

**TRANSMISSÕES DE VÍDEO AO VIVO GERADAS
POR USUÁRIOS:
CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE**

THIAGO HENRIQUE SILVA

TRANSMISSÕES DE VÍDEO AO VIVO GERADAS
POR USUÁRIOS:
CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

ORIENTADOR: JUSSARA MARQUES DE ALMEIDA
CO-ORIENTADOR: DORGIVAL OLAVO GUEDES NETO

Belo Horizonte

Maior de 2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Transmissões de Vídeo ao Vivo Geradas por Usuários: Caracterização e Análise

THIAGO HENRIQUE SILVA

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

PROFA. JUSSARA MARQUES DE ALMEIDA - Orientadora
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

PROF. DORGIVAL OLAVO GUEDES NETO - Co-orientador
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

PROF. LUCIANO PASCHOAL GASPARY
Instituto de Informática - UFRGS

PROF. JOSÉ MARCOS SILVA NOGUEIRA
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

Belo Horizonte, 13 de julho de 2009.

À minha família, amigos e colegas.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família por me oferecer uma ótima formação pessoal. Um agradecimento especial aos meus pais, Aparecida e Hiran, pela grande destreza na difícil tarefa de educar, como também por sempre me apoiar em todas as minhas escolhas, por mais insanas que sejam. Agradeço aos meus tios, em especial à tia Udy, tia Mone e tio Juliate “Kbça”, pela alegria, simpatia e apoio, não necessariamente nessa ordem. Agradeço também aos meus avôs, cujo meu carinho e admiração são inexplicáveis.

Meus sinceros agradecimentos a todos os verdadeiros mestres que foram meus exemplos e incentivadores para continuar na vida acadêmica. É grande a admiração em especial por dois professores, Jussara e Dorgival, que além da extrema competência, me inspiram também de outras formas. Jussara pela sua paixão pela pesquisa, e Dorgival pela sua simplicidade e companheirismo. Os dois juntos me forneceram orientações de altíssima qualidade.

Agradeço aos companheiros do VOD por fazerem desse laboratório o mais divertido da UFMG. Especialmente o pessoal da velha guarda Alex, Daniel, Maia, Itamar e Palloti (em ordem de idade 8)), bem como os cabras da peste Flávio, Dudu e demais soldados. Agradeço também aos companheiros da área, Vinícius e Everthon. Que venham muitos outros trabalhos e cervejas juntos. A todos, obrigado pelo auxílio e camaradagem durante toda minha trajetória no mestrado.

Não posso deixar de agradecer também aos camaradas das antigas Mangões, Leo, Monoh, Lilian, Laura e a todos os outros, que também se devem considerar mencionados. Bons causos são supimpas e não tem preço. Agradecimento especial ao Pedrosa pela inestimável ajuda na reta final da dissertação. Obrigado também aos novos amigos de BH, em destaque Diego e Bibinha, por todo o valioso suporte e amizade.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as outras pessoas que não foram “tcheba” e contribuíram de alguma forma para a minha formação pessoal, profissional e cultural.
ni!

*“Se o conhecimento não descansa,
ele cansa.”*

(Autor desconhecido)

Resumo

Nos últimos anos assistimos uma grande revolução com relação às formas de criação e distribuição de vídeo na Internet. Com a popularização das câmeras digitais e o aumento das velocidades de acesso à Internet, a geração e distribuição de vídeos na rede mundial de computadores aumentaram consideravelmente. Recentemente surgiram várias empresas que oferecem aos usuários a possibilidade de transmitir, gratuitamente, fluxo de vídeo ao vivo através de sistemas baseados na Web 2.0. Apesar do curto tempo em que essas aplicações operam na Internet, já é possível observar um grande aumento de popularidade desses serviços.

Nesse contexto, essa dissertação se destina a propor e avaliar soluções que contribuam para melhorar a escalabilidade desse tipo de sistema. Este trabalho pode ser dividido em duas partes. Primeiramente, coletamos dados de um sistema real de transmissão de vídeo ao vivo baseado na Web 2.0, o Yahoo Live, e realizamos uma caracterização de aspectos importantes dos padrões de comportamento dos usuários. Determinamos modelos para, entre outros aspectos, a duração das sessões, o processo de chegada de novas sessões durante uma transmissão e a duração das transmissões realizadas pelos canais.

Em seguida, os resultados dessa caracterização foram utilizados na construção de um simulador de arquiteturas de distribuição de conteúdo, incluindo as tradicionais soluções cliente/servidor e Par-a-Par (aqui referenciada como P2P pura). Os resultados da caracterização também motivaram a proposição de duas novas estratégias híbridas que combinam benefícios dessas duas arquiteturas. Nós então realizamos uma extensa avaliação das quatro estratégias de transmissão, em diversos cenários, considerando métricas que refletem tanto o interesse dos usuários (por exemplo, índice de continuidade e atraso de inicialização) quanto do servidor (banda de rede). Nossos resultados indicam que as estratégias híbridas levam aos melhores compromissos entre qualidade de serviço e consumo de recursos.

Abstract

In the past few years, we have observed a huge revolution in terms of the way we create and distribute video on the Internet. With the popularization of digital cameras and with the increase of Internet access speeds, video content creation and distribution on the Internet has grown considerably. There are a number of recently created companies which offer the users the possibility of transmitting, free of charge, live streaming video using Web 2.0 based systems. In spite of their short operation time on the Internet, it is already possible to observe a significant popularity increase of those services.

In this context, this dissertation aims to propose and evaluate solutions that contribute to improve the scalability of this type of system. This work encompasses two major steps. First, we collected data from a popular online live video sharing service, and provided a characterization of key aspects of user dynamic behavioral patterns. We determine statistical models for, among other aspects, session durations, new session arrival process during a transmission, and duration of transmissions performed by a channel.

Next, our characterization findings were used to drive the design of a simulator of different content distribution architectures, including the traditional client-server and Peer-to-Peer (here referred to as pure P2P) solutions. Our characterization findings also motivated the proposal of two new hybrid strategies, which combine the benefits from those two architectures. We then performed an extensive evaluation of the four strategies, considering different scenarios as well as metrics that reflect both the interests of the users (e.g., continuity index and startup delay) and of the server (network bandwidth). Our results indicate that the hybrid strategies yield the best tradeoffs between quality of service and resource consumption.

Lista de Figuras

2.1	Participação dos Usuários no Envio de Vídeos ao Vídeo	9
2.2	Rede P2P Baseada em Árvore para Transmissão de Fluxo de Vídeo	11
2.3	Rede P2P Baseada em Malha para Transmissão de Fluxo de Vídeo	13
2.4	Participação dos Usuários no Envio de Vídeos Pré-Armazenados	17
3.1	Popularidade de Sistemas de Transmissão de Vídeo ao Vivo Baseados na Web 2.0	30
3.2	Modelo de Interação dos Usuários com o Sistema YahooLive	31
3.3	Tela de Execução do YahooLive.	32
3.4	Visão Geral - Volume de Canais	35
3.5	Visão Geral - Usuários Simultâneos	36
3.6	Análises das Transmissões	37
3.7	Intervalo de Entrada na Transmissão	38
3.8	Canais Únicos por Dia	39
3.9	Tempos de Sessões dos Usuários	40
3.10	Probabilidade do Tempo de Sessão Durar mais 60s, em Função do Tempo já Decorrido.	41
3.11	Histograma do Tempo de Sessão	42
3.12	Representatividade dos Canais Populares	43
3.13	Análise de Fatores que Poderiam Influenciar na Popularidade	44
3.14	Probabilidade de Sessão Superior que 1 Minuto	45
4.1	Diagrama de Funcionamento da Estratégia Híbrida	50
4.2	Índice de Continuidade para o Cenário 2	58
4.3	Índice de Continuidade para o Cenário 3	59
4.4	Índice de Continuidade para o Cenário 4	60
4.5	Nodos Simultâneos no Cenário 3	61
4.6	Índice de Continuidade x Nodos Simultâneos (Cenário 3 $\theta=75\%$)	62

4.7	Contribuição dos Nodos no Sistema, para o Cenário 2 com Todas as Suas Variações	65
4.8	Contribuição dos Nodos no Sistema, para o Cenário 3 com Todas as Suas Variações	66
4.9	Contribuição dos Nodos no Sistema, para o Cenário 4 com Todas as Suas Variações	67
4.10	Contribuição da Fonte no Sistema, Cenário 3	69
A.1	Índice de Continuidade - Cenário 1	79
B.1	Contribuição dos Nodos no Sistema, para o Cenário 1 com Todas as Suas Variações	82

Lista de Tabelas

3.1	Resumo dos Dados Coletados	34
4.1	Notação	52
4.2	Cenários de Avaliação	54
4.3	Porcentagem do Índice de Continuidade Acima de 95% ao Longo da Transmissão, Considerando Todos os Cenários e Todos os Valores de θ	56
4.4	Porcentagem do Índice de Continuidade Acima de 95% ao Longo da Transmissão, para o Cenário 1 $\theta=0\%$, Cenário 2 $\theta=25\%$ e $\theta=50\%$ e Cenário 4 $\theta=75\%$	57
4.5	Atraso de Inicialização Enfrentado por Todos os Nodos, de Todos os Cenários e Variações, ao se Utilizar a Estratégia P2P Pura e Híbrida Controlada	63
4.6	Atrasos de Inicialização Enfrentados por Todos os Nodos no Cenário 1 ($\theta=0\%$), Cenário 2 ($\theta=25\%$ e $\theta=50\%$) e Cenário 4 ($\theta=75\%$), ao se Utilizar as Estratégias P2P Pura e Híbrida Controlada	64
4.7	Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema em Todos Cenários e Todas suas Variações para Todas as Estratégias de Transmissão	68
4.8	Economia de Banda de Rede Proporcionada em Comparação com a Estratégia C/S	70
4.9	Economia de Banda de Rede Proporcionada em Comparação com a Estratégia C/S, pelo Cenário 1 $\theta=0\%$, Cenário 2 $\theta=25\%$ e $\theta=50\%$ e Cenário 4 $\theta=75\%$	70
4.10	Economia de Banda de Rede Proporcionada pela Estratégia Híbrida Controlada em Relação à Híbrida, Em Todos os Cenários e Variações	72
B.1	Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema no Cenário 1 $\theta=0\%$	82
B.2	Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema no Cenário 2 $\theta=25\%$	83
B.3	Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema no Cenário 2 $\theta=50\%$	83
B.4	Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema no Cenário 4 $\theta=75\%$	83

Lista de Siglas

ACA	Arquitetura de Componentes Autônomos
C/S	Cliente/Servidor
CDF	Função de densidade acumulada
CDN	<i>Content Distribution Network</i>
CV	Coefficiente de Variação
DHT	<i>Distributed Hash Table</i>
HON	<i>Hybrid Overlay Network</i>
ID	Identificador
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
MLE	<i>Maximum Likelihood Estimation</i>
P2P	Par-a-Par
PDF	Função de densidade de probabilidade
PMF	Função massa de probabilidade
VOD	Vídeo sob demanda
WWW	<i>World Wide Web</i>

Sumário

Agradecimentos	ix
Resumo	xiii
Abstract	xv
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xix
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Contribuições	3
1.3 Organização da Dissertação	5
2 Contextualização	7
2.1 Transmissão de Fluxo de Vídeo ao Vivo	7
2.1.1 Transmissão Através de Arquiteturas Cliente/Servidor	7
2.1.2 Transmissão Através de Arquiteturas P2P	10
2.2 Transmissão de Fluxo de Vídeo Pré-Armazenado	15
2.2.1 Transmissão Através de Arquiteturas C/S	15
2.2.2 Transmissão Através de Arquiteturas P2P	17
2.3 Trabalhos Relacionados	19
2.3.1 Caracterização de Sistemas para Transmissão de Fluxos de Vídeo ao Vivo	19
2.3.2 Caracterização do Comportamento de Usuários de Sistemas de Transmissão de Vídeos Pré-Armazenados	22
2.3.3 Novas Estratégias de Transmissão de Fluxos de Vídeo ao Vivo .	25
2.3.4 Soluções para Minimizar o Impacto da Mudança de Canais . . .	26

3	Caracterização do Comportamento de Espectadores de um Sistema de Vídeo ao Vivo	29
3.1	O Sistema Analisado	29
3.2	Coleta e Tratamento dos Dados	32
3.3	Visão Geral	33
3.4	Comportamento dos Usuários	34
3.4.1	Durações e Intervalos entre Transmissões	35
3.4.2	Processo de Chegada de Sessões	37
3.4.3	Análises das Sessões	38
3.5	Caracterização da Popularidade de Canais	42
3.5.1	Audiência	42
3.5.2	As Sessões são mais Longas para os Canais mais Populares?	44
4	Proposta e Avaliação de Estratégias de Transmissão	47
4.1	Alternativas para Transmissão	47
4.1.1	Estratégia P2P Pura	48
4.1.2	Estratégia Cliente/Servidor	49
4.1.3	Estratégia Híbrida	49
4.1.4	Estratégia Híbrida Controlada	50
4.2	Metodologia de Avaliação	51
4.2.1	Métricas de Avaliação	51
4.2.2	Modelo de Simulação	51
4.2.3	Cenários de Avaliação	54
4.3	Resultados	55
4.3.1	Qualidade Média das Transmissões	55
4.3.2	Atraso de Inicialização no Sistema	62
4.3.3	Contribuição dos Nodos Clientes no Sistema	64
4.3.4	Contribuição do Servidor no Sistema	68
4.3.5	Sumarização dos Principais Resultados	72
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	75
A	Índice de Continuidade	79
B	Contribuição dos Clientes	81
	Referências Bibliográficas	85

Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos assistimos a uma grande revolução com relação às formas de criação e transmissão de vídeo na Internet. Com a popularização das câmeras digitais e o aumento médio das velocidades de acesso à Internet, a geração e transmissão de vídeos na rede mundial de computadores aumentou consideravelmente. Não somente a oferta de conteúdo aumentou como também a procura pelos mesmos. Foi mostrado que a visualização de conteúdo como seriados de TV, pequenos vídeos (como os disponíveis no YouTube [YouTube, 2009]), animações e outras aplicações que geram tráfego através do consumo de vídeo já representam mais de 35% de todo tráfego da Internet (sem contar o tráfego proveniente de redes Par-a-Par (P2P)), e a previsão é que esse tráfego cresça para 90% em 2013 [Cisco, 2009].

Com a evolução da WWW (*World Wide Web*) para a chamada Web 2.0 [Oreilly, 2007], os usuários passam a ter um papel de destaque nos serviços Web. Aplicações da Web 2.0 têm como uma de suas principais características oferecerem maior integração e participação do usuário. Diferentemente do que acontecia em sistemas Web tradicionais (conhecidos também como Web 1.0), onde usuários atuavam mais como consumidores passivos de informação, esses novos sistemas fornecem um ferramental que possibilita que usuários facilmente sejam também criadores, publicadores e organizadores de informações em diferentes tipos de mídias (por exemplo: texto, imagem, áudio e vídeo). Essa abordagem mais centrada no usuário se mostra um importante fator na popularização de diversos serviços como YouTube, Orkut [Orkut, 2009], Flickr [Flickr, 2009] e Delicious [Delicious, 2009].

No passado, a transmissão de vídeo ao vivo era acessível somente a grandes empresas de distribuição de mídia, sendo necessário para isso um alto investimento financeiro. Isso porque comumente era necessário utilizar alguma rede de televisão, que possui elevado custo de operação. Recentemente surgiram várias empresas que oferecem aos

usuários a possibilidade de transmitir, gratuitamente, fluxo de vídeo ao vivo através de sistemas baseados na Web 2.0. Apesar do curto tempo em que essas aplicações operam na Internet, já é possível observar um grande aumento de popularidade desses serviços. Um dos precursores, Justin.tv [Justin.tv, 2009], atraiu 11 milhões de visitantes em Novembro de 2008 [Jones, 2008]. Seus concorrentes Ustream [Ustream.tv, 2009] e Mogulus [Mogulus, 2009], atraíram 5,6 e 2,1 milhões respectivamente [Jones, 2008]. Além disso, o número de acessos a essas aplicações tem praticamente dobrado ao longo dos meses. Por exemplo, em Outubro de 2008, Justin.tv registrava 6 milhões de usuários, enquanto Ustream registrava 3 milhões [Jones, 2008]. Outros representantes com serviços semelhantes são BlogTV.com [BlogTV, 2009], Stickam.com [Stickam, 2009] e YahooLive¹ [Yahoo!, 2009], entre outros.

Para garantir o bom funcionamento desse tipo de sistema é necessária uma quantidade considerável de banda de rede, principalmente em horários de pico em que o número de clientes simultâneos pode ser muito grande. Isso acontece porque tais sistemas operam em uma arquitetura cliente/servidor (C/S), sendo comumente necessário o estabelecimento de uma conexão exclusiva entre cada cliente e o servidor, fonte da aplicação. Com isso, para se manter uma infra-estrutura capaz de oferecer um serviço de qualidade, principalmente para atender vários usuários simultâneos, é necessário um alto investimento financeiro.

Entretanto, existem arquiteturas de redes alternativas que possibilitam manter esse serviço a um custo menor [Zhang et al., 2005b], [Zhang et al., 2005a], [Venkataraman et al., 2006], [Tran et al., 2004]. Um exemplo desse tipo de alternativa é uma arquitetura P2P baseada em malha do tipo *mesh-pull* para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo, semelhante a dos sistemas CoolStreaming [Zhang et al., 2005b] e PPLive [PPLive, 2009], muito populares atualmente. Nesta dissertação, denominaremos esse tipo de arquitetura por **P2P pura**. Em uma arquitetura P2P a maioria dos nodos² possuem papéis equivalentes e costumam ser denominados pares. Neste trabalho, nós referiremos a esses elementos simplesmente como nodos.

