brasileiros.

Este estudo não utilizou as informações das ASs (*Autonomous System*) e provedores, descrito na Seção 5.2, uma vez que foram percebidas quase 6mil ocorrências diferentes, não apresentando uma discretização viável, fato que pode inclusive ser explicado pela estratégia comercial de lançamento de pequenos provedores, como os de igrejas, descrito em [68].

É importante ressaltar que várias outras possibilidades de discretização foram experimentadas, e as descritas acima no texto são as que obtiveram resultados significativos.

6.6.2 Seleção das regras

Na segunda etapa, deve-se definir as regras, ou seja, os eventos *antecedente* e *consequente* para cada regra. Considerando que a ideia básica de uma regra é identificar a causa e o

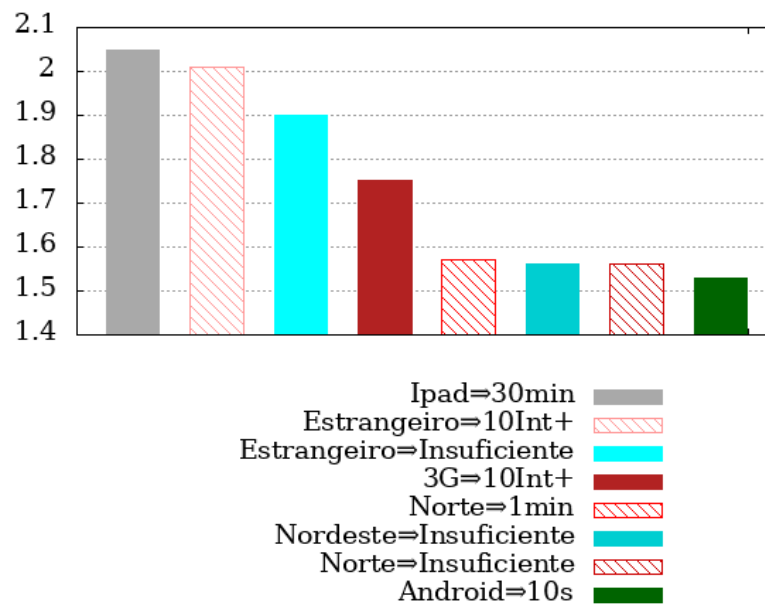


Figura 6.24: Regras com ordenadas pelo valor do *lift*

efeito de um determinado evento (*antecedente* e *consequente*), limitou-se os eventos consequentes às principais métricas estritas relacionadas ao desempenho da transmissão ao vivo: duração da visualização, número de interrupções e taxa de transferência. Claramente, o motivo desta escolha é avaliar a influência de todos os outros eventos na experiência e desempenho do usuário na sessão de transmissão. No contexto deste estudo, colocar estes parâmetros como antecedente faria pouco sentido, pois mesmo que se estabeleça alguma correlação, esta não poderia definir causalidade. Para exemplificar a questão, imagine uma regra "Vazão insuficiente $\Rightarrow$ usuário usa android", nesta sentença poderia se presumir que o valor de vazão influenciaria na utilização de um determinado sistema operacional, o que dificilmente estaria vinculado a realidade.

A combinação de todos estes eventos gera centenas de regras diferentes a serem analisadas. Embora tenha-se analisado todo o conjunto de regras possíveis, serão apresentadas apenas as regras que apresentaram o efeito significativo nas métricas de desempenho previamente estabelecidas.

Para seleção inicial das regras, foram escolhidas as regras com melhor desempenho nos valores de *confiança* e *Lift*. O suporte, medida usada para perceber a relevância da regra em relação a base de dados, também foi levado em consideração: sempre que uma regra chegava a menos de 1%, ela era descartada. O valor de 1% pode parecer um valor muito baixo de suporte, mas, para o contexto em análise, ainda representa alguns milhares de usuários móveis e pode trazer algumas informações importantes.

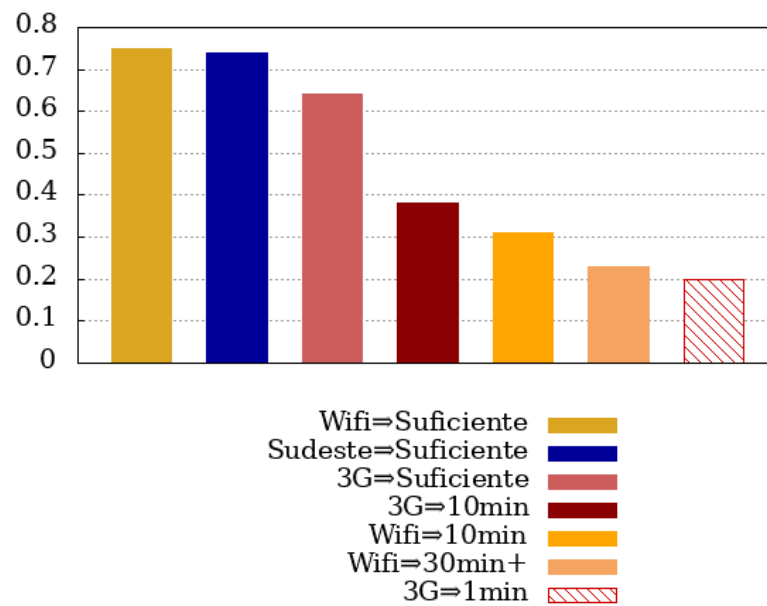


Figura 6.25: Regras com ordenadas pelo valor de confiança

As Figuras 6.25 e 6.24 ilustram este processo de seleção de regras. As principais regras relacionadas a confiança na Figura 6.25 e as relacionadas ao *Lift* em 6.24. As regras que não atenderam o valor mínimo de suporte foram identificadas com hachuras de cor vermelha nas ilustrações.

Ademais, a Tabela 6.4 mostra uma compilação das regras que devem ser discutidas na próxima seção. Nesta tabela, é possível classificar as regras de duas maneiras: (i) o tipo consequente - que será aprofundado e (ii) a natureza da escolha da regra - define se uma regra foi selecionada por valor alto de *lift*/confiança ou ainda se foi selecionada para mostrar contraste com outras que atendam aos requisitos.

6.6.3 Análise das correlações

Para apresentar as regras dois grupos de imagens se colocam: o primeiro grupo composto pela Figuras 6.26, 6.27 e 6.28 e o segundo pelas Figuras 6.29, 6.30 e 6.31. Cada grupo trata de um conjunto de regras, organizado pelo consequente. E cada imagem do grupo representa uma métrica associada as regras: confiança, suporte e *Lift*.

6.6.3.1 Consequente: duração

A duração da visualização é uma métrica diretamente relacionada ao engajamento do usuário em uma determinada transmissão. As oito primeiras barras, para cada cenário,

Consequente	Regra	Interesse
Duração da Visualização	<i>Android</i> $\Rightarrow$ 10s	<i>Lift</i> alto
Duração da Visualização	<i>iOS</i> $\Rightarrow$ 10s	Contraste
Duração da Visualização	3G $\Rightarrow$ 10min	Contraste
Duração da Visualização	<i>Wifi</i> $\Rightarrow$ 10min	Confiança alta
Duração da Visualização	<i>Android</i> $\Rightarrow$ 30min+	Contraste
Duração da Visualização	<i>Ipad</i> $\Rightarrow$ 30min+	<i>Lift</i> alto
Duração da Visualização	3G $\Rightarrow$ 30min+	Contraste
Duração da Visualização	<i>Wifi</i> $\Rightarrow$ 30min+	Confiança alta
Interrupções	<i>Wifi</i> $\Rightarrow$ 10Int+	Contraste
Interrupções	3G $\Rightarrow$ 10Int+	<i>Lift</i> alto
Vazão	<i>Nordeste</i> $\Rightarrow$ <i>Insuficiente</i>	<i>Lift</i> alto
Vazão	<i>ForadoBrasil</i> $\Rightarrow$ <i>Insuficiente</i>	<i>Lift</i> alto
Vazão	<i>Sudeste</i> $\Rightarrow$ <i>Suficiente</i>	Confiança alta
Vazão	<i>Wifi</i> $\Rightarrow$ <i>Suficiente</i>	Confiança alta
Vazão	3G $\Rightarrow$ <i>Suficiente</i>	Confiança alta

Tabela 6.4: Seleção das regras

nas Figuras 6.26, 6.27 e 6.28, referem-se ao tempo de reprodução como consequente. As duas primeiras barras referem-se a usuários com menos de **10 segundos** de tempo de reprodução. Este nível de engajamento, de modo geral, está associado a usuários que selecionaram o vídeo errado ou tiveram problemas graves de rede. É interessante notar que os usuários do sistema operacional Android são mais suscetíveis a experimentar este envolvimento insignificante, especialmente para a sessão do Senado, em contraste aos usuários do sistema iOS, como mostra os valores de confiança na Figura 6.26. Este fato pode ser confirmado pelo valor do *Lift* dessas duas primeiras regras, como pode ser verificado nas Figuras 6.28, nas quais o uso do Android tem uma clara influência no engajamento insignificante de até **10 segundos**, enquanto o iOS tem uma influência negativa. Considerando que os erros dos usuários na seleção de vídeos são independentes de seus sistemas operacionais, podemos assumir que os usuários do Android enfrentam mais problemas de reprodução ou de rede.

Outra observação interessante é a diferença entre a sessão do Senado e as outras. Isso ocorre principalmente devido à duração da sessão do Senado, que é muito mais longa, mas acima de tudo, devido à natureza do evento. Esta sessão mostra 20 horas de políticos, advogados e juízes discutindo a favor e contra a ex-presidente Dilma Roussef. Portanto, os usuários podem entrar ou sair a qualquer momento da transmissão.