Apesar de uma arquitetura baseada em rede P2P possibilitar uma maior economia de banda de rede em relação a uma arquitetura cliente/servidor, ela apresenta limitações. Por exemplo, ela pode ter sua eficiência degradada frente a um comportamento dinâmico dos usuários, conforme será discutido no capítulo 4. Logo, faz-se necessário avaliar o custo-benefício de arquiteturas alternativas para suportar um serviço de transmissão de vídeo ao vivo. Para realização dessa tarefa um passo essencial

¹Ao longo de todo este texto, faremos referência ao sistema Yahoo! Live como YahooLive e à empresa Yahoo! como Yahoo.

²um elemento (computador de usuário ou servidor) participante de um sistema distribuído.

é entender o comportamento dos espectadores em aplicações reais desse tipo, uma vez que tal entendimento pode motivar o projeto de alternativas que levem a uma melhor relação custo-benefício em cenários práticos.

1.1 Objetivos

Esta dissertação tem por objetivos principais estudar o comportamento dos usuários em um sistema real de transmissão de vídeo ao vivo baseado na Web 2.0, bem como avaliar, através de simulação, a aplicabilidade de estratégias alternativas para transmissão de vídeo ao vivo em sistemas semelhantes.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- caracterizar e analisar como os usuários se comportam no processo de transmissão de fluxos de vídeos de um sistema real;
- caracterizar e analisar como os usuários se comportam no processo de visualização dos canais;
- entender o impacto da popularidade dos canais no sistema;
- avaliar o custo-benefício da utilização de uma arquitetura P2P pura, quando utilizada para suportar um serviço de transmissão de vídeo ao vivo baseado na Web 2.0;
- apresentar e avaliar o custo-benefício de uma nova estratégia (denominada híbrida), que combina aspectos das arquiteturas cliente/servidor e Par-a-Par, cujo intuito é melhorar a qualidade do serviço oferecido ao usuário;
- avaliar o custo-benefício de uma variação da estratégia híbrida, a híbrida controlada, cujo objetivo principal é proporcionar um limite de utilização de banda de rede da fonte do sistema.

1.2 Contribuições

Nossas principais contribuições podem ser sumarizadas em:

- **Modelo de comportamento dos espectadores de um sistema Web 2.0 real de transmissão de vídeo ao vivo:** Foi modelado, entre outros aspectos, a duração das sessões, o processo de chegada de novas sessões durante uma

transmissão, o número e a duração das transmissões realizadas pelos canais e o intervalo médio entre transmissões sucessivas de um mesmo canal. Até onde pudemos avaliar, este é o primeiro trabalho de caracterização de comportamento de usuários de um sistema Web 2.0 de transmissão de vídeo ao vivo. Embora não seja nosso objetivo, este modelo pode direcionar o projeto futuro de geradores de cargas sintéticas realistas para esses sistemas.

- **Simulador:** Com base nos resultados obtidos na caracterização realizada foi construído um simulador de arquiteturas alternativas, baseadas em redes P2P, bem como uma arquitetura tradicional cliente/servidor, para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo.
- **Novas estratégias:** Proposição de duas novas estratégias para transmissão de vídeo ao vivo, ambas baseadas em arquiteturas P2P. A primeira, denominada estratégia *híbrida*, tem por objetivo melhorar a qualidade de serviço (estimada pelo nível de continuidade da transmissão na percepção do usuário final) do sistema. Nesta estratégia, os clientes inicialmente se conectam a um servidor (fonte) centralizado. Após um certo intervalo de tempo, eles são transferidos para uma rede P2P. Esta estratégia foi motivada pelos resultados da caracterização realizada, que indicavam a existência de um grande número de sessões curtas no sistema analisado. Já a segunda estratégia, denominada *híbrida controlada*, é uma variação da estratégia híbrida que tem por objetivo limitar a utilização da banda de rede do servidor, garantindo um limite máximo de usuários conectados simultaneamente no servidor centralizado.
- **Avaliação do custo-benefício da utilização das estratégias C/S, P2P pura, híbrida e híbrida controlada, para transmissão de vídeo ao vivo:** Essa avaliação foi realizada em diversos cenários de interesse, considerando métricas que refletem tanto o interesse dos usuários (por exemplo: índice de continuidade e tempo inicial de configuração) bem como do servidor (banda de rede).
- **Publicações.** Contribuímos com dois artigos referentes a duas grandes etapas desta dissertação. O primeiro apresenta a caracterização de um sistema real de transmissão de vídeo ao vivo baseado na Web 2.0, artigo premiado com o título de 3º melhor trabalho [Silva et al., 2009b]. Já o segundo apresenta uma avaliação de custo-benefício de quatro estratégias para transmissão de vídeo ao vivo [Silva et al., 2009a].

1.3 Organização da Dissertação

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma: O capítulo 2 apresenta uma contextualização dos mecanismos de transmissão de vídeo ao vivo existentes, bem como os principais trabalhos relacionados. O capítulo 3 apresenta os procedimentos realizados na aquisição e tratamento dos dados, bem como a caracterização da participação dos usuários no sistema, e do impacto referente à popularidade dos canais no sistema. O capítulo 4 descreve as alternativas de estratégias de transmissão, consideradas em uma avaliação de custo-benefício na transmissão de vídeo ao vivo, como também a metodologia e os resultados obtidos nessa avaliação. Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões e possíveis direções para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Contextualização

Neste capítulo apresentaremos as abordagens mais representativas para a transmissão de fluxo de vídeo, ao vivo e pré-armazenado, na Internet. Discutiremos também os principais trabalhos relacionados à nossa proposta.

Os fluxos de vídeos transmitidos na Internet podem ser classificados em duas categorias: ao vivo e pré-armazenado. Na primeira, um conteúdo ao vivo é distribuído para todos os participantes em tempo real. A reprodução do vídeo nessa categoria é sincronizada entre todos os participantes. Já nas transmissões de vídeo pré-armazenado, os usuários possuem a flexibilidade de assistir qualquer vídeo, quando e quantas vezes desejarem. A reprodução do vídeo nessa categoria não é sincronizada entre os participantes. As seções 2.1 e 2.2 apresentam as principais arquiteturas e sistemas de transmissão de vídeo ao vivo e pré-armazenado, respectivamente. Os trabalhos relacionados são discutidos na Seção 2.3.

2.1 Transmissão de Fluxo de Vídeo ao Vivo

Nesta seção, apresentaremos diversos sistemas para transmissão de fluxos de vídeo ao vivo, baseados tanto em arquitetura cliente/servidor, quanto em arquitetura P2P.

2.1.1 Transmissão Através de Arquiteturas Cliente/Servidor

O modelo cliente/servidor é a solução básica para transmissão de fluxos de vídeo na Internet. A transmissão do conteúdo nesse tipo de arquitetura pode acontecer de duas formas:

1. O conteúdo é transmitido a cada cliente direto do servidor por conexões individuais. Em outras palavras, cada nova requisição de um cliente leva ao estabele-

cimento de um novo fluxo independente de transmissão. Procedimento também conhecido como transmissão *unicast* [Tanenbaum, 2003];

2. O conteúdo é transmitido pelo servidor como um único fluxo que é distribuído para todos os clientes. Assim, não é necessário o estabelecimento de um novo fluxo independente com cada cliente. Esse procedimento é denominado transmissão *multicast* [Quinn & Almeroth, 2001], e foi inicialmente proposto para ser implementado na camada de rede. Apesar de soluções de *multicast* no nível de IP serem ótimas do ponto de vista do número de mensagens trafegadas na rede, na prática essa solução é difícil de ser usada. Por preocupação com a sobrecarga de controle das diversas árvores de multicast, administradores normalmente não configuram seus roteadores com esse recurso habilitado. Assim, ao invés dessa funcionalidade ser implementada na camada de rede, alguns sistemas consideraram sua implementação na camada de aplicação, que constitui uma rede P2P normalmente, ou CDN (*Content Distribution Network*) [Liu et al., 2008].

Uma variação do modelo C/S é a denominada CDN. Numa solução baseada em CDN o fluxo de vídeo geralmente pode ser replicado de um servidor origem X para outro servidor Y , seguindo, por exemplo, um critério de localidade, estando mais próximo fisicamente do cliente. O cliente, por sua vez, recebe o fluxo de vídeo a partir desse servidor “mais próximo”, obtendo, dentre outros benefícios, uma menor latência na obtenção do conteúdo. Essa estratégia não é comumente utilizada pelos sistemas de transmissão de vídeo ao vivo baseados em arquitetura C/S, sendo mais comum em sistemas de transmissão de vídeos pré-armazenados. No entanto, ela é utilizada pelo sistema mais popular para transmissão de fluxos de vídeo ao vivo na Web, o Justin.tv [Gonzalez, 2008].

Uma desvantagem da abordagem C/S é a demanda de banda de rede do servidor que cresce, na maioria dos casos, linearmente com o número de usuários simultâneos no sistema. Com isso, para se manter uma infra-estrutura capaz de oferecer um serviço de qualidade, principalmente para atender vários usuários simultâneos, é necessário um alto investimento financeiro. Já um dos benefícios de se utilizar uma arquitetura de rede centralizada é a possibilidade de efetuar um melhor controle dos usuários, por exemplo, no combate à transmissão de conteúdo indevido ou ilegal [Dhungel et al., 2007]. Esta última característica é interessante principalmente quando existe a participação do usuário na geração de conteúdo, que pode ser de qualquer procedência. Em um sistema centralizado esse tipo de conteúdo pode, por exemplo, ter o acesso bloqueado.

Os sistemas que realizam transmissão de vídeo através de arquiteturas cliente/servidor geralmente são baseados na Web. Podemos classificar os representantes

dessa classe em dois grupos: sistemas que permitem a participação dos usuários na geração do conteúdo (isto é, sistemas da Web 2.0) e sistemas que não permitem essa participação.

2.1.1.1 Com a Participação dos Usuários

Sistemas dessa categoria oferecem recursos que possibilitam aos usuários a transmissão de seu vídeo ao vivo na Internet. A maioria desses sistemas também possibilita a formação de redes sociais, que são utilizadas para, dentre outras finalidades, integração dos usuários e divulgação de canais.

A Figura 2.1 ilustra o funcionamento geral desse tipo de sistema. A transmissão do fluxo de vídeo parte de algum usuário para o servidor do sistema. Esse servidor por sua vez é responsável por distribuir o conteúdo aos usuários interessados. Como podemos observar o usuário A transmite um conteúdo ao vivo para o servidor do sistema. Paralelamente a essa ação os usuários B e C iniciam a visualização do conteúdo que está sendo fornecido por A. Observe que o usuário transmissor do conteúdo deve estar presente durante toda a transmissão, que é automaticamente encerrada assim que ele deixa o sistema.

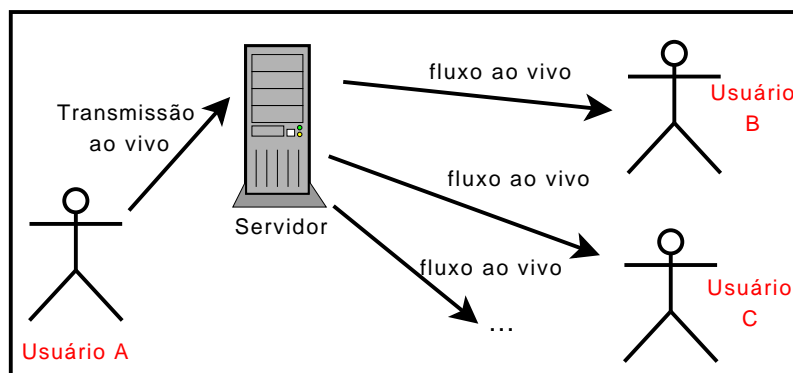


Figura 2.1. Participação dos Usuários no Envio de Vídeos ao Vídeo

Representantes desses sistemas são: Justin.tv [Justin.tv, 2009], Blogtv.com [BlogTV, 2009], Mogulus.com [Mogulus, 2009], YahooLive [Yahoo!, 2009], entre outros. Como esses sistemas são geralmente baseados na Web, não é exigida a instalação de aplicativos adicionais na máquina do usuário para se utilizar o serviço. Na maioria dos casos é exigido apenas que o usuário possua algum *plugin* como, por exemplo, o do programa *Flash* [Flash, 2009], acoplado ao seu navegador.

2.1.1.2 Sem a Participação dos Usuários

O funcionamento de sistemas que transmitem vídeo ao vivo em arquiteturas C/S sem a participação dos usuários é bastante semelhante ao funcionamento de sistemas que permitem essa ação. A principal diferença é que em sistemas dessa categoria todo conteúdo distribuído pelo servidor é gerado pelo provedor de conteúdo. Assim, na Figura 2.1 o papel do usuário transmissor (usuário A) seria representado pelo provedor de conteúdo.

Vários canais de televisão da TV convencional disponibilizam seu conteúdo na Internet como, por exemplo, MTV Brasil [MTV, 2009]. No entanto, existem também representantes que não oferecem seu conteúdo através da TV convencional, operando apenas na Internet, como por exemplo, allTV [allTV, 2009].

2.1.2 Transmissão Através de Arquiteturas P2P

Em busca de uma solução que não exija *multicast* dos roteadores, usuários participantes de uma transmissão de fluxo de vídeo podem formar uma rede de *multicast* entre si, onde a origem é o servidor (fonte). Essa rede, formada na camada de aplicação, recebe o nome de rede sobreposta (*overlay*). Como os elementos da rede normalmente são as próprias aplicações dos clientes, que se comportam também como servidores que repassam o fluxo, sem servidores fixos estabelecidos para esse fim, a rede formada é do tipo P2P.

Existem atualmente vários mecanismos de construção de redes P2P para transmissão de fluxos de vídeo ao vivo. Com base nesses mecanismos, é possível classificar esses sistemas de transmissão em sistemas baseados em árvores, em malha ou híbridos.

2.1.2.1 Sistemas Baseados em Árvores

As topologias de rede P2P baseadas em árvores, também chamadas topologias estruturadas, podem conter uma **única árvore** ou **múltiplas árvores** para transmissão do fluxo de vídeo.

- **Única árvore para transmissão:** Esses sistemas implementam uma árvore em que a raiz representa a fonte (servidor) do conteúdo a ser transmitido. Nessa estratégia cada nodo recebe um fluxo de vídeo de um nodo pai, que pode ser a própria fonte ou algum outro parceiro, e o repassa para os nodos filhos. Normalmente um nodo filho solicita a um nodo pai a transmissão de um fluxo contínuo de vídeo. A Figura 2.2 ilustra o funcionamento dessa estratégia. Nessa figura é representada uma árvore de transmissão simples possuindo três níveis. As setas

nessa figura indicam a transmissão de um fluxo de vídeo, que, como podemos perceber, só ocorre em uma direção, do nodo pai para o filho.

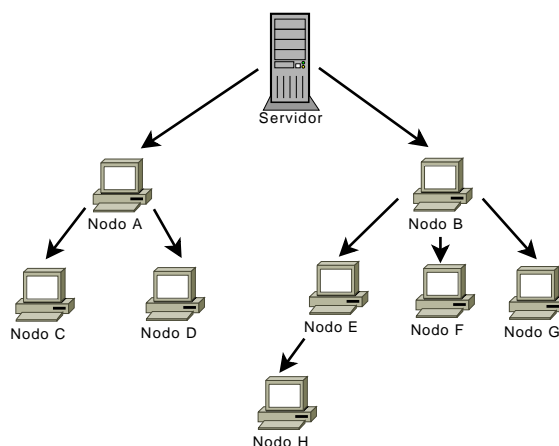


Figura 2.2. Rede P2P Baseada em Árvore para Transmissão de Fluxo de Vídeo

Existem vários exemplos de sistemas que utilizam essa estratégia para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo, como: ESM [Chu et al., 2000], Overcast [Jannotti et al., 2000], SpreadIt [Deshpande et al., 2002] e ZIGZAG [Tran et al., 2004].

É possível construir uma árvore de transmissão de diversas formas. No entanto, uma das principais preocupações que devem ser levadas em consideração ao se construir uma árvore é a sua altura. Como os nodos recebem o vídeo de nodos acima na árvore de transmissão, os nodos pertencentes aos últimos níveis da árvore podem sofrer com grandes atrasos caso a altura da árvore seja muito grande. Com o intuito de evitar essa situação, deve-se produzir cada nível da árvore o mais abrangente possível.

Uma vez que os espectadores de uma transmissão de vídeo podem sair a qualquer momento e esse comportamento pode ser bastante dinâmico, a operação de manutenção da árvore de transmissão após as saídas dos nodos é de grande importância. Após a saída de um nodo da transmissão, os nodos que estavam conectados a ele são desconectados da árvore de transmissão, ficando impossibilitados de receberem o conteúdo até serem novamente conectados. Assim, uma das principais preocupações é que essa ação seja realizada o mais rápido possível. Para tratar essa questão vários algoritmos distribuídos [Tran et al., 2004], foram propostos para a construção e manutenção da árvore de maneira distribuída, aumentando assim a eficiência dessas ações.

Sistemas que utilizam uma única árvore de transmissão sofrem também com a existência natural de nodos que não contribuem para o sistema, os denominados

nodos folha da árvore. Nodos folhas se localizam no último nível da árvore, tais como os nodos C, D, F, G e H da Figura 2.2. Note que os nodos folhas não transmitem o conteúdo recebido para nenhum outro nodo. Uma vez que eles representam uma fração significativa dos participantes da transmissão, a banda de rede total disponível no sistema (considerando fonte e todos os participantes) é subutilizada.

- **Múltiplas árvores de transmissão:** Para tratar alguns problemas da abordagem que considera uma única árvore de transmissão, como a existência de nodos que não contribuem ao sistema (nodos folha), a estratégia de múltiplas árvores de transmissão foi proposta [Castro et al., 2003], [Kostić et al., 2003]. Nessa estratégia, o servidor divide o fluxo de vídeo em vários subfluxos. Ao invés de se transmitir um único fluxo por uma única árvore de transmissão, cada parte do fluxo (subfluxo) é transmitido em uma árvore diferente. Assim cada nodo se conecta em uma árvore para receber um subfluxo. A transmissão do subfluxo em cada árvore de transmissão ocorre da mesma maneira como é realizada nas estratégias que utilizam uma única árvore de transmissão. Como um nodo se conecta em várias árvores diferentes, em uma delas ele pode se localizar nos níveis centrais da árvore, enquanto em outra ele pode ser um nodo folha.