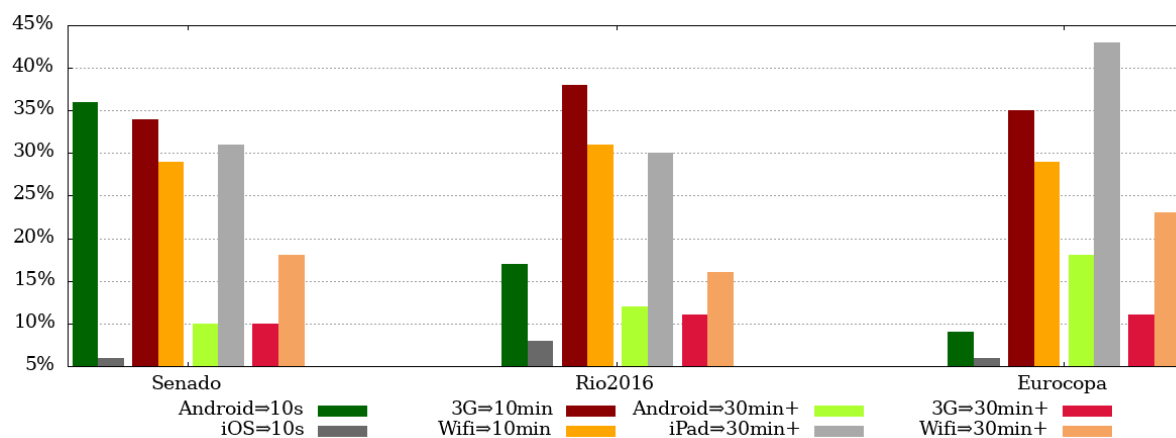


Figura 6.26: Confiança das regras com duração de visualização como consequente

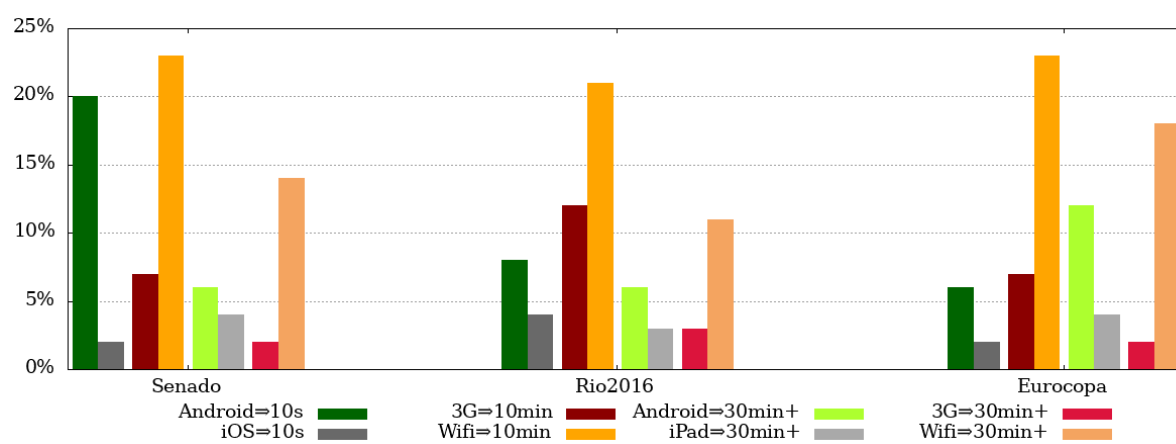


Figura 6.27: Suporte das regras com duração de visualização como consequente

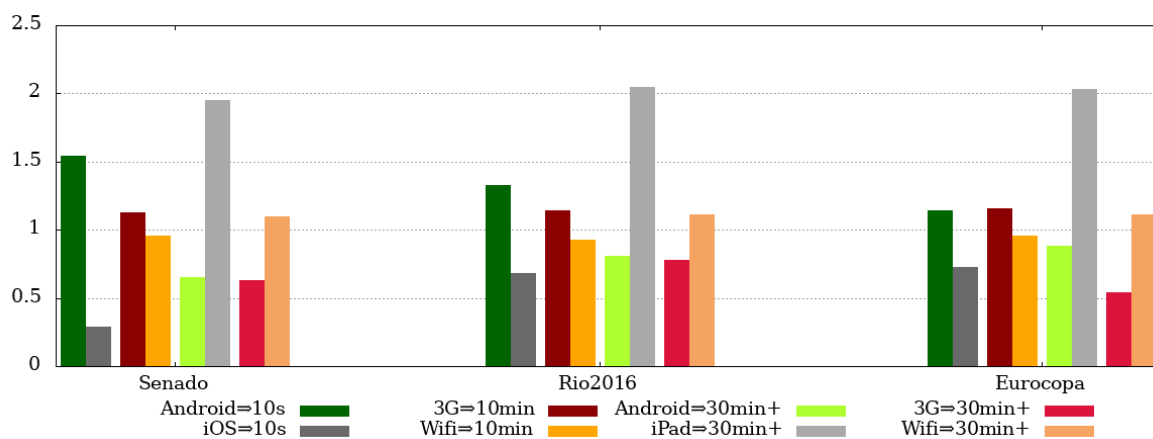


Figura 6.28: *Lift* das regras com duração de visualização como consequente

Um tempo de reprodução de **1 a 10 minutos** apresenta o primeiro bom nível de engajamento. De acordo com a Figura 6.26, os usuários de redes móveis (3G/4G) são mais propensos a este nível de engajamento do que os usuários de Wifi, em todos os cenários. De fato, a Figura 6.28 mostra que o uso de 3G/4G tem uma influência positiva na exibição do vídeo por **1 a 10 minutos**, enquanto o uso de Wifi tem uma influência negativa na ocorrência deste tipo de engajamento.

Curiosamente, para um tempo de reprodução superior a **30 minutos**, ocorre o contrário. Os usuários de Wifi têm mais probabilidade de se envolver por mais de **30 minutos** que os usuários de 3G/4G. Além disso, pode-se observar que os valores de suporte das regras 3G/4G são, em todas as sessões, inferiores a 15%. Vale ressaltar que a influência do uso de 3G/4G neste nível de engajamento não é apenas negativa, mas muito menor do que o Wifi. Uma das razões para este resultado está no fato de os usuários tenderem a salvar seus planos de dados limitados. Outro resultado é o uso, em particular, de iPads. Conforme ilustrado nas Figuras 6.26, 6.27 e 6.28, o uso deste dispositivo é forte entre os usuários mais engajados. Estes dois resultados juntos são fortes evidências de que, no caso de transmissões longas, embora sejam usuários de dispositivos móveis, eles procuram estabilidade na rede Wifi e maior conforto na tela maior de um *tablet*.

As outras faixas de tempo de duração de visualização (entre **10 segundos e 1 min** e **10 a 30min**) não forneceram regras significativas com base nos critérios definidos.

6.6.3.2 Consequente: número de interrupções

O número de interrupções é uma medida importante, fortemente relacionada à permanência de um usuário em uma sessão de transmissão. É importante mencionar que as interrupções levam em consideração o abandono voluntário do usuário, mas o fato de que, em muitos casos, a reentrada ocorre quase imediatamente após a interrupção, leva a interpretar que estes usuários não estão reentrando voluntariamente e provavelmente são o resultado de problemas.

As regras mais significativas, cujo resultado está relacionado ao número de interrupções, são ilustradas nas Figuras 6.29, 6.30 e 6.31. O uso de 3G/4G tem uma influência significativa no usuário com mais de 10 interrupções, para o cenário Rio 2016. Por outro lado, o uso de Wifi tem influência negativa, como mostrado em 6.28. É importante notar que essas regras apresentam valores baixos de confiança e suporte. Isso mostra que mais de 10 interrupções não são comuns, mas sempre que ocorrem, geralmente são associadas a usuários 3G/4G.

Os outros valores associados à medida de interrupção não apresentaram regras significativas, considerando os parâmetros anteriormente definidos para mineração destas.

6.6.3.3 Consequente: vazão

Nesta seção, apresentam-se as regras extraídas a partir da taxa de transferência dos usuários como consequente. A expectativa é descobrir se alguma característica está relacionada aos números de taxa de transferência insuficiente ou dentro das taxas de transmissão praticadas pelo *Globo.com* nos eventos estudados. Vale ressaltar que os usuários com tempo de reprodução igual a zero foram descartados para evitar afetar o conjunto de usuários que apresentaram taxa de transferência abaixo das taxas oferecidas.

As regras mais importantes em relação à taxa de transferência são aquelas cujos antecedentes estão relacionados à localização geográfica e ao acesso à rede. Primeiramente, apresenta-se a influência da geolocalização através das Figuras 6.29, 6.30 e 6.31. É possível observar usuários do Nordeste e do exterior apresentando valores altos de confiança e *Lift* maior que 1 para valores de taxa de transferência insuficiente. Uma das razões para este resultado é que os servidores do *Globo.com* estão no Brasil, distribuídos na região sudeste. E a última regra avaliada mostra que os usuários de Wifi têm maior probabilidade de obter uma taxa de transferência média, ou seja, dentro da faixa das taxas praticadas pela *Globo.com*, do que aquelas que usam 3G/4G, como pode ser visto nas Figuras 6.29, 6.30, 6.31, sendo este último resultado bem dentro da expectativa.