Vários trabalhos forneceram contribuições relacionadas à estratégia de criação de múltiplas árvores de transmissão, como SplitStream [Castro et al., 2003] e Bullet [Kostić et al., 2003].

É válido ressaltar que sistemas que operam em uma arquitetura P2P, independente da estrutura, geralmente necessitam de programas extras instalados na máquina do usuário, diferentemente da maioria dos sistemas que são baseados em arquiteturas C/S.

2.1.2.2 Sistemas Baseados em Malha

Caso não aconteçam muitas trocas de parceiros durante uma transmissão, os sistemas baseados em árvores demandam poucas trocas de mensagens extras, pois o fluxo é transmitido aos parceiros já estabelecidos, não sendo necessário o envio de mensagens para, por exemplo, reentrada na árvore de transmissão. No entanto, os sistemas baseados em árvores têm sua eficiência degradada na presença de um comportamento (entrada e saída) muito dinâmico dos nodos (*high churn*). Como esses sistemas utilizam uma topologia estruturada, a saída de um nodo leva, em grande parte das vezes, à necessidade de uma reestruturação da(s) árvore(s) de transmissão. Uma vez que o

objetivo é a transmissão de conteúdo ao vivo, essa reestruturação precisa acontecer o mais rápido possível, o que torna essa tarefa desafiadora. Para tratar esse problema foi proposta uma nova abordagem, baseada na criação de uma rede P2P não estruturada (ou baseada em malha).

Sistemas dessa classe apresentam de forma semelhante ao do sistema P2P BitTorrent [Izal et al., 2004], de compartilhamento de arquivos, um rastreador (*tracker*) responsável por manter uma lista com todos os nodos ativos no sistema. Sistemas baseados nessa abordagem implementam uma estratégia na qual cada nodo, ao entrar no sistema, contata o rastreador para receber um subconjunto aleatório de outros nodos ativos no sistema. Este subconjunto pode conter dezenas ou centenas de nodos. Após a recepção desse subconjunto, o nodo contata os representantes desta lista com o intuito de formar parcerias. Com as parcerias estabelecidas, pode-se iniciar a solicitação de segmentos de vídeo aos parceiros.

Um nodo pode, sempre que necessário, solicitar uma nova lista de participantes ao rastreador. A necessidade de solicitação de uma nova lista de participantes pode ocorrer, por exemplo, em resposta à perda de parceiros (ex: devido às suas saídas do sistema), ou para aumentar a qualidade da transmissão (ex: formando novas parcerias com nodos que ofereçam uma qualidade de comunicação melhor). Essas e outras ações fazem com que o esquema baseado em malha provoque uma sobrecarga maior de mensagens na rede, em comparação com um sistema baseado em árvore. A Figura 2.3 ilustra uma rede P2P baseada em malha. Note que nessa figura todos os nodos podem enviar e receber conteúdo a todos os parceiros, com exceção do servidor que apenas envia conteúdo e nunca recebe.

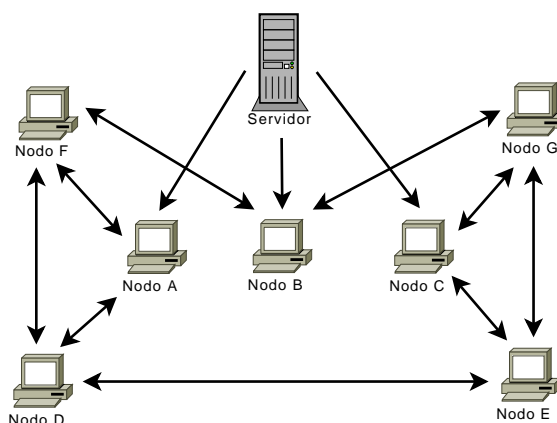


Figura 2.3. Rede P2P Baseada em Malha para Transmissão de Fluxo de Vídeo

Nos sistemas baseados em árvores, o fluxo de vídeo é transmitido da fonte para os nodos, de acordo com a árvore de transmissão. Nos sistemas baseados em malha o

conteúdo do vídeo é dividido em vários segmentos (*chunks*), cada um contendo uma parte do vídeo. Esses segmentos são numerados. Os segmentos de menor valor devem ser reproduzidos primeiro. Porém, os segmentos podem chegar fora de ordem a um nodo, uma vez que eles podem ser recebidos de nodos em diferentes localidades.

Existem basicamente duas maneiras de realizar a troca de segmentos neste tipo de sistema: *push* e *pull*. Sistemas baseados em malha que utilizam a abordagem *push* para troca de segmentos são também conhecidos na literatura como *mesh-push* [Liu et al., 2008; Bracciale et al., 2008]. Os nodos de um sistema *mesh-push* devem transmitir cada segmento recebido a seus parceiros que ainda não possuem esse segmento, o que não é uma tarefa trivial em um sistema baseado em malha. Uma rede em forma de malha não apresenta, por exemplo, estrutura claramente definida do tipo “pai e filho”, como ocorre numa árvore de transmissão. Isso torna a tarefa de identificação dos pares que ainda não possuem determinado segmento do vídeo mais difícil. Nesse caso, para essa identificação é necessário que o agendamento de transmissão de segmentos entre parceiros seja cuidadosamente planejado [Liu et al., 2008; Zhang et al., 2005a]. Mesmo assim essa abordagem pode levar ao desperdício de banda de rede do sistema, uma vez que dois nodos podem enviar o mesmo segmento para um mesmo parceiro. Uma forma de tratar esse problema é a utilização de uma abordagem denominada *pull*. Sistemas baseados em malha que utilizam essa abordagem são denominados *mesh-pull* [Zhang et al., 2005b]. Nessa estratégia, os nodos periodicamente anunciam a seus parceiros os segmentos que eles possuem. Com isso, cada nodo deve explicitamente solicitar os segmentos de vídeo de seu interesse a seus parceiros. Com isso evita-se a redundância na transmissão de segmentos. Entretanto, aumenta-se a sobrecarga na rede devido às mensagens de anúncios e solicitações de segmentos.

Existe ainda uma abordagem denominada *push-pull*, proposta para o sistema GridMedia [Zhang et al., 2005a]. Essa abordagem é uma união das abordagens *mesh-pull* e *mesh-push*. São ainda representantes da classe de sistemas para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo baseados em malha: Coolstreaming, Anysee [Liao et al., 2006], PPLive, SOPCast [SopCast, 2009], PPStream [PPStream, 2009], UUSee [UUSee, 2009], Prime [Magharei & Rejaie, 2007], TVAnts [TVAnts, 2009], VVsky [VVsky, 2009], entre outros.

2.1.2.3 Sistemas Híbridos

Sistemas baseados em malha destacam-se pela sua simplicidade na construção e manutenção da rede P2P, porém essas topologias apresentam, dentre outros problemas, maior número de mensagens trafegadas na rede [Zhang et al., 2005a; Venkataraman et al.,

2006]. Já os sistemas baseados em árvores geralmente não causam sobrecarga significativa de mensagens na rede, mas sofrem com a instabilidade da formação da rede P2P. Com isso, alguns trabalhos apresentaram abordagens que utilizam a combinação das estratégias baseadas em árvores e malha em suas soluções, visando aproveitar as vantagens que cada uma oferece.

Os trabalhos apresentados em Venkataraman et al. [2006] e Wang et al. [2007] são exemplos dessa classe de sistemas híbridos.

2.2 Transmissão de Fluxo de Vídeo Pré-Armazenado

Serviços que oferecem a transmissão de fluxos de vídeo pré-armazenados (ou vídeo sob demanda - VOD) possibilitam aos usuários assistir um vídeo (ou trechos de um vídeo) previamente armazenado a qualquer momento. Nesse tipo de sistema, mesmo que várias pessoas estejam assistindo o mesmo vídeo, cada usuário pode estar assistindo uma parte diferente desse vídeo, pois não necessariamente iniciaram a visualização ao mesmo tempo, ou o sistema pode permitir interatividade para se escolher uma parte específica do vídeo.

Assim como na transmissão de fluxo de vídeo ao vivo, a transmissão de fluxo de vídeo pré-armazenado também pode ser realizada através de arquiteturas cliente/servidor, ou arquiteturas P2P.

2.2.1 Transmissão Através de Arquiteturas C/S

Os sistemas que realizam transmissão de vídeo pré-armazenado através de redes do tipo cliente/servidor, geralmente também são baseados na Web. Como nos sistemas para transmissão de fluxos de vídeo ao vivo, as CDNs também podem ser utilizadas para transmissão de fluxos de vídeo pré-armazenado, apresentando um funcionamento semelhante ao descrito em 2.1.1.

Nesta categoria existem ainda protocolos baseados no conceito de *multicast*, como *Patching* e *Bandwidth Skimming*, para a transferência do fluxo de vídeo desejado. Os protocolos *Patching* [Cai et al., 1999; Cai & Hua, 2003; Hua et al., 1998] e *Bandwidth Skimming* [D. Eager, 2000; Eager et al., 2001] permitem uma redução significativa dos requisitos de banda, como também oferecem acesso imediato ao serviço para os clientes. Esses resultados, economia de banda e serviço imediato, baseiam-se no mesmo princípio, comum aos dois protocolos: permitir que os clientes recebam dois fluxos simultâneos.

O primeiro fluxo é exibido de imediato pelo programa cliente (o *player*) para o usuário. O segundo fluxo é recebido por antecipação e armazenado em *buffer* para exibição futura. Esse fluxo permite que esse cliente *alcance* o cliente que já esteja recebendo o segundo fluxo. Quando o primeiro fluxo atinge o ponto em que o segundo começou a ser armazenado, diz-se que ocorreu a união dos fluxos. O primeiro fluxo pode ser desconectado, a exibição passa a ser feita a partir do *buffer*, e este segundo fluxo é compartilhado pelos clientes até o fim da exibição do conteúdo [de Melo Rocha, 2007].

Apesar da existência desses protocolos, sua utilização em sistemas reais para transmissão de vídeo pré-armazenado em arquiteturas C/S não é comum. Sistemas desta categoria comumente utilizam transmissões *unicast*.

Assim como os sistemas para transmissão de fluxos de vídeo ao vivo, podemos classificar os sistemas para transmissão de fluxos de vídeo pré-armazenados em dois grupos: sistemas que permitem a participação dos usuários na geração do conteúdo e sistemas que não permitem a participação dos usuários.

2.2.1.1 Com a Participação dos Usuários

A participação dos usuários nesse tipo de sistema é ilustrada na Figura 2.4. Como podemos observar nessa figura, o usuário A primeiramente produz algum vídeo. Em seguida ele transmite esse conteúdo a um servidor, que por sua vez é responsável por mantê-lo e disponibilizar seu acesso a outros usuários, situação representada na etapa 1 dessa figura. Como podemos perceber ainda, os usuários B e C estão recebendo o mesmo vídeo, porém em momentos diferentes, situação representada pela etapa 2 da Figura 2.4. Podemos ainda perceber que os usuários B e C realizaram uma conexão única com o servidor (situação típica na maioria dos sistemas deste tipo).

Representantes dessa categoria de sistemas são: YouTube, DailyMotion [DailyMotion, 2009], Veoh Networks [Veoh, 2009], Videolog (sediado no Brasil) [VideoLog, 2009], entre outros.

Não foi encontrado nenhum sistema dessa categoria que fosse baseado em *multicast*.

2.2.1.2 Sem a Participação dos Usuários

Nos sistemas que não possibilitam a participação dos usuários, o conteúdo é produzido por um provedor de conteúdo. O funcionamento desse sistema é bastante semelhante ao abordado na Seção 2.2.1.1, ilustrado pela Figura 2.4. No entanto a única diferença é que nestes sistemas a etapa 1 mostrada na figura não é realizada pelo usuário, e sim pelo provedor de conteúdo.

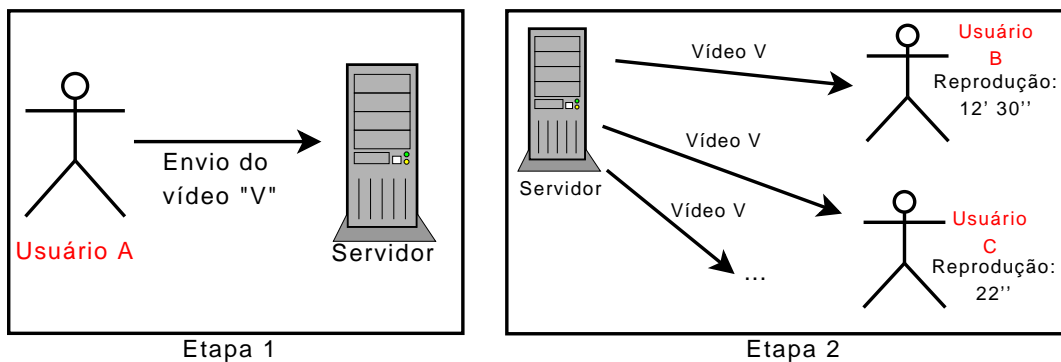


Figura 2.4. Participação dos Usuários no Envio de Vídeos Pré-Armazenados

Para essa categoria também não encontramos sistemas que realizam *multicast* a nível de aplicação, para a entrega do conteúdo aos usuários. Foram encontrados apenas exemplos de sistemas que realizam uma conexão única entre o servidor e cada usuário: Globo Vídeos [Globo, 2009], CNN video [CNN, 2009] e BBC News [BBC, 2009].

2.2.2 Transmissão Através de Arquiteturas P2P

Como mencionamos anteriormente, mesmo que várias pessoas estejam assistindo o mesmo vídeo, cada usuário pode estar assistindo uma parte diferente do vídeo, ou seja, elas não estarão sincronizadas. Isso torna a criação de uma infra-estrutura P2P para transmissão de fluxo de vídeo pré-armazenado, a usuários não sincronizados, uma tarefa desafiadora.

Assim como para transmissão de vídeo ao vivo, existem soluções baseadas em árvores e em malha.

2.2.2.1 Sistemas Baseados em Árvores

Podemos citar duas estratégias de transmissão de vídeos pré-armazenados baseadas em árvores: uma baseada na técnica *patching* e uma baseada no uso de *caches*.

- **Estratégia baseada em *patching*:** Guo et al. [2003b] propuseram um esquema que utiliza árvores de transmissão P2P para suportar nodos não sincronizados em um serviço de transmissão de vídeo pré-armazenado. O esquema proposto foi inspirado na técnica *patching*, que foi originalmente proposta para suportar serviços de transmissão de vídeo pré-armazenado usando *multicast*.

Nesta estratégia, os nodos são agrupados em sessões de acordo com seu instante de chegada. Um limite Δ é definido. Os nodos que chegam em instantes dentro da

mesma janela de tempo Δ constituem uma sessão. Nodos pertencentes à mesma sessão formam uma rede P2P estruturada em formato de árvore, que recebe o nome de árvore base. O servidor, por sua vez, transfere o fluxo de vídeo para cada árvore base, da mesma forma como foi mencionado na Seção 2.1.2.1.

Quando um nodo entra no sistema, ele se conecta a uma árvore base e recupera o fluxo de vídeo fornecido nessa árvore. No entanto, o nodo necessitará recuperar parte do vídeo (*patch*), já transmitido desde o instante que ele se juntou a determinada árvore. Um *patch* pode ser disponibilizado tanto pelo servidor, como por outros nodos que já realizaram o armazenamento do *patch*. Precisamos ressaltar que na árvore base de transmissão os nodos são sincronizados.

- **Estratégia baseada em *cache*:** Para tratar o problema da falta de sincronização dos nodos em uma transmissão de conteúdo pré-armazenado, os representantes dessa estratégia utilizam uma técnica denominada *caches em intervalos* [Kamath et al., 1995; Dan & Sitaram, 1996]. Os nodos nesses sistemas armazenam um *buffer* de fluxo de vídeo em um intervalo próximo de seu ponto de reprodução atual. Esse *buffer* possui um tamanho fixo, e apresenta um comportamento de janela deslizante. Com isso é possível construir uma estrutura para servir outros nodos que possuam seu ponto de reprodução dentro do intervalo do *buffer*. Os nodos formam árvores de transmissão, compostas por nodos que são capazes de servir o fluxo de vídeo a outros nodos, sem o auxílio do servidor.

Os trabalhos apresentados em Sharma et al. [2005], Guo et al. [2008], Guo et al. [2003a], Cui et al. [2004] e Jin & Bestavros [2002] realizaram contribuições relacionadas à estratégia baseada em *cache*.

2.2.2.2 Sistemas Baseados em Malha

O funcionamento de sistemas de transmissão de vídeo pré-armazenado, baseado em arquitetura P2P em formato de malha, é similar ao funcionamento de sistemas equivalentes para transmissão de vídeo ao vivo. No entanto, existem algumas particularidades que precisam ser tratadas de forma diferente. Numa transmissão de fluxo de vídeo ao vivo, todos os nodos estão interessados na mesma parte do vídeo. Qualquer segmento de vídeo que um nodo possua é geralmente útil a todos os nodos que ainda não o possui. Já numa transmissão de fluxo de vídeo pré-armazenado, se a aquisição de segmentos de vídeo for feita na ordem de reprodução, um nodo recém chegado à transmissão pode contribuir pouco para o sistema, uma vez que ele não terá o conteúdo que os nodos que chegaram antes necessitam. Nessa situação, apenas os nodos que chegaram antes dos

nodos recentes podem fornecer conteúdo a eles. À medida que o tempo passa um nodo possui cada vez mais conteúdo, podendo servir mais nodos. No entanto, o número de nodos que podem contribuir para esse nodo decresce ao longo do tempo, pois muitos deles chegaram antes na transmissão e podem ter finalizado a visualização do conteúdo. Essa e outras questões são importantes para essa classe de sistemas, sendo tratadas em trabalhos como Annapureddy et al. [2007] e Dana et al. [2005].

2.3 Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão discutidos os trabalhos de maior relevância, disponíveis na literatura, relacionados à proposta desta dissertação. As seções 2.3.1 e 2.3.2 discutem trabalhos que realizaram caracterizações de sistemas de transmissão de fluxos de vídeo ao vivo e pré-armazenados respectivamente. A Seção 2.3.3 discute as propostas e comparações de estratégias de transmissão de vídeo ao vivo na Internet. Por fim, a Seção 2.3.4 aborda as soluções propostas para o problema de mudança de canais (que pode ocorrer um número significativo de vezes, como observado pela caracterização a ser apresentada no capítulo 3, bem como em outros trabalhos), tanto em sistemas do tipo IPTV, como sistemas do tipo P2PTV.

Vale ressaltar aqui as diferenças entre IPTV e P2PTV. Em um sistema de IPTV existe uma infra-estrutura própria para a transmissão do conteúdo, que é projetada para oferecer uma boa qualidade de serviço. Já um sistema P2PTV, representante da classe InternetTV, utiliza a própria infra-estrutura da Internet e, portanto, não oferece garantias de qualidade de serviço. Sistemas P2PTV possuem ainda a particularidade de operarem em uma rede Par-a-Par.

2.3.1 Caracterização de Sistemas para Transmissão de Fluxos de Vídeo ao Vivo

Diversos trabalhos caracterizaram sistemas que oferecem acesso a fluxos de vídeo ao vivo na Internet. Nas seções 2.3.1.1 e 2.3.1.2 apresentaremos trabalhos que estudaram sistemas que não permitem e os que permitem a participação dos usuários na geração de conteúdo, respectivamente.

2.3.1.1 Sem a Participação dos Usuários

Todos os sistemas estudados nos trabalhos mencionados a seguir são baseados em arquiteturas cliente/servidor.

Em Veloso et al. [2006], os autores estudaram a carga de trabalho de um servidor comercial de fluxos de vídeo ao vivo localizado no Brasil. O foco do estudo foi a caracterização do processo de chegadas de sessões de usuários, bem como dos tempos destas sessões com o intuito de utilizar os resultados em um gerador de cargas sintéticas realistas. Os autores consideraram um modelo composto por períodos de atividade (quando o usuário recebe mídia) intercalados por períodos de inatividade, disparados por alguma ação do usuário (como pausa). Alguns dos principais resultados obtidos são: (1) o processo de chegada dos usuários segue uma distribuição Poisson; (2) os períodos de atividade são bem modelados por uma distribuição Lognormal; (3) os períodos de inatividade são bem modelados por uma distribuição Exponencial¹.

Em Sripanidkulchai et al. [2004], foi caracterizada uma carga de trabalho de fluxos de vídeo e áudio ao vivo de uma grande CDN, o que possibilitou a análise de uma ampla diversidade de conteúdos. Mais de 90% do conteúdo analisado foi apenas áudio. Observou-se que a popularidade dos conteúdos segue uma distribuição Zipf de dois modos. Foi também observado que os clientes entram no sistema de acordo com uma distribuição Exponencial e que a duração das sessões dos usuários apresenta cauda pesada.

Em Cha et al. [2008], os autores apresentam o que eles clamam ser a primeira análise do maior sistema de IPTV do mundo. O trabalho foca na análise do padrão de visualização do conteúdo do sistema pelos usuários. Foram consideradas 250.000 casas (cada casa pode ter mais de 1 usuário), por um período de 6 meses. Dentre os principais resultados, os autores observaram a ocorrência de um elevado número de sessões de curta duração (até 10 segundos aproximadamente 60%), que eles consideram ser provenientes de mudanças de canais (período em que o usuário está surfando entre canais com a finalidade de escolha de algum desses canais). Os autores identificaram que a maioria das mudanças de canais não leva o usuário a efetivar a escolha da visualização desse novo canal, procedimento que pode sobrecarregar a rede com sessões de mudanças de canais supérfluas. Além disso, os autores analisaram os processos de chegada e partida dos usuários no sistema, identificando um comportamento bastante dinâmico, que por sua vez impõe sérios desafios na construção de um sistema de IPTV baseado em P2P.

2.3.1.2 Com a Participação dos Usuários

A maioria dos trabalhos nesta categoria enfatiza sistemas baseados em arquiteturas P2P, com foco particular em características das redes sobrepostas que a constituem. No

¹PDF: $\lambda e^{-\lambda x}$

entanto, alguns trabalhos também abordam aspectos do comportamento dos usuários.

Em Hei et al. [2007], os autores realizaram uma análise de um sistema de transmissão de fluxos de vídeo ao vivo bastante popular atualmente na Internet, o PPLive. Foram analisadas questões específicas da arquitetura do sistema analisado, bem como o comportamento dos usuários nesse sistema. Os autores identificaram o tempo de sessão dos usuários tanto em canais mais populares quanto em canais pouco populares do sistema. Além disso, também observaram que um dos principais problemas enfrentados pelos usuários é o longo tempo de inicialização da transmissão (*startup delay*), podendo variar de segundos a alguns minutos.

Li et al. [2007] analisaram uma versão comercial do CoolStreaming, que foi denominada CoolStreaming+. Foi analisado o impacto das técnicas empregadas para a formação da rede Par-a-Par no desempenho geral do sistema. Os resultados obtidos indicam que as altas taxas de entrada e saída de usuários, e o atraso inicial de reprodução do fluxo de vídeo, são os principais problemas de desempenho do sistema. Os autores ainda propuseram algumas possíveis soluções para a questão do longo atraso de inicialização da transmissão, defendendo que sistemas para transmissão de fluxos de vídeo ao vivo de grande porte devem contar com servidores de apoio em sua arquitetura, formando, assim, uma espécie de CDN, não sendo recomendado utilizar uma arquitetura de rede puramente P2P.

Em Silerston & Fourmaux [2007], os autores analisaram o tráfego dos principais sistemas para transmissão de fluxo de vídeos baseados em arquiteturas P2P, a saber, PPLive, SOPCast, TVAnts e PPStream. Foi possível identificar diferentes padrões do tráfego gerado pelos sistemas analisados. Dentre os principais resultados, observou-se que o tempo de vida dos usuários no sistema é melhor caracterizado por uma distribuição Weibull ²

Em Sripanidkulchai [2005], os autores analisaram um sistema para transmissão de fluxo de vídeo denominado ESM (*End System Multicast*). No período em que foram realizadas as análises, os canais do ESM atraíam uma média de 100 a 1000 usuários simultâneos, e os dados analisados apresentavam uma grande diversidade de usuários que eram provenientes de mais de 15 países. Os autores identificaram que o processo de chegada dos usuários segue uma distribuição Exponencial, e que a duração das sessões dos usuários segue uma distribuição Lognormal.

O trabalho realizado em Ali et al. [2006] foi um dos primeiros a estudar sistemas comerciais baseados em redes P2P para transmissão de fluxo de vídeo ao vivo. O foco do trabalho foi a análise do tráfego dos sistemas PPLive e SOPCast. Os autores

²PDF: $\left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$ $\alpha, \beta, x > 0$

mostraram que essas aplicações não lidam bem com bandas de rede heterogêneas, e que não há justiça na contribuição de banda de rede dos nodos, necessária para se repassar os fluxos recebidos.

Em Silverston & Fourmaux [2006], realizou-se uma comparação de quatro sistemas comerciais, a saber, PPlive, SOPCast, TVAnts, PPStream, durante um mesmo evento (Copa do Mundo). Apesar dos resultados serem preliminares, os autores observaram que a duração das sessões dos usuários, para todos os sistemas, era melhor representada por uma distribuição Weibull. Além disso, foi também notado que, não mais que 10% de todos os nodos participantes permaneceram durante toda a transmissão analisada em todos os sistemas considerados.

Em Vu et al. [2007], os autores analisaram o sistema PPlive. O estudo revelou que o número de vizinhos de um nodo no sistema independe do número de usuários de um determinado canal. Foi mostrado também que, para canais com até 500 espectadores, a formação da rede sobreposta apresenta um padrão aleatório de interligação dos nodos.

A caracterização realizada nesta dissertação se diferencia de todas as apresentadas nesta seção pois levamos em consideração um sistema que oferece conteúdo ao vivo, gerado pelos usuários, com uma arquitetura baseada na Web 2.0.

2.3.2 Caracterização do Comportamento de Usuários de Sistemas de Transmissão de Vídeos Pré-Armazenados

Existem diversos trabalhos na literatura destinados ao estudo de sistemas para transmissão de vídeos pré-armazenados na Internet. A seguir, na Seção 2.3.2.1 apresentamos os trabalhos que estudam sistemas que não permitem a participação dos usuários na geração de conteúdo. Na Seção 2.3.2.2 discutimos os trabalhos que estudam sistemas que permitem a participação dos usuários.

2.3.2.1 Sem a Participação dos Usuários

Vários trabalhos se enquadram nessa categoria, no entanto iremos discutir apenas alguns representantes. Todos os sistemas discutidos nos trabalhos que serão citados a seguir operam em uma arquitetura cliente/servidor.

Em Padhye & Kurose [1998] os autores estudaram o padrão de comportamento dos usuários em um servidor de vídeos. Foi caracterizado o comportamento em nível de sessão (ex: duração das sessões de usuários), como também o comportamento de interação (ex: o tempo entre início/finalização/pausas, número de avanços na reprodução). Uma sessão foi classificada como uma sequência de períodos ativos (isto é,

quando o usuário está recuperando a mídia), intercalados por períodos de inatividade (isto é, quando nenhum conteúdo está sendo transmitido para o usuário). Os autores concluíram que as distribuições dos períodos de atividade e períodos de inatividade apresentavam características de distribuições de cauda pesada, sendo bem modeladas por distribuições Lognormal³ ou Gamma⁴.

Almeida et al. [2001] realizaram suas análises em cargas de trabalho de dois servidores de conteúdo educacional, de renomadas universidades americanas. Durante períodos aproximadamente estacionários de taxa de chegada de usuários, o processo de chegada de sessões foi observado ser aproximadamente Poisson⁵, e o tempo entre requisições de interatividade seguiam uma distribuição de Pareto⁶. Foi observado também que a popularidade dos objetos analisados era melhor modelada por uma distribuição Zipf de dois modos.

Em Costa et al. [2004], os autores realizaram uma extensão do trabalho apresentado em Almeida et al. [2001], focando principalmente no comportamento de interatividade dos usuários em sistemas para transmissão de mídia pré-armazenada. As cargas de trabalho analisadas representam três diferentes tipos de conteúdo, educacional, entretenimento baseado em áudio e entretenimento baseado em vídeo. Foram encontrados inúmeros resultados, dentre eles o que mostra que a probabilidade de um cliente pausar, avançar ou voltar um conteúdo depende fortemente da interação realizada imediatamente antes dentro da mesma sessão, e não no número de requisições efetuadas desde o início da sessão.

Especificamente com relação ao estudo da popularidade do conteúdo analisado, podemos citar Acharya & Smith [2000], que realizou suas análises baseadas em acessos de usuários a vídeos transmitidos na WEB, e Chesire et al. [2001], que analisou uma carga de trabalho de um servidor de fluxo de mídia de uma grande empresa. O primeiro trabalho identificou que a popularidade do conteúdo não segue uma distribuição Zipf, já o segundo trabalho observou que a popularidade do conteúdo analisado segue uma distribuição Zipf.

Representam também essa classe de trabalhos Chervenak et al. [1999], Yu et al. [2006] e Cherkasova & Gupta [2002].

³Função de densidade de probabilidade (PDF): $\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$

⁴PDF: $\frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} x^{r-1} e^{-\lambda x}$

⁵Função massa de probabilidade (PMF): $\frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$

⁶PDF: $\frac{\alpha\beta^\alpha}{x^{\alpha+1}}$ para $x > \beta$ e $\alpha, \beta > 0$

2.3.2.2 Com a Participação dos Usuários

A geração de conteúdo por parte dos usuários, em oposição à geração de conteúdo profissional de algumas poucas grandes empresas, é a chave para o sucesso de vários serviços da Web 2.0 atual. Devido ao significativo crescimento na produção de vídeos amadores e o consequente aumento do tráfego gerado por eles, vários trabalhos buscam entender melhor esse novo fenômeno, por exemplo, estudando o comportamento dos usuários. Nessa classe de trabalhos também existem vários representantes, no entanto discutiremos apenas os mais relevantes. Todos os sistemas considerados nos estudos a seguir são baseados em arquitetura C/S.

Em Duarte et al. [2007] foram analisadas as características dos vídeos e dos usuários de diferentes regiões geográficas. Focou-se em particular no estudo dos usuários localizados na América Latina. Os autores enfatizaram seus esforços na identificação de redes sociais formadas a partir de relacionamentos ocorridos no YouTube. Foram mostradas evidências de que a localidade dos usuários pode ser explorada para melhorar a infra-estrutura utilizada pelo provedor do serviço.

Os autores em Gill et al. [2007] analisaram o tráfego do YouTube sob duas perspectivas: local, na Universidade de Calgary no Canadá, e global, a partir da lista dos 100 vídeos mais vistos, que é disponibilizada no *website* do YouTube. Os autores mostram que a utilização de *cache* traz benefícios para os usuários e provedores de conteúdo.

Em Cha et al. [2007], os autores realizaram extensas análises do YouTube, representando, segundo os autores, o primeiro grande trabalho para um melhor entendimento de sistemas que permitem a participação dos usuários na geração de conteúdo. Baseado no estudo do comportamento dos usuários foram identificados elementos chaves que auxiliam em uma melhor compreensão, por exemplo, da popularidade do conteúdo. Os autores também realizaram análises em relação ao uso de estratégias P2P e de um melhor uso de *caches*, com o intuito de tornar esse tipo de sistema mais eficiente.

Em Maia et al. [2008], foram avaliados quatro sistemas para transmissão de fluxo de vídeo pré-armazenado, o YouTube, o DailyMotion, o Veoh Networks e o Videolog (sediado no Brasil). Foi proposta uma estratégia de *caching* que explora tanto a popularidade quanto a “recência” dos vídeos.

Em Saxena et al. [2008] os autores apresentaram uma comparação entre o YouTube, o Dailymotion e o Metacafe Metacafe [2009]. O foco das análises realizadas foi inferir sobre o sistema de transmissão de conteúdo utilizado por tais aplicações, como também identificar como as metas-informações associadas a um vídeo impactam no seu armazenamento e transmissão.

Também são representantes dessa classe de trabalhos Benevenuto et al. [2008] e Cheng et al. [2007].

2.3.3 Novas Estratégias de Transmissão de Fluxos de Vídeo ao Vivo

Sabendo das vantagens e desvantagens de abordagens baseadas em árvore e de abordagens baseadas em malha, discutidas na Seção 2.1, alguns trabalhos desenvolveram novas soluções, que almejam aproveitar as vantagens de cada uma dessas abordagens. Todos esses trabalhos realizam comparações entre diferentes abordagens para transmissão de vídeo ao vivo, principalmente com o intuito de contrastar suas estratégias propostas com as existentes.

Em Venkataraman et al. [2006], os autores propuseram uma nova estratégia capaz de associar a eficiência proporcionada pelos sistemas baseados em árvores, com a escalabilidade dos sistemas baseados em malha, para transmissão de vídeo ao vivo. Foi realizada uma comparação dessa nova estratégia com um sistema que constrói uma rede P2P baseada em árvores com apoio de uma *Distributed Hash Table* (DHT), o SplitStream [Castro et al., 2003]. Mostrando que a nova estratégia apresenta resultados equivalentes ou melhores em relação à latência e resposta a um comportamento dinâmico dos usuários. No entanto, os autores não realizaram uma comparação de sua estratégia com um sistema “tradicional” baseado em malha, assim não é possível dizer que essa nova estratégia é superior a uma baseada puramente em malha.

Em Wang et al. [2007], os autores propuseram uma arquitetura híbrida, combinando componentes da arquitetura de árvore com componentes da arquitetura de malha. A idéia chave dessa estratégia é encontrar parceiros estáveis no sistema para formar uma árvore de transmissão. O desempenho da nova estratégia proposta foi comparado com soluções existentes baseadas exclusivamente em redes P2P estruturadas ou não estruturadas. Através de simulações e experimentação real, executada com o auxílio do PlanetLab [PlanetLab, 2009], os autores apresentaram melhorias em relação ao tempo inicial de configuração, com o auxílio de sua nova estratégia.

Em Zhou & Liu [2005], também foi proposta uma nova estratégia, porém neste caso os autores enfatizaram a transmissão de vídeos pré-armazenados. A estratégia denominada HON (derivada de *Hybrid Overlay Network*) combina os benefícios de topologias baseadas em árvore, alcançando menores atrasos na transmissão, como os de topologias baseadas em malha, usufruindo da sua robustez. Os autores, através de simulação, compararam sua solução com uma baseada puramente em árvores. Os resultados obtidos mostraram que a estratégia HON apresenta um melhor desempenho

mesmo em situações com um alto grau de dinamismo na rede.

No que tange à avaliação de estratégias de transmissão de fluxos de vídeo ao vivo, nosso trabalho se diferencia dos demais pois não temos o foco específico em arquiteturas P2P. Ao contrário, nós propomos novas estratégias híbridas que combinam uma arquitetura centralizada cliente/servidor com uma arquitetura descentralizada do tipo P2P, e realizamos uma avaliação quantitativa do custo-benefício dessas estratégias juntamente com as estratégias tradicionais cliente/servidor e P2P pura. Nesta avaliação, consideramos métricas relativas à qualidade de serviço provido aos clientes (índice de continuidade e tempo inicial de configuração) e ao consumo de banda de rede do sistema como um todo (servidor e nodos participantes).