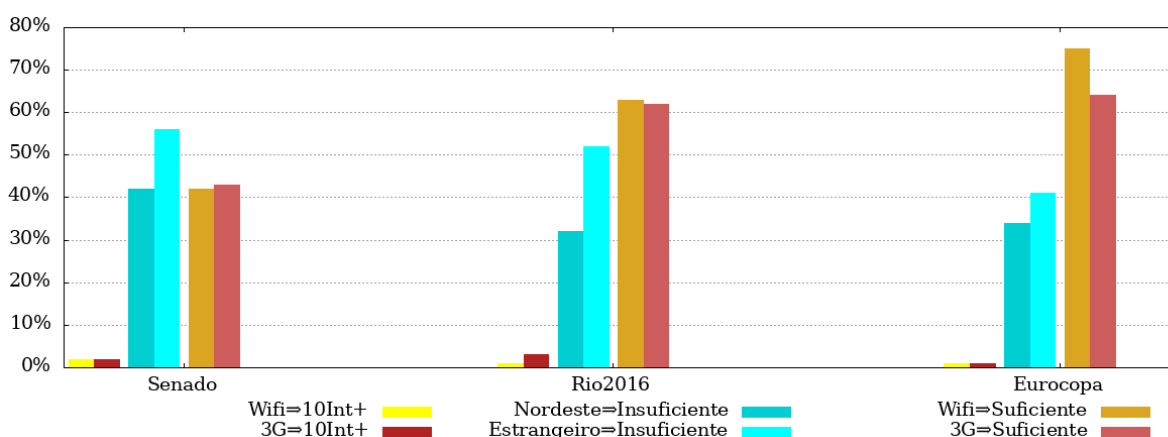


Figura 6.29: Confiança das regras com interrupção e vazão como consequentes

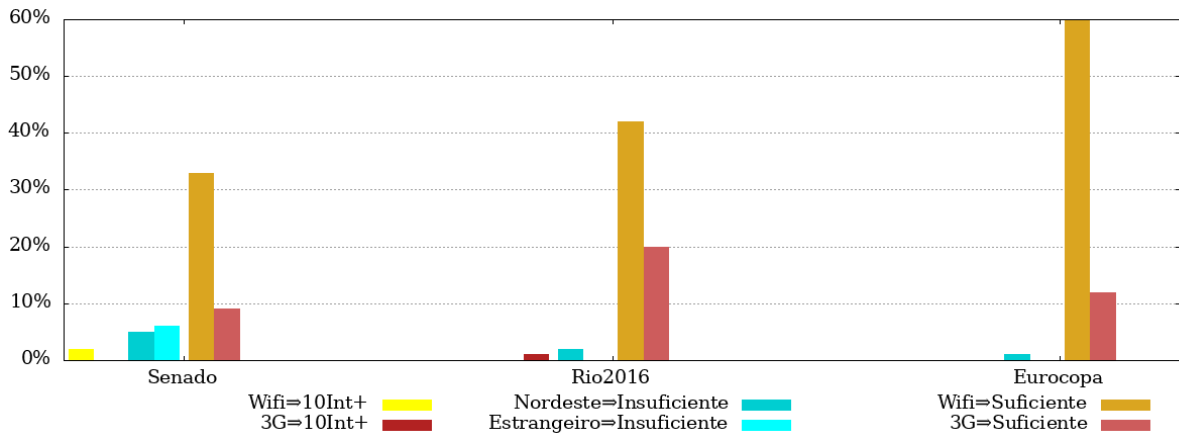


Figura 6.30: Suporte das regras com interrupção e vazão como consequentes

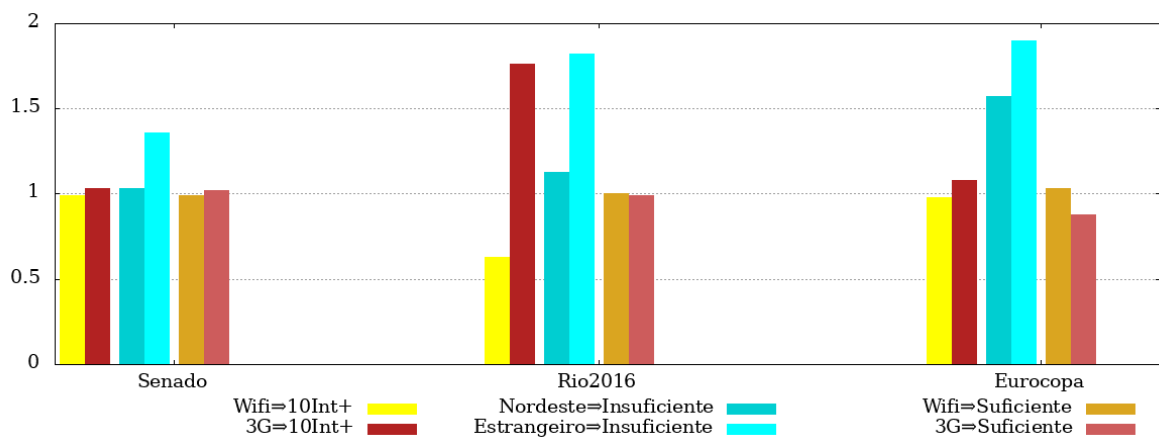


Figura 6.31: *Lift* das regras com interrupção e vazão como consequentes

6.6.4 Visão geral sobre as regras

A hipótese de que a qualidade das transmissões para usuários de redes móveis é inferior está declarada nas regras com taxa de transferência e número de interrupções como consequente, mas, quando se considera o tempo de reprodução, é mais provável que os usuários da rede móvel participem de sessões entre 1 e 10 minutos.

Nas regras que comparam sistemas operacionais, os usuários do sistema Android apresentaram mais problemas quando comparados aos usuários do sistema operacional iOS. Este estudo não reuniu dados que pudessem levar a compreensão deste fenômeno, o que conduz a uma indicação de trabalho futuro.

Por fim, considerando que os principais servidores do *Globo.com* estão localizados na região sudeste, justificados pela concentração de população (portanto, usuários), conforme apontado na Tabela 6.3, faz muito sentido que as regras indiquem que a distância geográfica implica taxa de transferência insuficiente, ao mesmo tempo em que a regra do Sudeste mostra o contrário, demonstrando que as limitações da arquitetura cliente-servidor ainda são relevantes.

Capítulo 7

Considerações finais

Esta tese trouxe um primeiro olhar sobre transmissões de vídeo ao vivo reproduzido por usuários de dispositivos móveis a partir de uma grande CDN, tomando como base a transmissão de eventos populares de 2016, com dados da *Globo.com*.