2.3.4 Soluções para Minimizar o Impacto da Mudança de Canais

Estudos relacionados a atrasos na Web mostraram que um atraso acima de 10 segundos, em resposta a alguma requisição, encoraja os usuários a pensarem que tenha havido algum erro [Bouch et al., 2000; Nielsen, 1994]. Especificamente com relação ao atraso devido às mudanças de canais, Kooij et al. [2006] mostrou que os atrasos a partir de 5 segundos são considerados insatisfatórios em um sistema de IPTV, sendo que um tempo ideal não deve ultrapassar 0,43 segundos. Como essas mudanças de canais são frequentes [Cha et al., 2008], e o tempo gasto entre essas mudanças de canais pode variar entre 0,9 a 70 segundos [Technologies, 2005], isso se torna um problema, pois afeta a qualidade de serviço provida aos usuários.

Com base nisso, recentemente vários trabalhos apresentaram contribuições referentes a esse assunto. Podemos dividi-los em duas classes, trabalhos que tratam de sistemas IPTV e trabalhos que abordam sistemas de InternetTV.

Com relação aos trabalhos que realizam estudos referentes ao processo de mudança de canais dos usuários, focando-se especificamente em sistemas de IPTVs, existem várias abordagens. Os autores em Kooij et al. [2006] propuseram um modelo que dado o tempo de mudança de canais é capaz de fornecer a satisfação média dos usuários. A princípio o modelo poderia ser aplicado a qualquer sistema de TV que não tenha um tempo de mudança de canais instantâneo.

Outros trabalhos propuseram contribuições especificamente para a redução do tempo de mudanças de canais [Cho et al., 2004; Kim et al., 2008; Lee et al., 2007]. Em linhas gerais, estas propostas realizam o pré-carregamento de canais “favoráveis”. Dois canais C_1 e C_2 são considerados favoráveis caso haja uma alta probabilidade de que o canal C_2 seja selecionado logo após uma mudança de canal, interrompendo a

visualização do canal C_1 . Foram apresentadas várias estratégias de identificação de canais favoráveis. Por exemplo, baseando-se na temática do canal, se um usuário está assistindo um canal relacionado a esporte, um canal favorável seria outro canal de esporte. Outra possibilidade poderia ser baseada no próximo canal esperado, de acordo com alguma sequência lógica. Por exemplo, se o usuário está assistindo o canal 34, um canal favorável seria o 35. Outras estratégias foram propostas em Jung et al. [2005], Boyce & Tourapis [2005], Jennehag & Zhang [2004] e Bejerano & Koppol [2009].

Já a segunda classe de trabalhos tem por foco a proposição de soluções para as mudanças de canais em sistemas que operam na Internet, especificamente utilizando uma arquitetura P2P (P2PTV). Em Di Wu & Ross [2009], os autores propuseram uma estratégia que separa o conteúdo que é recebido do que é fornecido pelo usuário, possibilitando uma troca de recursos entre nodos que estão em canais diferentes. Segundo simulações realizadas, foi mostrado que a qualidade do sistema é menos afetada devido às mudanças de canais, e que o tempo gasto na mudança pode ser reduzido, quando comparado ao de um sistema que não implementa a estratégia proposta.

Em Kermarrec et al. [2009], os autores propuseram um algoritmo que cria conexões de um nodo com outros nodos, que pertencem a redes referentes a canais diferentes. Na formação de parcerias com nodos pertencentes a outros canais, a proposta leva em consideração os canais favoráveis. Assim, numa eventual mudança de canal o nodo pode já possuir bons contatos⁷ no novo canal, reduzindo assim o tempo gasto durante mudanças de canais.

Como foi possível perceber, muito já se contribuiu para o problema de mudança de canais em sistemas do tipo IPTV. No entanto, poucos esforços foram realizados para um sistema do tipo P2PTV. Uma das contribuições dessa dissertação é uma estratégia que visa a redução do tempo gasto pelas mudanças de canais para um sistema do tipo P2PTV. Nossa estratégia se diferencia das demais propostas, pois leva em consideração uma abordagem híbrida, combinando uma arquitetura centralizada com uma arquitetura descentralizada, como será detalhada posteriormente. Nossa estratégia possui uma vantagem de ser mais simples e mais flexível, uma vez que não necessita alterar os protocolos para formação das redes P2P de transmissão de vídeo ao vivo atuais, sendo assim mais facilmente aplicável a qualquer sistema dessa categoria.

⁷Nodos que possuem capacidade de fornecer um serviço de melhor qualidade, por exemplo, com boa capacidade de *upload*.

Capítulo 3

Caracterização do Comportamento de Espectadores de um Sistema de Vídeo ao Vivo

Este capítulo apresenta a nossa caracterização do comportamento de espectadores de um sistema real de transmissão de vídeos ao vivo gerados por usuários - o YahooLive. A Seção 3.1 apresenta o sistema alvo deste estudo, detalhando o modelo de interação do usuário. A Seção 3.2 apresenta os procedimentos realizados na aquisição e tratamento dos dados. A Seção 3.3 apresenta uma visão geral da utilização do sistema por todos os usuários que usufruíram do serviço no período analisado. A Seção 3.4 analisa a participação dos usuários no sistema. E por fim, a Seção 3.5 analisa o impacto referente à popularidade dos canais no sistema.

Ao longo deste capítulo mostraremos os resultados de vários ajustes de curvas, para a identificação da melhor distribuição para modelar algum processo. Para esse procedimento, utilizamos o *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) [Myung, 2003] para estimativa dos parâmetros das distribuições. A escolha da distribuição que melhor se adequava aos dados foi feita através de uma inspeção visual nas diversas distribuições consideradas, bem como levamos em consideração também o critério AIC, que é uma ferramenta para o auxílio na seleção de modelos estatísticos [Akaike, 1974].

3.1 O Sistema Analisado

Neste trabalho estamos interessados em sistemas que realizam transmissões de fluxos ao vivo baseados em uma arquitetura cliente/servidor e que contam com a participação

dos usuários na geração e transmissão de conteúdo. Alguns dos sistemas pertencentes a esta categoria e que, portanto, poderiam ser escolhidos para nossa análise são Justin.tv, BlogTv.com, Mogulus.com e YahooLive.

No primeiro semestre de 2008, iniciamos uma série de coletas e análises em três sistemas candidatos, a saber: Justin.tv, Mogulus.com e YahooLive. Para tanto, implementamos uma ferramenta coletora específica para cada sistema, cujo objetivo era coletar, periodicamente, o número de usuários simultâneos no sistema. A periodicidade das coletas foi de 20 segundos. Especificamente para o sistema YahooLive utilizamos uma API fornecida pelo próprio sistema, que proporcionava acesso às informações desejadas. Para os demais sistemas a informação de interesse foi obtida no código fonte das páginas Web do sistema.

A Figura 3.1 mostra o resultado dessas coletas, exibindo o número máximo de usuários simultâneos observados ao longo dos dias em cada sistema monitorado. Como podemos observar o Justin.tv, já naquela época, demonstrava ser bem mais popular que os outros dois. Porém, o YahooLive foi escolhido pelo crescimento de sua popularidade, como será apresentado no decorrer deste capítulo, bem como por ser o único a disponibilizar as informações necessárias para realização do nosso trabalho, tais como: todos os canais ao vivo em determinado instante, a identificação de todos os usuários conectados a esses canais, entre outras.

O YahooLive, criado em Fevereiro de 2008, é um serviço que permite, de forma bastante simplificada, transmissões de fluxos de vídeo ao vivo na Web, sem nenhum custo financeiro para o usuário. O sistema ainda oferece a possibilidade de interação com os espectadores através de um sistema de bate-papo em modo texto e/ou através de vídeo, caso o espectador possua uma câmera e um microfone.

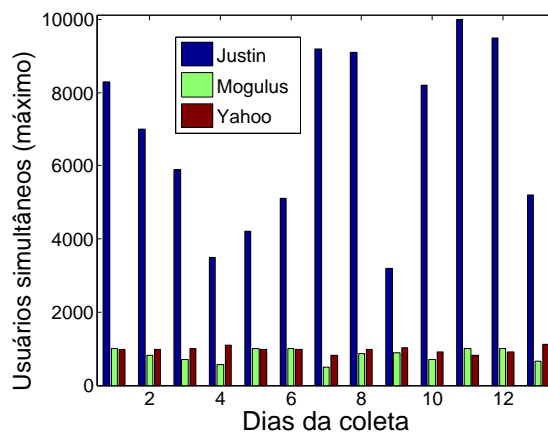


Figura 3.1. Popularidade de Sistemas de Transmissão de Vídeo ao Vivo Baseados na Web 2.0

3.1.0.1 Modelo de Interação do Usuário com o Sistema

No YahooLive cada usuário cadastrado é associado a um canal. Esse canal é único e possui o mesmo nome do usuário, dono do canal. Um participante pode disponibilizar conteúdo em seu canal ao vivo a qualquer momento, por quanto tempo quiser, podendo realizar esse processo quantas vezes desejar. Cada intervalo de tempo durante o qual um canal fica disponível, transmitindo conteúdo ao vivo, caracteriza uma **transmissão**.

Para a realização de uma transmissão no sistema, o participante necessita ser previamente cadastrado. Por outro lado, para participar apenas como espectador isso não é necessário. O intervalo de tempo durante o qual um usuário assiste uma determinada transmissão é denominado **tempo de sessão**. Ao longo de uma mesma transmissão podem haver múltiplas sessões (não simultâneas) de um mesmo usuário.

Durante uma transmissão, cada participante possui um identificador (ID) único. No entanto, esse identificador é alocado dinamicamente. Isso significa que, caso um usuário saia de alguma transmissão e em seguida retorne para a mesma transmissão, ou entre em outra, seu ID poderá não ser mais o mesmo.

Um usuário pode assistir/conectar-se simultaneamente a várias transmissões, porém em cada uma o seu ID será diferente. Como o sistema não permite correlacionarmos múltiplos IDs associados a um mesmo usuário, todas as nossas análises, discutidas neste capítulo, serão realizadas na granularidade de identificadores. No texto que segue, os termos *identificador (ID)* e *usuário* serão utilizados com o mesmo significado.

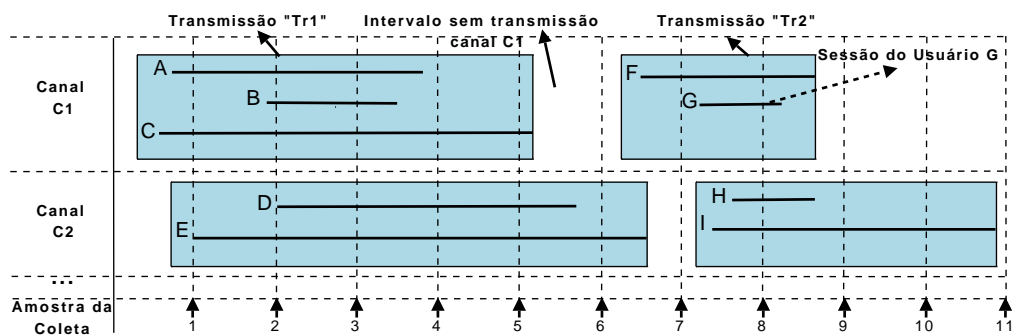


Figura 3.2. Modelo de Interação dos Usuários com o Sistema YahooLive

A Figura 3.2 ilustra o modelo de interação dos usuários com o sistema. Ela mostra uma situação hipotética de dois canais C_1 e C_2 . Cada canal realiza duas transmissões. Transmissões distintas são identificadas através de intervalos sem ocorrência de transmissão por um determinado canal, como é mostrado pela figura. Em cada transmissão podemos observar as sessões dos usuários participantes. Por exemplo, a transmissão Tr_1 do canal C_1 apresenta três sessões, referentes aos usuários A , B e C .

Já a Figura 3.3 apresenta uma fotografia da execução real do sistema. Podemos perceber que a interface do sistema disponibiliza a imagem da transmissão do canal em que se está conectado (região indicada pela letra A), um *chat* para interação com os participantes (região indicada pela letra B) e a visualização da transmissão de outros usuários que, além de estarem realizando alguma transmissão, também estão conectados a esse mesmo canal, os denominados *co-visualizadores* (região indicada pela letra C). O dono do canal tem o poder de selecionar quais espectadores teriam o privilégio de se tornarem *co-visualizadores*.

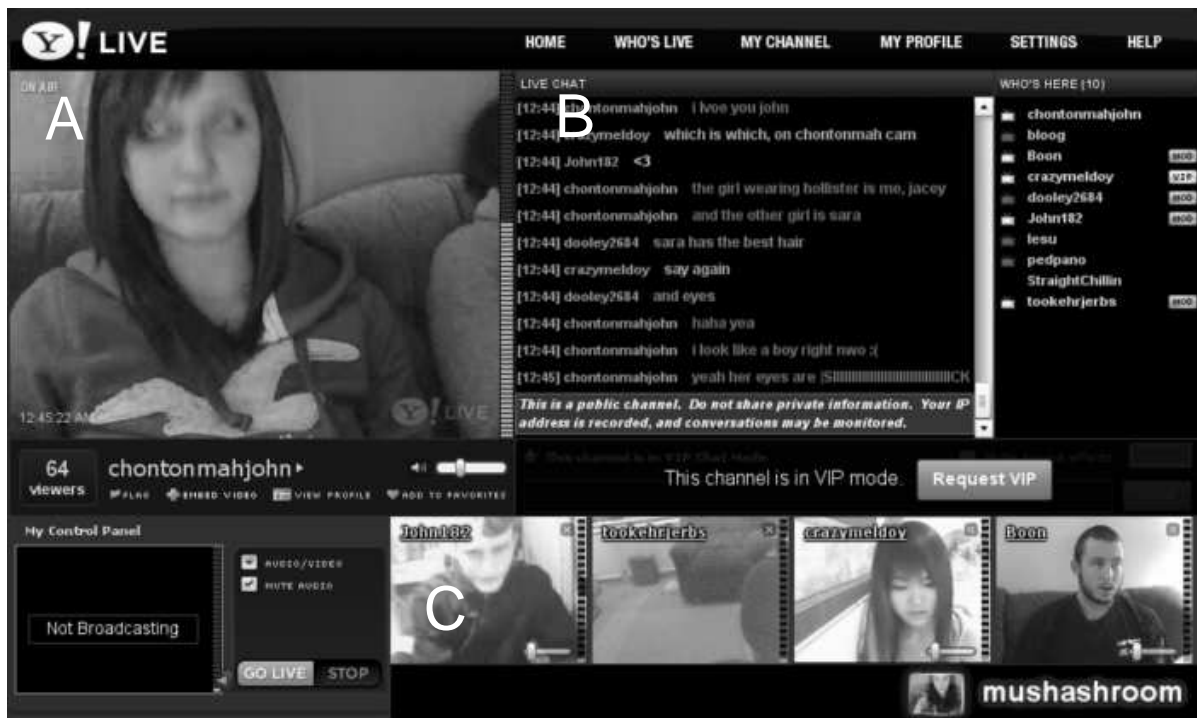


Figura 3.3. Tela de Execução do YahooLive.

3.2 Coleta e Tratamento dos Dados

O YahooLive disponibiliza em seu *website* uma API que permite o acesso a informações referentes ao número de canais ao vivo em determinado instante, como também os usuários que estão assistindo esses canais. Implementamos uma ferramenta que, explorando a API do sistema, coleta, periodicamente, *todos* os canais ao vivo no sistema, bem como os IDs de todos os usuários participantes em cada canal no instante da coleta. Em outras palavras, ela tira, periodicamente, fotografias (quanto ao número de canais ativos e seus participantes) do sistema. A fim de não sobrecarregar o sistema,

nós realizamos coletas com a periodicidade de 20 segundos. Conseguimos obter, assim, uma visão completa (condicionada aos limites da periodicidade estabelecida) de todos os canais e IDs dos usuários, que visualizaram ou transmitiram algum conteúdo, no período analisado.

A Figura 3.2 exibe 11 coletas realizadas hipoteticamente pelo coletor. Considerando a situação apresentada nessa figura, serão apresentados a seguir os procedimentos de identificação de duração das transmissões, como também do tempo das sessões.

Identificação de duração das transmissões: Identificamos que o canal C_1 iniciou sua transmissão, Tr_1 , na coleta 1 e a finalizou na coleta 5, sendo identificado em 5 coletas. Assim, consideramos que o tempo total dessa transmissão foi de 100 segundos, pois assumimos que cada evento observado na amostra x dura até imediatamente antes da amostra $x + 1$.

Identificação do tempo das sessões: O processo de identificação do tempo das sessões dos usuários é semelhante ao processo de identificação de duração de uma transmissão. Na transmissão Tr_1 o usuário A foi identificado em 3 coletas, assim a duração desta sessão seria de 60 segundos.

Além disso, optamos por realizar dois procedimentos de remoção de registros para manter a integridade de nossas análises. Descartamos transmissões em execução nas primeiras e últimas coletas, como também as transmissões ativas em eventuais falhas na coleta. Falhas identificadas pelo não recebimento da informação desejada em alguma coleta podem ter acontecido por problemas na rede ou devido a momentos de instabilidade do serviço oferecido analisado.

O total de remoções representou uma perda de 1% do número de transmissões observadas e 11% do número total de sessões. A tabela 3.1 apresenta uma visão geral dos dados coletados, após a limpeza dos logs. A tabela apresenta, além de médias, os valores de coeficiente de variação CV (razão do desvio padrão pela média), como também os valores máximos observados.

3.3 Visão Geral

Através de nossa coleta foi possível obter uma visão completa (na granularidade de 20 segundos) da utilização do sistema por todos os usuários que usufruíram do serviço, durante o período analisado (30/05/08 a 22/06/08). A Figura 3.4a mostra o número de canais ao vivo distintos em cada dia, ao longo da coleta. Esses valores são acumulados ao longo dos dias da coleta. Pode-se observar um crescente aumento no número de canais distintos durante os 23 dias de coleta.