7.1 Contribuições

A seguir estão listadas as principais contribuições deste trabalho:

1. Revisão da literatura afim, incluindo métrica e métodos de análise, estudos gerais sobre *streaming* de vídeo a partir de CDN e/ou para dispositivos móveis;
2. Definição da metodologia de análise, cujo processo é ilustrado pela Figura 7.1. Esta figura traz o diagrama de atividades que representa todas as principais etapas deste trabalho. Fazem parte deste arcabouço metodológico:
 - (a) A definição do conjunto de métodos e técnicas para reconstrução das sessões dos usuários em transmissões de vídeo a partir dos registros do servidor da *Globo.com*;
 - (b) A definição da metodologia de análise exploratória considerando as métricas:
 - (i) interrupção e reentrada, (ii) duração da visualização do vídeo, (iii) volume de usuários no sistema e (iv) vazão de bytes no tempo;
3. Dentre as principais contribuições está a identificação de fatores relevantes à qualidade da transmissão através da técnica de mineração de dados de regras de associação, possivelmente inédito neste tipo de trabalho;

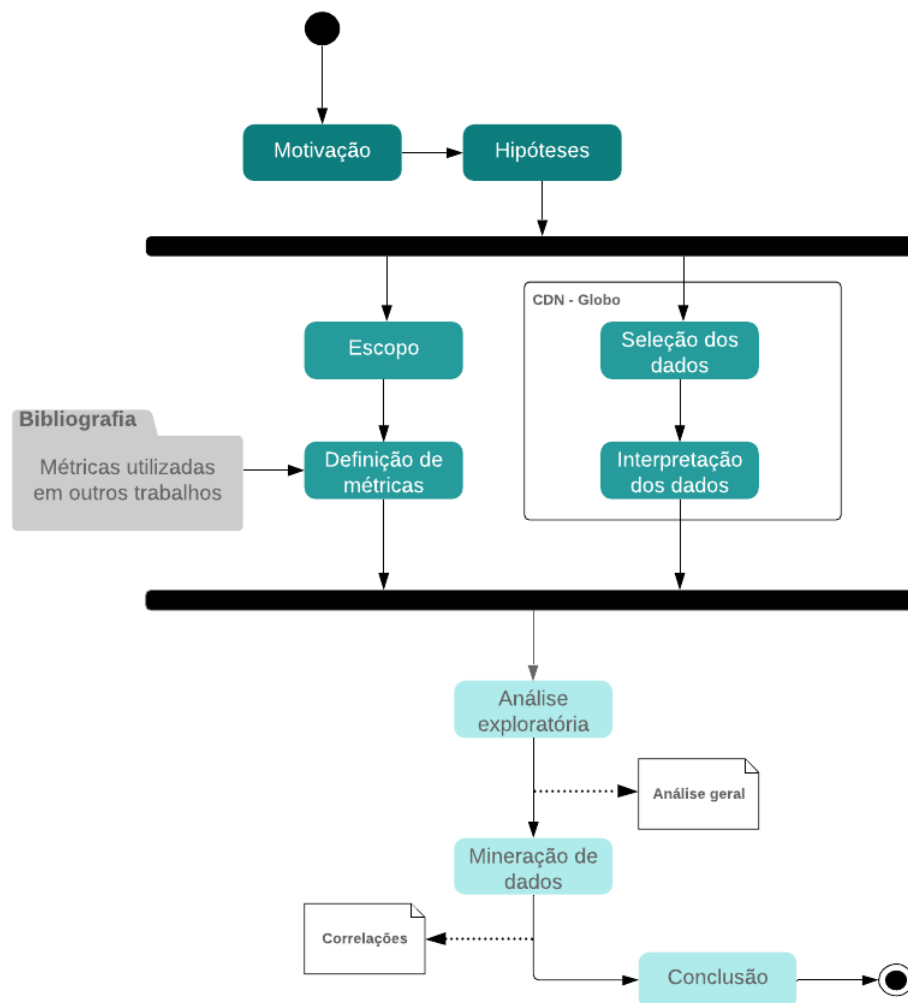


Figura 7.1: Diagrama de atividades representando as etapas principais deste trabalho

4. Comparações objetiva dos resultados da análise de dispositivos móveis com dispositivos não móveis (computadores, consoles, *smartTVs*, ...);
5. Apresentação do cenário geral de *streaming* ao vivo para celulares e tablet, avaliando modo de acesso a rede, sistema operacional, distribuição geográfica, etc;
6. Apresentação de resultados específicos, sumarizados a seguir.

7.1.1 Resultados específicos

A seguir são apresentados a relação de resultados específicos, com potencial de afetar o cotidiano dos usuários móveis de serviços de *streaming* ao vivo. E por isso, são dados

possivelmente úteis na melhoria do processo de todos os atores envolvidos, incluindo: sistemas de transmissão, provedores de Internet, fabricantes de dispositivos móveis, criadores de conteúdo e até os usuários.

- Atraso na transmissão dos trechos de vídeo é o elemento com maior impacto na transmissão de vídeo ao vivo;
- Usuário móveis são menos tolerantes a sessões problemáticas (com número elevado de interrupções), e, em média, possuem um número maior de reentradas;
- Usuários não móveis tem valores de máximos de interrupções maiores;
- A natureza e duração do conteúdo da transmissão afeta a tolerância a interrupções e engajamento dos usuários; Em sessões de entretenimento (que faz sentindo ter reprodução integral), muitas interrupções reduzem o engajamento;
- Uma parcela significativa dos usuários (móveis e não móveis) reproduz vídeo ao vivo por poucos segundos;
- Problemas no sistema de transmissão afetam usuários móveis e não móveis, porém os usuários de celulares e *tablets* tem uma recuperação mais lenta;
- Taxa de transferência é uma limitação independentemente do tipo de dispositivo (móvel ou não móvel);
- Usuários do sistema operacional Android são mais propensos a ter uma sessão pequena (de poucos segundos) que os de iOS. Foi também possível perceber que os *tablets* favorecem a permanência dos usuários;
- Usuários em redes móveis (3G/4G) são mais engajados que usuários Wifi quando considera o tempo de sessão entre 1 a 10 minutos;
- Em sessões longas (com mais de 30min), usuários de *tablets* e/ou Wifi são mais engajados;
- O uso de rede móvel influencia a ocorrência de interrupções, mas afeta pouco a vazão (taxa de transferência) percebida pelos usuários;
- A localização dos servidores da CDN é o fator com maior influência na taxa de transferência percebida pelos usuários.

7.1.2 Publicações

Parte das contribuições deste estudo foram apresentadas em simpósios científicos, dentro da área temática de pesquisa, e, posteriormente, publicadas nos anais destes eventos. Estes trabalhos somam-se as contribuições por considerar, no processo de seleção, revisão por pares. Destacando-se o último, este submetido para periódico, listam-se a seguir os textos oriundos desta tese:

- A First Look at Mobile-Live-Users of a large CDN.
XXIV Simpósio Brasileiro de Multimídia e Web.
Webmedia 2017. Gramado, Brasil.
- Analysis of Mobile-Live-Users of a large CDN.
IEEE Symposium on Computers and Communications.
ISCC 2018. Natal, Brasil.
- Impact factors on live video streams for mobile devices.
XXIII Simpósio Brasileiro de Multimídia e Web.
Webmedia 2018. Salvador, Brasil.
- Using data mining techniques to extract key factors in Mobile live streaming.
IEEE Symposium on Computers and Communications.
ISCC 2019. Barcelona, Espanha.
- Mobile vs. non mobile live streaming: comprehensive and comparative analysis from a large video streaming service provider perspective. [Submetido]
Elsevier - Computer Networks.

7.2 Trabalhos futuros

Este trabalho apresentou uma análise exploratória geral sobre *streaming* ao vivo em eventos populares, logo, está longe de esgotar o assunto. Nesta seção são listadas sugestões de possíveis trabalhos futuros.

- Carga Sintética - a *Globo.com* garantiu acesso aos seus dados desde que respeitadas garantias de confiabilidade e anonimidade de seus usuários. Uma maneira de tornar estes dados acessíveis a pesquisadores terceiros seria criar um gerador de carga

sintética. Propostas futuras, que tomem como base este trabalho, podem ter especial ganho com esta futura contribuição;

- Comparação com vídeo sob demanda. Estabelecer mecanismos de comparação entre vídeo ao vivo e vídeo sob demanda pode ajudar a elucidar questões sobre o comportamento dos usuários de vídeo como um todo;
- Medida de acerto em *cache* - uma das Informações disponíveis no *log* de acesso de vídeo sob demanda é se um determinado segmento requisitado foi um acerto em cache, isso inclusive interfere no tempo de resposta e pode afetar a qualidade percebida pelo usuário. Logo, uma atividade pertinente é relacionar *cache*, função retroceder, percepção de interrupção, etc;
- Algumas correlações apresentadas por este estudo necessitam de aprofundamento, como, por exemplo, qual o porquê dos usuários do sistema operacional Android terem mais problemas e menor engajamento, em algum contextos, que os usuários do sistema iOS;
- Avaliação do balanceamento de carga - do ponto de vista da CDN é possível e interessante avaliar se a distribuição dos usuários para os servidores está equilibrada;
- Existem estudos, como por exemplo [22, 74], das áreas de comunicação e sociologia, que fazem análise do padrão de consumo de usuários de dispositivos móveis, bem como correlações a partir do comportamento e consumo de mídia na Internet. Logo, apresenta-se como trabalho futuro a possibilidade de estudo multidisciplinar que relacione dados de acesso de vídeo com informações etnográficas, por exemplo;
- Validação da experiência dos usuários. Uma última sugestão de trabalho futuro é de avaliar, a partir dos dispositivos dos usuários de vídeo, engajamento e interesse, interrupção (voluntária ou fruto de problema), qualidade percebida, etc.

Referências

- [1] ADOBE. Adobe http dynamic streaming (hds) technology center. Disponível em <https://www.adobe.com/devnet/hds.html>. Acesso em novembro de 2020.
- [2] AHMED, A.; SHAFIQ, Z.; BEDI, H.; KHAKPOUR, A. Suffering from buffering? detecting qoe impairments in live video streams. In *2017 IEEE 25th International Conference on Network Protocols (ICNP)* (2017), IEEE, pp. 1–10.
- [3] AHMED, A.; SHAFIQ, Z.; KHAKPOUR, A. QoE analysis of a large-scale live video streaming event. In *Proceedings of the 2016 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Science* (2016).
- [4] ANATEL. Mosaico. Disponível em <http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/cmap.php>. Acesso em novembro de 2020.
- [5] APPLE. Best practices for creating and deploying http live streaming media for apple devices. Disponível em https://developer.apple.com/library/content/technotes/tn2224/_index.html. Acesso em novembro de 2020.
- [6] BBC. Coronavirus: Vodafone and talktalk report surge in internet use, 2020. Disponível em <https://www.bbc.com/news/technology-51947447>. Acesso em novembro de 2020.
- [7] BILLBOARD. Here are all the livestreams and virtual concerts to watch during coronavirus crisis, 2020. Disponível em <https://www.billboard.com/articles/columns/pop/9335531/coronavirus-quarantine-music-events-online-streams>. Acesso em novembro de 2020.
- [8] BODA, K.; FÖLDES, Á. M.; GULYÁS, G. G.; IMRE, S. User tracking on the web via cross-browser fingerprinting. In *Nordic conference on secure it systems* (2011), Springer, pp. 31–46.
- [9] BRASIL. Medida provisória nº 984, Junho 2020. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/mpv/mpv984.htm. Acesso em novembro de 2020.
- [10] BUSINESSINSIDER. Instagram live usage jumped 70% last month, Abril 2020. Disponível em <https://www.businessinsider.com/instagram-live-70-percent-increase-social-distancing-psychologist-explains-2020-4>. Acesso em novembro de 2020.
- [11] CANALTECH. Anatel convoca empresas de streaming e internet para estudar impacto da covid-19, Março 2020. Disponível em <https://canaltech.com.br/internet/anatel-convoca-empresas-de-streaming-e-internet-para-estudar-impacto-da-covid-19-162309/>. Acesso em novembro de 2020.

- [12] CETIC.BR. Tic domicílios, 2019. Disponível em <https://www.cetic.br/pesquisa/domicilios/>. Acesso em novembro de 2020.
- [13] CHEN, Y.; CHEN, Q.; ZHANG, F.; ZHANG, Q.; WU, K.; HUANG, R.; ZHOU, L. Understanding viewer engagement of video service in wi-fi network. *Computer Networks* 91 (2015), 101–116.
- [14] CHEN, Y.; ZHANG, B.; LIU, Y.; ZHU, W. Measurement and modeling of video watching time in a large-scale internet video-on-demand system. *IEEE Transactions on Multimedia* 15, 8 (2013), 2087–2098.
- [15] CISCO. Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2019. Disponível em http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/serviceprovider/ip-ngn-ip-next-generationnetwork/white_paper_c11-_481360.pdf. Acesso em abril de 2020.
- [16] CISCO. Cisco annual internet report, Março 2020. Disponível em <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/executive-perspectives/annual-internet-report/index.html>. Acesso em novembro de 2020.
- [17] CLAPPR. An extensible media player for the web. Disponível em <https://github.com/clappr/clappr>. Acesso em novembro de 2020.
- [18] COSTA, C. P.; CUNHA, I. S.; BORGES, A.; RAMOS, C. V.; ROCHA, M. M.; ALMEIDA, J. M.; RIBEIRO-NETO, B. Analyzing client interactivity in streaming media. In *Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web* (2004), ACM, pp. 534–543.
- [19] CÂMARA. Câmara autoriza instauração de processo de impeachment de dilma com 367 votos a favor e 137 contra, 2016. Disponível em <https://www.camara.leg.br/noticias/485947-camara-autoriza-instauracao-de-processo-de-impeachment-de-dilma-com-367-votos-a-favor-e-137-contra/>. Acesso em novembro de 2020.
- [20] DIMOPOULOS, G.; LEONTIADIS, I.; BARLET-ROS, P.; PAPAGIANNAKI, K.; STE-ENKISTE, P. Identifying the root cause of video streaming issues on mobile devices. In *Proceedings of the 11th ACM Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies - CoNEXT'15* (2015), pp. 1–13.
- [21] DOTY, N.; MULLIGAN, D. K.; WILDE, E. Privacy issues of the w3c geolocation api. *ArXiv:1003.1775* (2010).
- [22] DUTRA, F. A história do telefone celular como distinção social no brasil. da elite empresarial ao consumo da classe popular. *Revista Brasileira de História da Mídia* 5, 2 (2016).
- [23] ECKERSLEY, P. How unique is your web browser? In *International Symposium on Privacy Enhancing Technologies Symposium* (2010), Springer, pp. 1–18.
- [24] ERMAN, J.; RAMAKRISHNAN, K. K. Understanding the super-sized traffic of the super bowl. In *Proceedings of the 2013 conference on Internet measurement conference* (2013), ACM, pp. 353–360.