Tabela 3.1. Resumo dos Dados Coletados

Descrição	Valor
Intervalo da coleta	30-05-08 a 22-06-08 (23 dias)
Núm. de transmissões consideradas	48.338
Total de sessões (ou IDs) consideradas	1.040.688
# de canais únicos	7.432
# médio de IDs simultâneos (CV) (max.)	719,6 (0,23) (2.127)
# médio de canais simultâneos (CV) (max.)	56,4 (0,16) (82)
# médio de transmissões por canal (CV) (max.)	6,6 (1,72) (248)
# médio de sessões por transmissão (CV) (max.)	30,4 (3,75) (6.777)
Duração média das transmissões (CV) (max.)	26,3 min (4,07) (6.055,33 min)

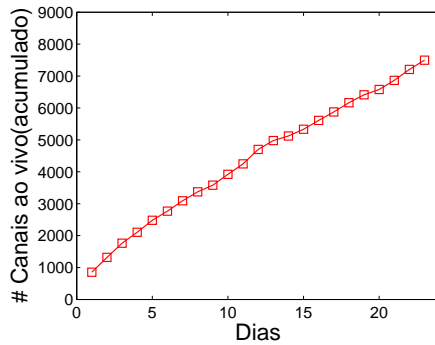
Canais simultâneos: A Figura 3.4b mostra o número médio de canais simultâneos identificados no decorrer dos dias de realização da coleta. Podemos observar que o sistema apresentou uma média diária de 56 canais simultâneos realizando pelo menos uma transmissão ao vivo. A Figura 3.4c mostra o número médio de canais ao vivo ativos por hora do dia ao longo de todo o período, mostrando um comportamento circadiano que se adapta bem ao horário dos EUA.

Usuários simultâneos: A Figura 3.5a mostra o número médio de usuários simultâneos para cada dia da coleta. Podemos observar que o sistema apresentou, em média, aproximadamente 720 usuários simultâneos por dia. A Figura 3.5b representa o número médio de usuários simultâneos, por hora do dia, considerando todos os dias analisados. Observa-se também uma tendência de maior utilização entre 13 e 22 horas. Podemos ainda observar uma considerável queda na utilização entre 3 e 8 horas. Ainda com relação ao número de usuários simultâneos, a Figura 3.5c apresenta uma função de densidade acumulada (CDF) do número de participantes simultâneos, em todos os canais, considerando todos os intervalos coletados. Através de um ajuste de curvas, foi identificado que uma distribuição Normal¹ ($\mu = 693,05$ e $\sigma = 160,9$) melhor descreve esse processo.

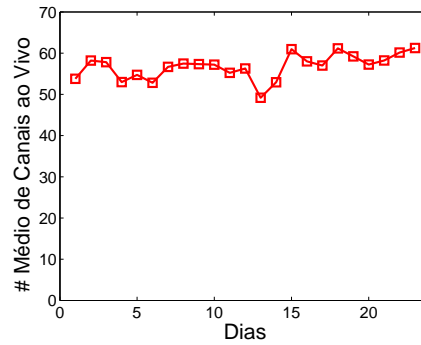
3.4 Comportamento dos Usuários

Nessa seção, apresentaremos os resultados da caracterização dos padrões de comportamento típicos dos usuários no serviço analisado. Nossa caracterização enfatiza os seguintes aspectos de comportamento: a duração das transmissões e o intervalo entre transmissões sucessivas de um mesmo usuário (mesmo canal) (Seção 3.4.1), o processo

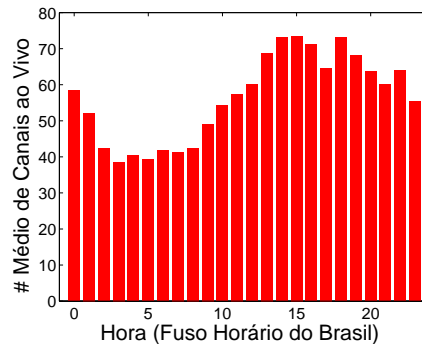
¹PDF: $= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$



(a) Evolução do Número de Canais ao Vivo Distintos



(b) Número Médio de Canais ao Vivo Simultaneamente Ativos em um Dia



(c) Número Médio de Canais ao Vivo Simultaneamente Ativos por Hora

Figura 3.4. Visão Geral - Volume de Canais

de chegada das sessões (Seção 3.4.2) e a análise das sessões (Seção 3.4.3). Essas informações foram utilizadas na geração de cargas sintéticas realistas, que nortearão o modelo de simulação criado para avaliar alternativas de transmissão de fluxos de vídeo ao vivo, como será mostrado em seções posteriores.

3.4.1 Durações e Intervalos entre Transmissões

A Figura 3.6a mostra a CDF do número de transmissões realizadas pelos canais. É possível notar que pouco mais de 90% dos canais realizaram até 20 transmissões nos 23 dias analisados. Podemos observar também que uma parte considerável (37%) dos canais realizou apenas 1 transmissão. Acreditamos que esse resultado possa estar relacionado com os usuários que testaram o sistema e não voltaram no período analisado. Identificamos que uma distribuição Lognormal ($\mu = 1.03$ e $\sigma = 1.045$) foi a que melhor se adequou aos dados reais encontrados.

A Figura 3.6b mostra a CDF da duração das transmissões de todos os canais ob-

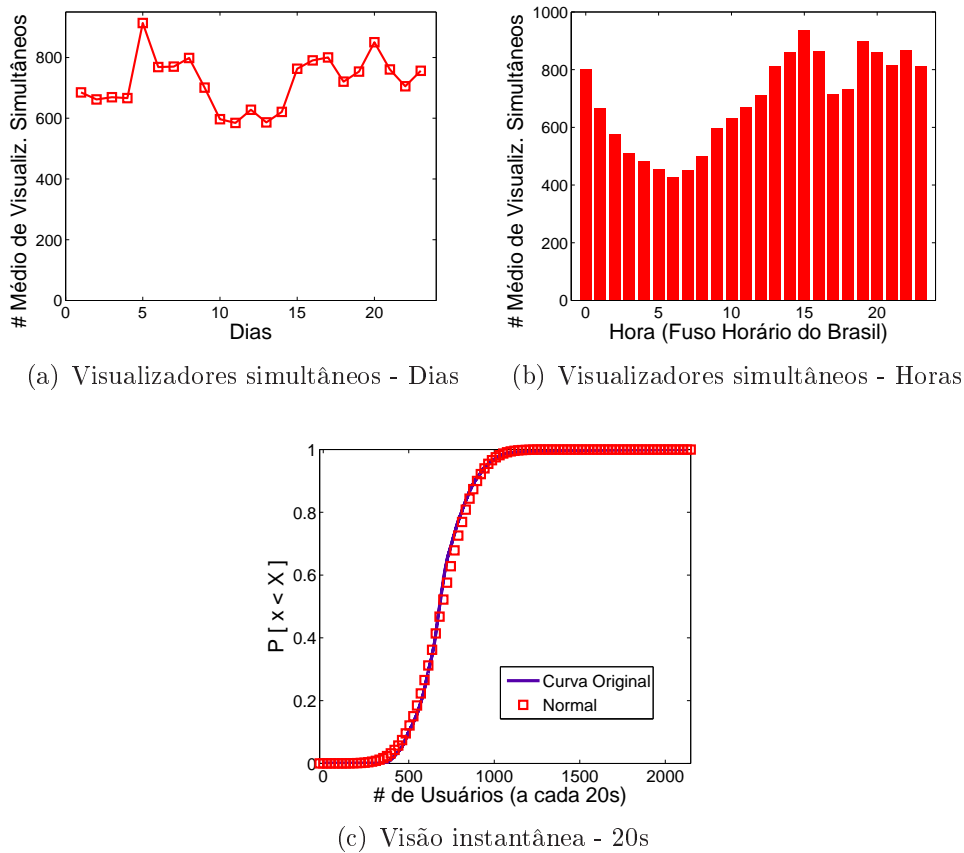


Figura 3.5. Visão Geral - Usuários Simultâneos

servados durante a análise (o eixo X se encontra na escala logarítmica para possibilitar a visualização de toda a curva apresentada). De acordo com a tabela 3.1 observamos que a duração média de todas as transmissões realizadas pelos canais foi em torno de 26 minutos. A Figura 3.6b mostra que 90% das transmissões duraram até 50 minutos. Identificamos que uma distribuição Lognormal ($\mu = 1.851$ e $\sigma = 1.492$) melhor representa a duração das transmissões.

A Figura 3.6c mostra a CDF do intervalo médio entre transmissões sucessivas realizadas por um mesmo canal. Para essa análise, levamos em consideração apenas canais que realizaram mais que 1 transmissão (63,4% dos canais identificados). O intervalo médio entre as transmissões de um mesmo canal é melhor representado por uma distribuição Weibull ($a = 556,802$ e $b = 0,438$). Observa-se ainda nessa figura que existe um número significativo (23%) de canais que apresentaram um intervalo médio entre transmissões de até 20 minutos.

Em uma possível rede P2P para transmissão de vídeo ao vivo, o atraso de inicialização no sistema pode ser elevado, podendo variar de 20 segundos para canais

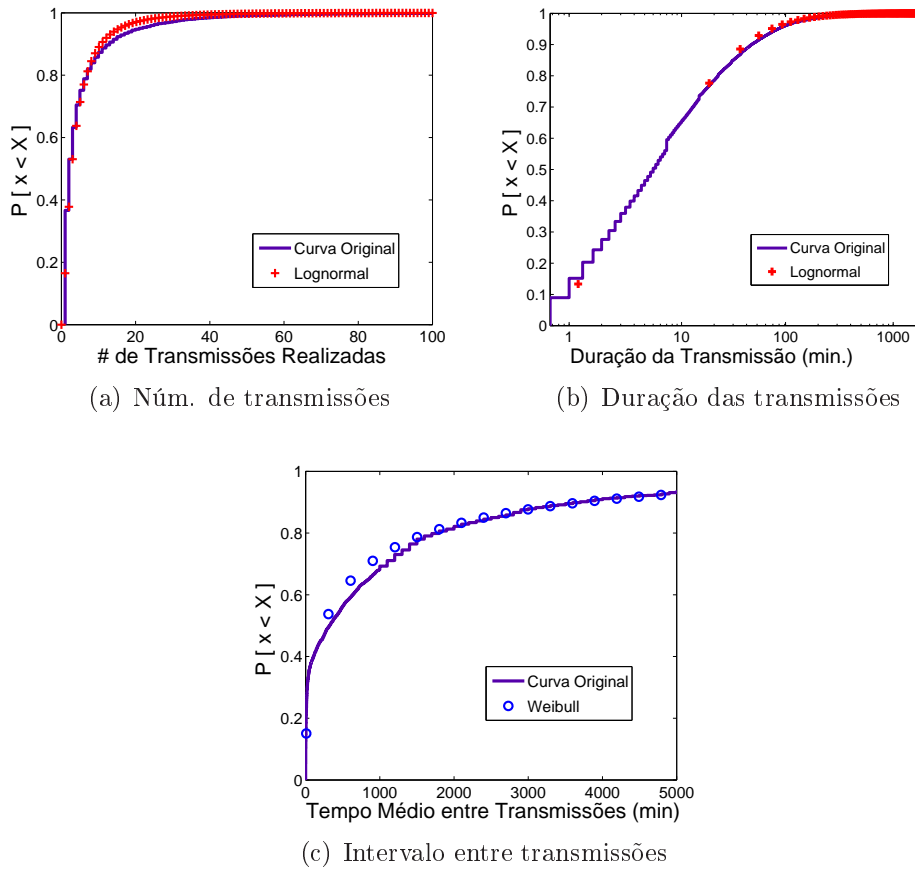


Figura 3.6. Análises das Transmissões

populares e mais de 2 minutos para os não populares [Hei et al., 2007]. Assim, considerando que, para uma fração significativa dos canais, o intervalo de tempo entre transmissões sucessivas é relativamente curto, pode ser possível aproveitar a estrutura da rede sobreposta já criada para melhorar a qualidade de serviço do sistema. Em outras palavras, após a interrupção da transmissão por um determinado canal, um sistema poderia manter a estrutura de rede P2P ativa por um determinado limite de tempo, esperando que o canal volte a transmitir.

3.4.2 Processo de Chegada de Sessões

Para analisarmos o momento em que os usuários entraram em um canal, calculamos o momento de entrada dos usuários relativo à duração das transmissões. Em outras palavras, se um usuário iniciou a visualização de uma transmissão quando esta já estava ativa por 40 segundos e essa transmissão durou 100 segundos, então o instante de entrada deste usuário no canal corresponde a 40% da transmissão.

A Figura 3.7 mostra o resultado dessas análises através de uma CDF. Identificamos que uma distribuição Uniforme melhor descreve os intervalos relativos às entradas dos usuários em determinado canal. Conjecturamos que esse resultado pode ter duas explicações:

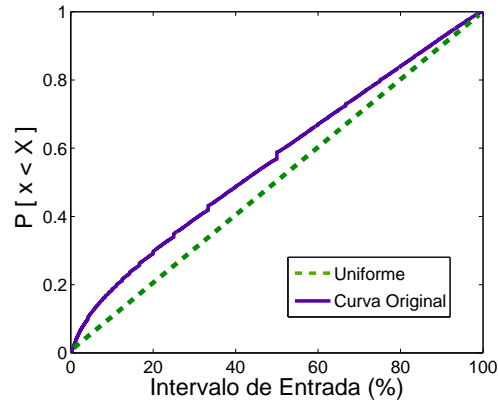


Figura 3.7. Intervalo de Entrada na Transmissão

1- Usuários podem colocar seu canal no estado ao vivo quando quiserem, e por quanto tempo desejarem. No entanto, o YahooLive não disponibiliza bons mecanismos (ex: divulgação através de redes sociais) para divulgação de canais que estão no ar, nem os que planejam iniciar suas transmissões em algum determinado momento. Acreditamos que, com o auxílio de tais mecanismos, a tendência seria uma maior aderência dos usuários a alguma transmissão no início da mesma.

2- A Figura 3.8 mostra o número de canais únicos identificados por dia (d), bem como o número de canais que realizaram alguma transmissão no dia $d - 1$ e retornaram no dia d , e o número de canais que realizaram alguma transmissão no período anterior (desde o início da coleta) e retornaram no dia d . Podemos perceber uma considerável variabilidade no número de canais novos por dia. Acreditamos que isso dificulta o processo de fidelização dos usuários em determinados canais, e também aumenta o número de vezes que o usuário verifica o conteúdo desses canais, o que pode acontecer a qualquer momento. Aumentando-se o número de vezes que um usuário verifica o conteúdo de canais, aumenta-se também o número de sessões de curta duração, como será abordado na Seção 3.4.3.

3.4.3 Análises das Sessões

Nas análises de sessões dos usuários consideramos duas categorias: transmissões que duraram até 20 minutos (curta) e transmissões que duraram acima de 20 minutos

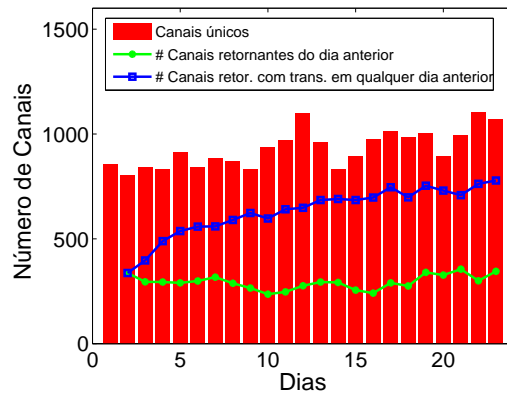
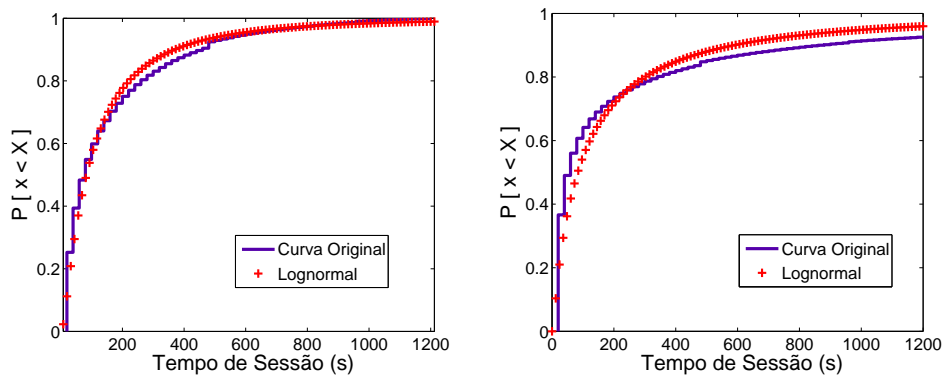


Figura 3.8. Canais Únicos por Dia

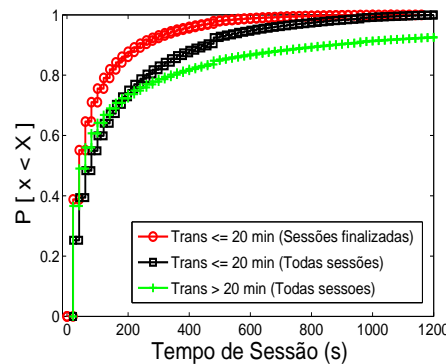
(longa). O limiar de 20 minutos foi definido através de comparação com outros limiares, que foram escolhidos aleatoriamente. Especificamente com esse limiar observamos uma distinção maior nas distribuições do tempo de sessão dos usuários. Esta categorização se fez necessária para evitar agregação de comportamento muito heterogêneo.

O tempo médio considerando todas as sessões foi de 305 segundos (com desvio padrão $\sigma = 207,8$). Considerando as sessões nas transmissões da categoria curta, esse valor foi de 163,7 segundos ($\sigma = 207,8$). Para as transmissões da categoria longa, a duração média das sessões foi de 253,1 segundos ($\sigma = 501,3$). Nos cálculos desse último caso consideramos apenas sessões com duração máxima de 1 hora, representando 98,4% de todas as sessões dessa categoria, a fim de se obter valores mais representativos. Os altos valores dos desvios padrões são explicados pela grande variabilidade dos tempos das sessões.

As Figuras 3.9a e 3.9b apresentam os tempos das sessões dos usuários através de CDFs referentes a todas as sessões identificadas nas transmissões menores que 20 minutos e maiores que 20 minutos respectivamente. Nesse último caso, estamos mostrando apenas os tempos de sessões até 1200 segundos, com o objetivo de ressaltar a parte mais relevante da curva. Optamos por representar o tempo de sessão de forma absoluta por melhor representar o comportamento do usuário, que permanece na sessão durante certo tempo, à revelia e sem conhecimento da duração total da transmissão. Podemos perceber que os usuários tendem a permanecer mais tempo nas transmissões da categoria longa. É válido questionar se esse fato não acontece devido às transmissões da categoria curta durarem menos. Para analisar essa questão identificamos todas as sessões que foram interrompidas por causa do término da transmissão na categoria curta, representando 38% das sessões. A Figura 3.9c mostra uma CDF para as sessões que foram finalizadas pelos usuários na categoria curta, uma CDF representando todas



(a) tempo de sessão (transmissões curtas) (b) tempo de sessão (transmissões longas)



(c) tempo de sessão (transmissões curtas x longas)

Figura 3.9. Tempos de Sessões dos Usuários

as sessões para essa mesma categoria e uma CDF para representar todas as sessões da categoria longa. Esta figura mostra que para a maioria dos casos os usuários permaneceram mais tempo nas transmissões da categoria longa. Se observarmos, por exemplo, os tempos de sessões até 400 segundos percebemos que esse valor representa, aproximadamente, 95% das sessões finalizadas da categoria curta, 83% de todas as sessões da categoria curta e 77% de todas as sessões da categoria longa.

Para as duas categorias, identificamos também as distribuições que melhor representam os dados observados. Para transmissões com duração de até 20 minutos, constatamos que as distribuições LogNormal e Weibull foram as que mais se aproximaram da curva identificada para os dados reais, porém a distribuição Lognormal ($\mu = 4,424$, $\sigma = 1,161$) representou melhor os dados originais. Com relação às transmissões com duração superior a 20 minutos, foi constatado também que uma distribuição Lognormal ($\mu = 4,421$, $\sigma = 1,527$) melhor representa os dados originais. A Figura 3.9b mostra esse resultado, que está em conformidade com os resultados previamente observados

para a transmissão de fluxos de vídeo ao vivo gerados por um provedor de conteúdo [Veloso et al., 2006].

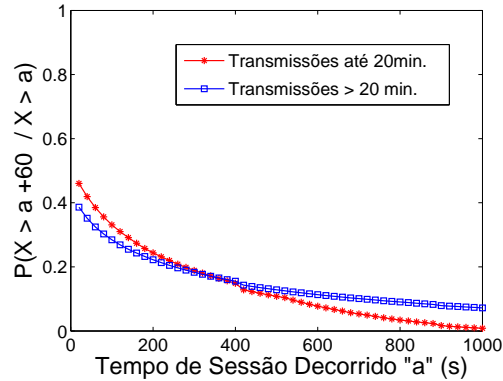


Figura 3.10. Probabilidade do Tempo de Sessão Durar mais 60s, em Função do Tempo já Decorrido.

Ainda com relação aos tempos de sessões dos usuários, calculamos a probabilidade de um usuário que já permaneceu x segundos permanecer por mais 60 segundos. Esse resultado pode ser explorado, por exemplo, na escolha de parceiros em possíveis redes P2P, com a finalidade de servir esse tipo de aplicação, atribuindo uma prioridade maior na escolha de pares que possuem uma probabilidade maior de permanecer mais tempo na rede. A Figura 3.10 mostra esse resultado, considerando transmissões maiores que 10 minutos da categoria curta, a fim de garantir a possibilidade das sessões durarem mais que 1 minuto. Podemos observar que se um usuário permaneceu em uma transmissão da categoria curta por até aproximadamente 400 segundos, sua probabilidade de permanecer 1 minuto adicional é maior do que em transmissões da categoria longa. Após esse intervalo ocorre uma situação inversa. Pode-se perceber que os usuários tendem a permanecer mais que 400 segundos em transmissões da categoria longa.

A Figura 3.11 mostra um histograma das sessões dos usuários, onde ambos os eixos estão na escala logarítmica. Nela pode-se verificar a existência de várias sessões com uma curta duração. Com o auxílio das Figuras 3.9a e 3.9b (CDFs referentes aos tempos de sessões) podemos observar que as sessões identificadas em apenas um intervalo de amostra representaram 33% de todas as sessões (categoria curta e longa).

Dado esse grande número de sessões com curta duração, conjecturamos que existam dois tipos de comportamento do usuário no sistema, que foram denominados **comportamento de análise** e **visualização real**. O comportamento de análise, que poderia explicar esses curtos tempos de sessões, é caracterizado pela ação de verificar o conteúdo de um determinado canal por um certo período. Já o comportamento de

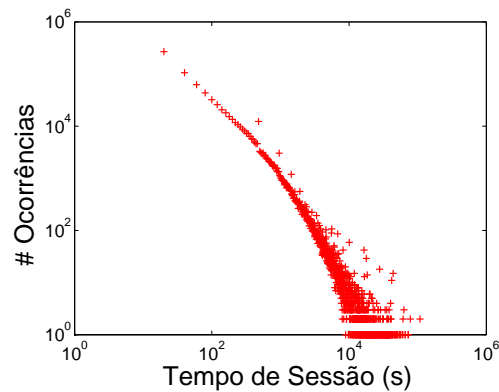


Figura 3.11. Histograma do Tempo de Sessão

visualização real indica que o usuário escolheu um canal para apreciar seu conteúdo. Outros tradicionais grupos de pesquisa em multimídia também assumem a existência desses comportamentos. O grupo MSK da Coreia definiu 15 segundos como período de análise. Outros autores acreditam que o tempo de análise seja aproximadamente 10 segundos [Cha et al., 2008], apesar de utilizarem o valor de 1 minuto para fins de comparação com o valor definido por *Nilsen Media Research*². Considerando todas as sessões com duração máxima de 60 segundos essa representatividade sobe para 53,46%.

3.5 Caracterização da Popularidade de Canais

Esta seção analisa o impacto da popularidade dos canais no uso do sistema pelos usuários. Analisamos também os fatores que poderiam influenciar na popularidade (número médio de visualizadores simultâneos), de um canal. A popularidade no contexto deste trabalho se refere ao número médio de visualizadores simultâneos de um determinado canal. Quanto maior esse valor, mais popular é o canal.

3.5.1 Audiência

Esta seção analisa a participação dos usuários nos grupos de canais mais populares. A Figura 3.12a mostra a porcentagem de usuários em diferentes grupos de popularidade do sistema. Por exemplo, o grupo dos 200 canais mais populares representa aproximadamente 36% do número total de usuários que participaram de alguma transmissão.

Com base nessa figura pode-se perceber a importância de se conceder uma atenção especial aos canais mais populares. Como pode ser observado, os 350 canais mais

²<http://www.nielsenmedia.com>

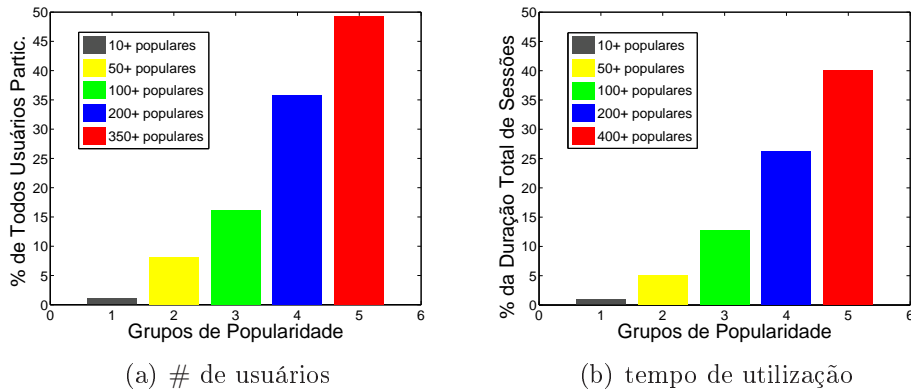


Figura 3.12. Representatividade dos Canais Populares

populares (aproximadamente 4,7% de todos os canais que realizaram alguma transmissão ao vivo durante a coleta), representaram 49,3% do número total de usuários que participaram de alguma transmissão. A Figura 3.12b que mostra a porcentagem do tempo de utilização, soma dos tempos de sessões de todos os usuários participantes de alguma transmissão, para os diferentes grupos de popularidade, também reforça essa observação. O tempo total de utilização equivale ao período de 8488,4 dias. Para esse cálculo desconsideramos os tempos de sessões dos donos dos canais. Pode-se perceber que os 350 canais mais populares atraíram usuários por um tempo suficiente para representar 40,1% de todo tempo de utilização observado.

As Figuras 3.13a, 3.13b, 3.13c e 3.13d mostram os fatores que poderiam influenciar a popularidade dos canais. Todas elas estão na escala logarítmica. Em cada uma das quatro figuras é mostrada uma relação diferente com o número médio de visualizadores simultâneos. Na Figura 3.13a essa relação é com o tempo médio de todas as transmissões realizadas por um determinado canal. Na Figura 3.13b é mostrado uma relação com o número total de transmissões realizadas por um canal. Na Figura 3.13c a relação é com o intervalo médio de transmissões sucessivas de um mesmo canal. E na Figura 3.13d a relação é com o tempo total que um canal permaneceu ao vivo.

As figuras mostram que não existe forte correlação entre nenhum dos fatores analisados com a média de visualizadores simultâneos de um canal. Isso pode ser comprovado pelos baixos coeficientes de correlações $r = 0,1$, $r = 0,1$, $r = -0,005$ e $r = 0,05$ referentes às análises mostradas nas Figuras 3.13a, 3.13b, 3.13c e 3.13d respectivamente.

Apenas através desses fatores não foi possível identificar os canais mais populares. Acreditamos que a popularidade dos canais pode estar associada a outros fatores como, por exemplo, qualidade técnica e artística, do conteúdo transmitido.

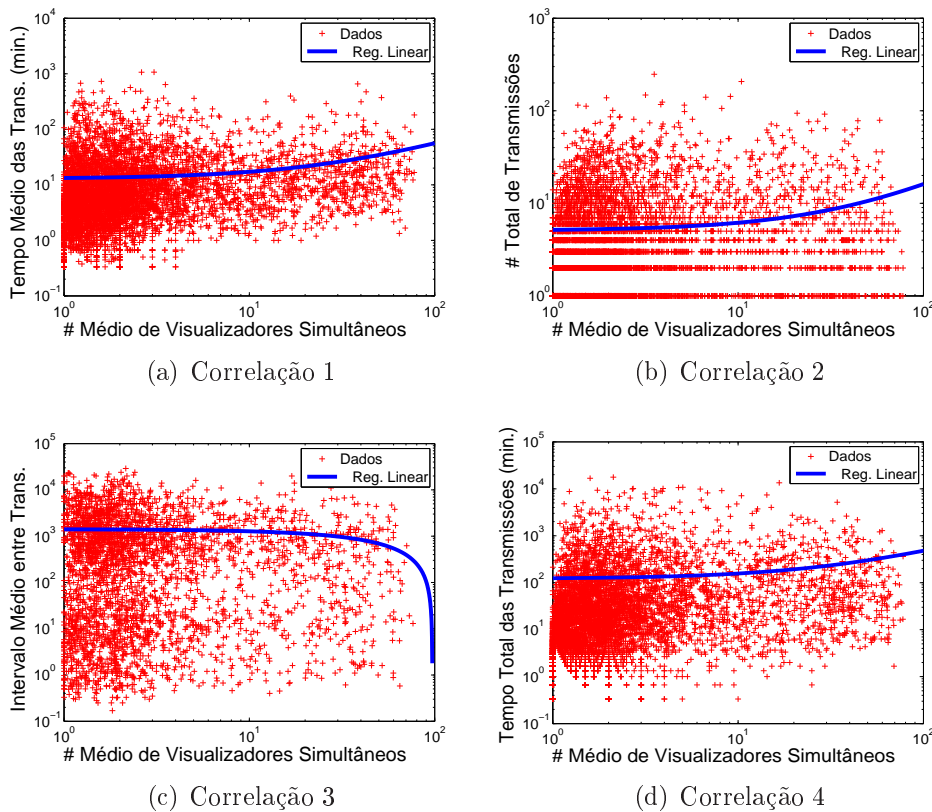


Figura 3.13. Análise de Fatores que Poderiam Influenciar na Popularidade

3.5.2 As Sessões são mais Longas para os Canais mais Populares?

Para essas análises não consideramos o tempo de sessão do dono do canal na sua própria transmissão, uma vez que os donos dos canais sempre estão presentes na própria transmissão. Desconsideramos também canais que registraram menos de 10 visitantes em suas transmissões, com a finalidade de obter uma análise mais representativa.

Para todos os canais restantes calculamos a probabilidade de um usuário permanecer por um tempo superior a 1 minuto. Esse resultado é apresentado no eixo y da Figura 3.14. O eixo x , dessa mesma figura, representa o *ranking* de popularidade. Observamos que existe relação entre a popularidade e o tempo de sessão dos usuários. Canais mais populares apresentam probabilidades maiores para tempos de sessões superiores a 1 minuto. O coeficiente de correlação entre a posição do canal no ranking de popularidade e os tempos das sessões foi bastante expressivo, sendo igual a $-0,6$. Note que canais mais populares ocupam posições mais altas, e, logo, menores no *ranking* (o mais popular está na posição 1). Por isto, a correlação tem valor negativo.

Esse resultado reforça a importância de se dedicar uma atenção especial aos

canais populares. Ele indica também que os canais mais populares tendem a utilizar mais recursos do sistema, não somente pelo maior número de visitantes simultâneos, mas também pelos maiores tempos de sessões dos usuários nesses canais.

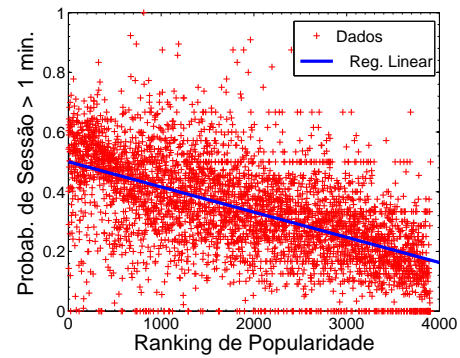


Figura 3.14. Probabilidade de Sessão Superior que 1 Minuto

Capítulo 4

Proposta e Avaliação de Estratégias de Transmissão

Neste capítulo, investigamos estratégias alternativas para transmissão de vídeo ao vivo, visando suportar um sistema com as mesmas características do YahooLive, caracterizado no capítulo anterior. A Seção 4.1 apresenta as alternativas consideradas neste estudo, incluindo estratégias tradicionalmente utilizadas, bem como duas novas propostas. A Seção 4.2 descreve a metodologia de avaliação utilizada, enquanto os resultados e principais conclusões são apresentados na Seção 4.3.

4.1 Alternativas para Transmissão

A avaliação apresentada neste capítulo considera 4 estratégias para transmissão de vídeo ao vivo: as tradicionais arquiteturas Par-a-Par e cliente/servidor, bem como duas novas propostas. Para todas as 4 propostas alternativas assumimos que:

- Todos os nodos possuem uma banda de rede mínima para receber o fluxo de vídeo, isto é, banda mínima igual à taxa de codificação do vídeo;
- Todos os nodos possuem capacidade de armazenamento e processamento suficientes para a visualização do conteúdo;
- O servidor sempre possui banda de rede e recursos físicos suficientes para atender os participantes nele conectados;
- Não acontecem erros relacionados ao processo de produção e codificação do fluxo de vídeo a ser transmitido;

- Os nodos não utilizam sua banda de rede em outras atividades, durante sua estadia em alguma transmissão.

As próximas seções apresentam as 4 alternativas consideradas, descrevendo em particular o modelo de funcionamento de cada.

4.1.1 Estratégia P2P Pura

Foi modelado um sistema de transmissão de vídeo ao vivo baseado em uma arquitetura P2P do tipo malha. Neste tipo de sistema existe um participante especial, o servidor, de onde se origina o fluxo a ser transmitido para os nodos da rede. Um novo participante, ao se conectar ao sistema, adquire do servidor uma lista com os identificadores de n nodos participantes do sistema. O nodo contata os n outros nodos recebidos. A parceria é realizada caso o número máximo de vizinhos v ainda não tenha sido atingido. Cada participante reconhece e troca dados apenas com nodos com os quais já foram estabelecidas parcerias. O subconjunto inicial de nodos é obtido aleatoriamente entre todos os membros do sistema, com o auxílio de um mecanismo independente de inicialização (*bootstrap*). Nenhum sistema P2P específico é modelado, porém a base utilizada em nosso modelo (*mesh-pull*) se assemelha a vários sistemas reais tais como o PPLive.

Na seleção de parceiros, para se obter um segmento de um fluxo de vídeo, foi implementada uma heurística que se assemelha à apresentada em Zhang et al. [2005b]. Primeiramente calcula-se o número de potenciais fornecedores para um determinado segmento. Como um segmento com menos potenciais fornecedores é mais difícil de recuperar a tempo de reproduzi-lo, o algoritmo escolhe o parceiro que possua o segmento mais raro e que ainda será reproduzido. Caso múltiplos parceiros possuam o segmento mais raro, o sistema escolhe o parceiro com maior banda de rede.

Quando um participante perde um vizinho, ou deseja aumentar sua taxa de recebimento do fluxo de vídeo, ele pode requisitar ao servidor uma lista de nodos adicionais, onde a seleção destes nodos também é feita aleatoriamente. Na simulação, os nodos identificam a necessidade de aumentar sua taxa de recebimento de fluxo de vídeo de acordo com uma análise da qualidade da transmissão de vídeo recebida. Esta análise, que é realizada a cada 20 segundos, é baseada na métrica continuidade, que será descrita na Seção 4.2.1. Caso a continuidade esteja abaixo de 80%, os nodos solicitam novos participantes do sistema, a fim de formar novas parcerias. Esses procedimentos são realizados por todos os nodos da transmissão, exceto o servidor que é um nodo especial. O servidor não solicita parceiros, como também somente envia fluxo de vídeo e nunca recebe.