- [25] ESPN. Por que clubes se uniram para defender e transformar ‘mp do flamengo’ em ‘lei do mandante’, Agosto 2020. Disponível em https://www.espn.com.br/futebol/artigo/_/id/7319385/por-que-clubes-uniram-para-defender-transformar-mp-do-flamengo-lei-do-mandante. Acesso em novembro de 2020.
- [26] ESTADÃO. Após problemas em plataforma, flamengo libera transmissão de jogo gratuitamente no youtube, Julho 2020. Disponível em <https://esportes.estadao.com.br/noticias/futebol,apos-problemas-em-plataforma-flamengo-libera-transmissao-de-jogo-gratuitamente-no-youtube,70003354629>. Acesso em novembro de 2020.
- [27] FARRELLY, B.; SUN, Y.; MAHANTI, A.; GONG, M. Video workload characteristics of online porn: Perspectives from a major video streaming service. In *2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks (LCN)* (2017), IEEE, pp. 518–519.
- [28] FORBES. Facebook to pay advertisers \$40 million to settle hard fought class action lawsuit, Outubro 2019. Disponível em <https://www.forbes.com/sites/annabellewoodward1/2019/10/07/facebook-to-pay-advertisers-40-million-settling-hard-fought-class-action-lawsuit/#7b1fd01d72>. Acesso em novembro de 2020.
- [29] GARTNER. Worldwide device shipments to grow 1.9 percent in 2016, while end-user spending to decline for the first time, 2016. Disponível em <http://www.gartner.com/newsroom/id/3187134>. Acesso em novembro de 2020.
- [30] GLOBO.COM. Em quais dispositivos o globo play está disponível?, 2015. Disponível em <http://centraldeajuda.globo.com/Produtos/Globo-Play/Sobre-o-Globo-Play/noticia/2015/10/em-quais-dispositivos-o-globo-play-esta-disponivel.html>. Acesso em junho de 2017.
- [31] GLOBO.COM. Em que cidades é possível assistir à programação da globo ao vivo?, 2015. Disponível em <http://centraldeajuda.globo.com/Produtos/Globo-Play/Duvidas-tecnicas/noticia/2015/10/em-que-cidades-e-possivel-assistir-programacao-da-globo-ao-vivo.html>. Acesso em agosto de 2017.
- [32] HAN, J.; PEI, J.; KAMBER, M. *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier, 2011.
- [33] HIPSTERS.TECH. Por trás dos vídeos da globo.com, 2016. Disponível em <http://hipsters.tech/por-tras-dos-videos-da-globo-com-hipsters-11/>. Acesso em novembro de 2020.
- [34] HUNG, Y.-H.; WANG, C.-Y.; HWANG, R.-H. Optimizing social welfare of live video streaming services in mobile edge computing. *IEEE Transactions on Mobile Computing* 19, 4 (2019), 922–934.
- [35] IBGE. Ibge: Uso de internet, televisão e celular no brasil, 2017. Disponível em <https://educa.ibge.gov.br/jovens/materias-especiais/>

- 20787-uso-de-internet-televisao-e-celular-no-brasil.html. Acesso em novembro de 2020.
- [36] IETF. Http live streaming draft-pantos-http-live-streaming-23, 2017. Disponível em <https://tools.ietf.org/html/draft-pantos-http-live-streaming-23>. Acesso em novembro de 2020.
- [37] INFOQ. Autorização de vídeos no globosat play: do caos aos 25ms de tempo de resposta, 2016. Disponível em <https://www.infoq.com/br/presentations/autorizacao-de-videos-no-globosat-play>. Acesso em novembro de 2020.
- [38] KRISHNAN, S. S.; SITARAMAN, R. K. Video stream quality impacts viewer behavior: inferring causality using quasi-experimental designs. *IEEE/ACM Transactions on Networking* 21, 6 (2013), 2001–2014.
- [39] LI, Y.; ZHANG, Y.; YUAN, R. Measurement and analysis of a large scale commercial mobile internet tv system. In *Proceedings of the 2011 ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference* (2011), pp. 209–224.
- [40] LI, Y.; ZHANG, Y.; YUAN, R. Measurement and analysis of a large scale commercial mobile internet tv system. In *Proceedings of the 2011 ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference* (2011), pp. 209–224.
- [41] LI, Z.; XIE, G.; KAAAFAR, M. A.; SALAMATIAN, K. User behavior characterization of a large-scale mobile live streaming system. In *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web* (2015), ACM, pp. 307–313.
- [42] MADMARKET.COM. Mobile is now ‘the first screen’, 2016. Disponível em <http://www.madmarketer.com/topics/digital/articles/421855-mobile-now-first-screen.htm>. Acesso em novembro de 2020.
- [43] MARKETINGLAND. Report: Mobile best practices can boost campaign performance up to 160 percent, 2015. Disponível em <http://marketingland.com/report-mobile-best-practices-can-boost-campaign-performanceup-to-160-percent-121782>. Acesso em novembro de 2020.
- [44] MICROSOFT. What is smooth streaming? Disponível em <https://www.microsoft.com/silverlight/smoothstreaming/>. Acesso em novembro de 2020.
- [45] MPEG, M. P. E. G. Mpeg-dash. Disponível em <https://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-dash>. Acesso em novembro de 2020.
- [46] NGINX. Module ngx http hls module. Disponível em http://nginx.org/en/docs/http/ngx_http_hls_module.html. Acesso em novembro de 2020.
- [47] NGINX. Nginx-rtmp-module wiki. Disponível em <https://github.com/arut/nginx-rtmp-module/wiki/>. Acesso em novembro de 2020.
- [48] NGINX. Nginx, 2020. Disponível em <https://www.nginx.com>. Acesso em novembro de 2020.

- [49] NYT. Why are there so many android versions?, 2018. Disponível em <https://www.nytimes.com/2018/05/02/technology/personaltech/why-are-there-so-many-android-versions.html>. Acesso em novembro de 2020.
- [50] NYT. The virus changed the way we internet, 2020. Disponível em <https://www.nytimes.com/interactive/2020/04/07/technology/coronavirus-internet-use.html>. Acesso em novembro de 2020.
- [51] ORACLE. Mobile is the new first screen, 2015. Disponível em <http://www.oracle.com/us/technologies/mobile/mobile-infographic-2595872.pdf>. Acesso em abril de 2020.
- [52] PEER5. Setting up hls live streaming server using nginx + nginx-rtmp-module on ubuntu. Disponível em <https://docs.peer5.com/guides/setting-up-hls-live-streaming-server-using-nginx>. Acesso em novembro de 2020.
- [53] PLAKIA, M.; KATSARAKIS, M.; CHARONYKTAKIS, P.; PAPADOPOULI, M.; MARKOPOULOS, I. On user-centric analysis and prediction of qoe for video streaming using empirical measurements. In *2016 Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)* (2016), IEEE, pp. 1–6.
- [54] SANDVINE. The global internet phenomena report, Setembro 2019. Disponível em <https://www.sandvine.com/global-internet-phenomena-report-2019>. Acesso em novembro de 2020.
- [55] SANTOS, B.; CARNIVALI, G.; ALMEIDA, W.; VIEIRA, A. B.; CUNHA, I.; ALMEIDA, J. Caracterização do comportamento dos clientes de vídeo ao vivo durante um evento de larga escala. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC16* (2016).
- [56] SCHWIND, A.; MIDOGLU, C.; ALAY, Ö.; GRIWODZ, C.; WAMSER, F. Dissecting the performance of youtube video streaming in mobile networks. *International Journal of Network Management* (2019), e2058.
- [57] SENADO. Senado vai julgar presidente dilma rousseff por crimes de responsabilidade, 2016. Disponível em <http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/05/12/senado-abre-processo-de-impeachment-contradilma-rousseff>. Acesso em novembro de 2020.
- [58] SHAFIQ, M. Z.; JI, L.; LIU, A. X.; PANG, J.; VENKATARAMAN, S.; WANG, J. A first look at cellular network performance during crowded events. In *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review* (2013), vol. 41, pp. 17–28.
- [59] SHAVITT, Y.; ZILBERMAN, N. A geolocation databases study. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 29, 10 (2011), 2044–2056.
- [60] SHENKER, S. Fundamental design issues for the future internet. *IEEE Journal on selected areas in communications* 13, 7 (1995), 1176–1188.

- [61] SIEKKINEN, M.; MASALA, E.; KÄMÄRÄINEN, T. A first look at quality of mobile live streaming experience: the case of periscope. In *Proceedings of the 2016 Internet Measurement Conference* (2016), pp. 477–483.
- [62] SOCIALMEDIATODAY. Youtube changes video ad 'engagement' register from 30 seconds watch time to 10 seconds, October 2018. Disponível em <https://www.socialmediatoday.com/news/youtube-changes-video-ad-engagement-register-from-30-seconds-watch-time-t/539823/>. Acesso em novembro de 2020.
- [63] SRIPANIDKULCHAI, K.; MAGGS, B.; ZHANG, H. An analysis of live streaming workloads on the internet. In *Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM Conference on Internet measurement* (2004), pp. 41–54.
- [64] STREAMINGMEDIA.COM. What is hls (http live streaming)?, 2011. Disponível em [http://www.streamingmedia.com/Articles/Editorial/What-Is-.../What-is-HLS-\(HTTP-Live-Streaming\)-78221.aspx](http://www.streamingmedia.com/Articles/Editorial/What-Is-.../What-is-HLS-(HTTP-Live-Streaming)-78221.aspx). Acesso em novembro de 2020.
- [65] TECHTUDO. Coronavírus: Facebook, instagram e netflix reduzem qualidade de vídeos, 2020. Disponível em <https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/03/coronavirus-facebook-instagram-e-netflix-reduzem-qualidade-de-videos.ghhtml>. Acesso em novembro de 2020.
- [66] TECMUNDO. Cbf vai transmitir próximos amistosos da seleção pela internet, 2017. Disponível em <https://www.tecmundo.com.br/streaming/117160-streaming-amistosos-selecao-pela-internet.htm>. Acesso em novembro de 2020.
- [67] UOL. Fla libera transmissão no youtube após problemas com plataforma, Julho 2020. Disponível em <https://www.uol.com.br/esporte/futebol/ultimas-noticias/2020/07/05/fla-libera-transmissao-no-youtube-apos-problemas-com-plataforma.htm>. Acesso em novembro de 2020.
- [68] VALORECONÔMICO. Igrejas investem em suas próprias operadoras móveis, 2017. Disponível em <http://www.valor.com.br/empresas/4877356/igrejas-investem-em-suas-proprias-operadoras-moveis>. Acesso em novembro de 2020.
- [69] VARIETY.COM. Facebook admits to overstating average video-viewing metrics, Setembro 2016. Disponível em <https://variety.com/2016/digital/news/facebook-inflated-video-viewing-metrics-1201868829/>. Acesso em novembro de 2020.
- [70] VARIETY.COM. Facebook to pay \$40 million to settle claims it inflated video viewing data, Outubro 2019. Disponível em <https://variety.com/2019/digital/news/facebook-settlement-video-advertising-lawsuit-40-million-1203361133/>. Acesso em novembro de 2020.
- [71] VEJA. Festa de abertura da rio-2016 empolga imprensa internacional, 2016. Disponível em <http://veja.abril.com.br/mundo/>

- feira-da-abertura-da-rio-2016-empolga-imprensa-internacional/. Acesso em novembro de 2020.
- [72] VEJA. Globo vai transmitir votação da denúncia contra temer na câmara, 2017. Disponível em <http://veja.abril.com.br/politica/globo-vai-transmitir-votacao-da-denuncia-contratemer-na-camara>. Acesso em novembro de 2020.
- [73] VELOSO, E.; ALMEIDA, V.; MEIRA, W.; BESTAVROS, A.; JIN, S. A hierarchical characterization of a live streaming media workload. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet measurement* (2002), ACM, pp. 117–130.
- [74] WAINBERG, J. As redes e os protestos sociais: A difusão da mensagem dissidente. *Reinvenção comunicacional da política: Modos de habitar e desabitar o século XXI. Brasília: Compós* (2016).
- [75] WANG, J.; XU, W.; WANG, J. A study of live video streaming system for mobile devices. In *2016 First IEEE International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI)* (2016), IEEE, pp. 157–160.