Ainda neste modelo assumimos que todos os nodos mantêm um *buffer* com espaço suficiente para armazenar 2 minutos de vídeo correspondentes ao conteúdo mais recentemente recebido.

4.1.2 Estratégia Cliente/Servidor

Neste modelo existe um nodo (servidor), que é responsável pela geração e transmissão do fluxo de vídeo a todos os nodos. Os nodos, ao entrarem no sistema para visualização de algum canal, se conectam diretamente ao servidor. O servidor é o único responsável pela transmissão do fluxo de vídeo da transmissão. O servidor transmite um fluxo exclusivo para cada cliente. A estratégia cliente/servidor será referenciada ao longo do texto como estratégia C/S.

4.1.3 Estratégia Híbrida

O grande número de sessões de curta duração observado na caracterização do comportamento dos usuários do YahooLive, que pode ser devido às frequentes mudanças de canais, impõe desafios significativos na construção de sistemas P2P como infraestrutura para transmissão de conteúdo desse tipo de serviço [Cha et al., 2008]. Como foi analisado para um popular sistema de transmissão de vídeo P2P, o tempo inicial de configuração¹ pode variar de 10 a 20 segundos para canais populares e mais de 2 minutos para os não populares [Hei et al., 2007]. Além disso, as redes P2P não oferecem uma estrutura estável. Quando um nó deixa a rede, interrompendo assim a visualização de alguma transmissão, outros nós da rede podem ser desconectados ou podem sofrer perda de qualidade no recebimento do conteúdo. Com um grande número de sessões de curta duração esse tipo de situação tende a ser mais frequente.

Com isso, propomos uma nova estratégia denominada **híbrida**. A Figura 4.1 apresenta um diagrama de funcionamento da estratégia híbrida. Na estratégia híbrida, os nodos primeiramente se conectam a um servidor centralizado (situação denominada **fase 1**), e, após um certo intervalo de tempo ω , são redirecionados a uma rede P2P (situação denominada **fase 2**), como podemos observar na Figura 4.1. O servidor (fonte) é único e deve atuar tanto na rede centralizada como na rede P2P. O objetivo desta estratégia é proporcionar uma melhoria na qualidade de serviço do sistema.

Ao entrar na fase 1, os nodos, simultaneamente, se registram numa rede P2P e efetuam parcerias, estabelecendo a configuração necessária para iniciar a solicitação de pacotes de vídeo nessa nova rede. Após o período ω , o nodo deixa o servidor e passa

¹intervalo entre a escolha do canal e a visualização efetiva de seu conteúdo

a participar integralmente da rede P2P, com o mesmo modelo P2P definido na Seção 4.1.1 e com o mesmo modelo de participação de usuários (que será definido adiante).

Como os nodos formam parcerias na rede P2P durante a fase 1, nodos que se localizam na rede P2P podem solicitar segmentos de vídeo a usuários que estão conectados na arquitetura C/S. Isso significa que os nodos participantes da fase 1 podem contribuir para a arquitetura P2P do sistema.

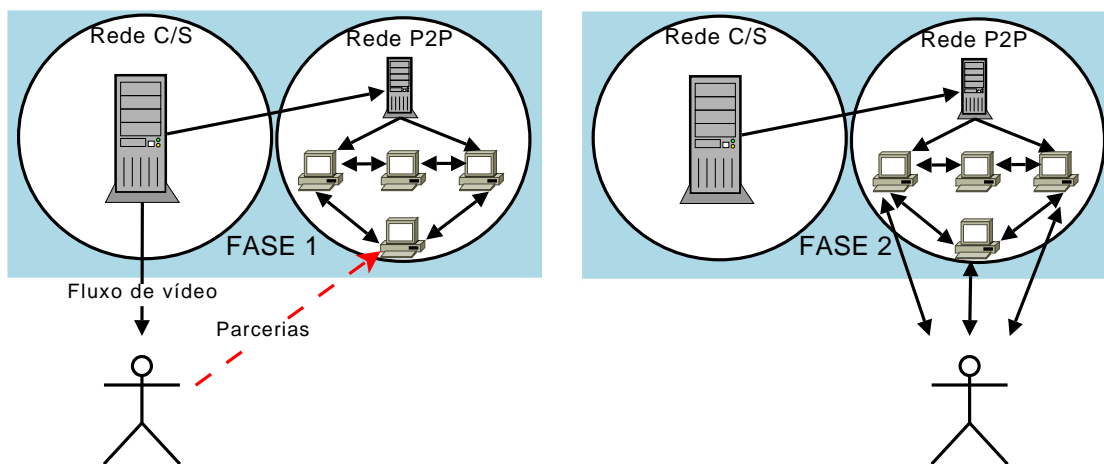


Figura 4.1. Diagrama de Funcionamento da Estratégia Híbrida

4.1.4 Estratégia Híbrida Controlada

A estratégia híbrida, descrita na seção anterior, não impõe nenhum limite de nodos durante a fase 1. Isso faz com que o consumo de recursos do servidor do sistema possa crescer muito com um elevado número de participantes no sistema. Essa situação é indesejável, por exemplo, no planejamento de capacidade do servidor.

Com isso, uma variação da estratégia híbrida é denominada **híbrida controlada**. O princípio básico da estratégia híbrida controlada é limitar os requisitos de banda de rede da fonte de transmissão, isto é, do servidor. Esta é a única diferença com relação à estratégia híbrida normal, apresentada na seção anterior.

Para garantir o limite máximo de nodos conectados na fase 1, nosso mecanismo de controle de banda se baseia no número de nodos simultâneos nessa fase em um dado momento. Caso o número atual de nodos conectados simultaneamente nessa fase seja maior que o permitido L , o cliente conecta-se diretamente à fase 2.

4.2 Metodologia de Avaliação

Esta seção apresenta a metodologia de avaliação utilizada neste trabalho. A Seção 4.2.1 apresenta as métricas utilizadas para comparar as 4 estratégias de transmissão apresentadas na seção anterior. As Seções 4.2.2 e 4.2.3 apresentam o modelo de simulação e os cenários considerados em nossas avaliações, respectivamente. A Tabela 4.1 resume todos os símbolos que serão mencionados ao longo deste capítulo.

4.2.1 Métricas de Avaliação

Para a realização de nossas avaliações consideramos três métricas:

- **Índice de Continuidade:** métrica que é relacionada com a qualidade observada pelo cliente ao longo da transmissão. Este índice mede o número de segmentos do fluxo de vídeo (*chunks*) que chegam a tempo de serem reproduzidos. Essa métrica é também utilizada em Zhang et al. [2005b];
- **Atraso de Inicialização:** O atraso de inicialização representa o intervalo de tempo entre a entrada de um nodo no sistema até a recepção do primeiro segmento do fluxo de vídeo por esse nodo, incluindo atrasos devido à formação de parcerias;
- **Contribuição:** métrica que é relacionada ao número de fluxos de vídeo (δ) fornecidos por cada nodo do sistema. Ela mede o consumo de banda de rede de cada nodo, expresso de forma normalizada em relação à taxa de codificação de vídeo. Em outras palavras, uma contribuição igual a δ implica que o consumo de banda de rede do nodo equivale à taxa de codificação do vídeo. Uma contribuição igual a $5 \times \delta$ equivale a uma banda igual a 5 fluxos de vídeo. Na Seção 4.3, reportaremos separadamente, a contribuição do servidor e a contribuição de todos os clientes participantes da rede.

4.2.2 Modelo de Simulação

O simulador de rede J-SIM [J-Sim, 2009] foi utilizado como infra-estrutura para a construção dos modelos de arquitetura de transmissão discutidos na Seção 4.1. O J-SIM é um ambiente de simulação de redes baseado em componentes. Esse simulador foi implementado sobre uma arquitetura de software baseada em componentes, denominada arquitetura de componentes autônomos (ACA). As entidades básicas na ACA são componentes, que se comunicam entre si através do envio de dados em suas portas.

Tabela 4.1. Notação

Símbolo	Definição
p	tempo de sessão em determinado canal
n	subconjunto de vizinhos
T	intervalo de tempo máximo de espera
L	# máx. de nodos conectados simul. no servidor da estratégia híbrida controlada
v	# máximo de vizinhos parceiros
ω	intervalo de tempo na fase 1 da estratégia híbrida e híbrida controlada
δ	largura de banda equivalente a um fluxo de vídeo
N	número de nodos no sistema
B_{alta}	maior banda de saída dos nodos em uma transmissão
B_{baixa}	menor banda de saída dos nodos em uma transmissão
θ	% de nodos com banda de rede de saída baixa (B_{baixa}) no sistema

O comportamento de cada componente, em termos do tipo de tratamento e resposta fornecidos aos dados recebidos, é especificado em tempo de projeto do sistema através de *contratos*. Os componentes podem ser individualmente projetados, implementados, testados e acoplados ao sistema [Tyan & Hou, 2001].

O J-SIM foi desenvolvido inteiramente na plataforma Java [Java™, 2009]. Isto, juntamente com a arquitetura de componentes autônomos, faz do J-SIM um ambiente independente de plataforma, extensível e reutilizável. O J-SIM também possibilita a integração com várias linguagens de scripts, tais como: Perl [Perl, 2009], Tcl e Python [Python, 2009]. Na versão utilizada nesta dissertação, que é a versão mais atual disponibilizada no *website* do projeto [J-Sim, 2009], os projetistas integraram o J-SIM com uma implementação em Java do interpretador Tcl, denominada Jacl [Jacl, 2009].

Nesta dissertação, desenvolvemos e implementamos novos componentes a serem utilizados no J-SIM. Estes componentes são responsáveis por simular todas as entidades participantes de um sistema de transmissão de fluxo de vídeo ao vivo baseado em uma estratégia P2P pura, bem como as entidades participantes de uma arquitetura cliente/servidor. O componente referente à arquitetura P2P estrutura os nodos em uma rede baseada em malha, fundamentando-se no modelo *mesh-pull* e assemelhando-se às redes de sistemas populares como o Coolstreaming e PPLive.

As próximas seções descrevem os componentes do modelo de simulação.

4.2.2.1 Modelo de Rede

As topologias de rede utilizadas nas simulações foram criadas com o auxílio do gerador de topologia GT-ITM [Zegura et al., 1996], utilizado por vários estudos anteriores que consideram redes P2P [Tran et al., 2004; Do et al., 2004; Hefeeda et al., 2003;

Agrawal & Casanova, 2003], apesar de não estarem sendo analisadas questões específicas referentes à localidade dos nodos. A rede modelada é heterogênea em termos da banda de rede disponível nos nodos, sendo que os valores específicos deste parâmetro nos vários cenários analisados são apresentados na próxima seção.

4.2.2.2 Modelo dos Nodos

O comportamento dos nodos foi modelado de acordo com os principais resultados da caracterização do sistema YahooLive realizada, apresentada no capítulo 3. Para todas as estratégias analisadas, os nodos entram na transmissão em um intervalo de tempo uniformemente distribuído ao longo da transmissão (conforme observado na Seção 3.4.2). Além disso, o tempo de sessão de um nodo na transmissão é descrito por uma distribuição Lognormal ($\mu = 4,421$, $\sigma = 1,527$), conforme apresentado na Seção 3.4.3.

Para a estratégia P2P pura, consideramos também que os nodos possuem um limite de paciência com relação ao atraso de inicialização, dado por $\min(2 \times p, T)$, onde p é o tempo de sessão em uma transmissão² e T representa um limite de tempo máximo de espera. Não foi definido um limite de paciência para a estratégia C/S, pois assumimos que a arquitetura cliente/servidor simulada não apresentaria demoras excessivas no início do atendimento ao espectador, uma vez que o servidor sempre possuiria recursos para atender a todas as solicitações.

Os nodos podem ser classificados em duas categorias em função da largura de banda de saída disponível, isto é, largura de banda disponível para a transmissão do conteúdo recebido para outros nodos na rede. Esta largura de banda de rede pode ser *alta* ou *baixa*. As quantidades de banda de saída, em termos de número de fluxos de vídeos, para as duas categorias são definidas pelos parâmetros B_{alta} e B_{baixa} . Consideramos também a utilização do parâmetro θ , que indica a porcentagem de nodos com banda de rede de saída baixa - B_{baixa} - no sistema.

Por fim, consideramos que em todas as estratégias baseadas em redes P2P, os nodos têm conhecimento da banda de rede dos seus parceiros. Em um cenário real, isto poderia ser obtido, por exemplo, através de um compartilhamento dessa informação entre os participantes da rede.

²intervalo de tempo que um usuário estaria disposto a visualizar o conteúdo transmitido pelo canal.

Tabela 4.2. Cenários de Avaliação

Cenário	B_{alta}	B_{baixa}
1	4δ	1δ
2	2δ	1δ
3	1δ	$0,5\delta$
4	$0,5\delta$	$0,25\delta$

4.2.3 Cenários de Avaliação

Em nossa avaliação, consideramos 4 cenários definidos em função dos parâmetros B_{alta} e B_{baixa} , que determinam as larguras de banda de saída disponíveis em cada categoria de nodo participante. A Tabela 4.2 resume estes cenários, apresentando os valores de B_{alta} e B_{baixa} expressos em termos do número de fluxos de vídeo correspondentes. O parâmetro δ representa o número de fluxos de vídeo, como foi definido na Seção 4.2.1. Estes cenários cobrem situações diversas que podem acontecer na prática.

Para cada cenário consideramos 4 variações definidas pelo valor do parâmetro θ , que representa a fração de nodos com largura de banda B_{baixa} . As variações consideradas consistem de valores de θ iguais a 0%, 25%, 50% e 75%. Referenciaremos um cenário, com sua devida variação, de acordo com o exemplo: cenário 2 ($\theta=0\%$) e cenário 2 ($\theta=75\%$) que referenciam o cenário 2, cujos nodos com maior banda de saída possuem $B_{alta}=2\delta$ e aqueles com menor banda de saída $B_{baixa}=1\delta$, considerando 0% e 75% dos nodos com a menor banda de rede.

Huang et al. [2007] quantificaram os usuários de acordo com sua banda de rede tanto de saída como de entrada. Os resultados mostraram que aproximadamente 60% dos usuários possuem até 768 Kbps e 40% possuem até 384 Kbps (sendo que 25% possuem pelo menos 384 Kbps). Em Di Wu & Ross [2009] foram utilizadas proporções de banda de rede similares em seus experimentos. Com isso, talvez o cenário que melhor represente o caso real reportado em Huang et al. [2007] seja o cenário 2 com $\theta=25\%$ ou $\theta=50\%$, para o caso em que a taxa de codificação do vídeo seja de aproximadamente 350 Kbps.

Utilizamos uma configuração de rede com $N=1000$ nodos, sendo um deles o servidor. Consideramos transmissões de fluxo de vídeo ao vivo. O servidor produz fluxo de vídeo a uma taxa de 6 *chunks* por segundo, cada *chunk* possui 7220 bytes, sendo um valor realista para esses tipos de aplicações [Dhungel et al., 2007].

Cada participante se conecta a um número máximo de vizinhos ($v=30$). Inicialmente, um participante tenta se conectar diretamente a 50% do número máximo de vizinhos permitido e pode realizar novas parcerias durante a sua participação no

sistema, podendo isso acontecer por pedidos de outros nodos, ou por necessidade de incrementar a quantidade de dados recebidos da rede.

Todas as transmissões simuladas duraram 30 minutos. Este valor foi escolhido por representar a duração de uma transmissão típica do sistema analisado, que é de 26,3 minutos como mostrado na Tabela 3.1.

Definições de outros parâmetros utilizados nas simulações são: intervalo de tempo máximo de espera (T) igual a 120 segundos; intervalo de tempo na fase 1 da estratégia híbrida e híbrida controlada (ω) igual a 1, 2 e 5 minutos; número máximo de nodos conectados simultaneamente no servidor da estratégia híbrida controlada (L) igual a 40.

4.3 Resultados

Nesta seção apresentamos os resultados da avaliação das estratégias alternativas para transmissão de vídeo ao vivo, com o intuito de suportar um serviço semelhante ao do caracterizado. Consideramos as estratégias P2P pura, híbrida e híbrida controlada, bem como a cliente/servidor. As seções seguintes apresentam os principais resultados quanto a cada métrica considerada, a saber, continuidade da transmissão (4.3.1), atraso de inicialização (4.3.2) e contribuição dos clientes (4.3.3) e do servidor (4.3.4). A Seção 4.3.5 sumariza os principais resultados.

Os resultados apresentados a seguir são valores médios de 5 experimentos. Intervalos de confiança de 90% foram calculados para todos os experimentos. A fim de melhorar a legibilidade dos gráficos estes intervalos são omitidos. Para a métrica índice de continuidade, os resultados apresentados têm um intervalo de confiança de 90% com precisão de 1,2%, em média (17% no pior caso). Para as métricas atraso de inicialização, contribuição dos clientes e contribuição do servidor, a precisão dos resultados, com 90% de confiança, é de 20%, 13% e 12% (em média), respectivamente.

4.3.1 Qualidade Média das Transmissões

Esta seção apresenta os resultados de índice de continuidade para as 4 estratégias de transmissão nos vários cenários considerados. Esta métrica captura a qualidade da transmissão sob a perspectiva do usuário que a recebe.

Os valores médios dos índices de continuidade obtidos para todas as estratégias no cenário 1 apresentaram bons resultados (sem ocorrências abaixo de 80%), na maior parte do tempo, não sofrendo grandes variações ao longo da simulação. Logo, nesta

seção focaremos nos resultados obtidos para os outros três cenários. Os resultados para o cenário 1 são apresentados no Anexo A.

A Tabela 4.3 apresenta o resultado da porcentagem do índice de continuidade acima de 95% ao longo da transmissão, considerando todos os cenários e todos os valores de θ , bem como todas as estratégias e suas variações (quando aplicáveis). A apresentação dos dados de forma agregada é interessante devido ao elevado número de resultados. Com base nessa tabela podemos perceber que a estratégia C/S foi superior as três outras, uma vez que para todos os cenários o índice de continuidade ficou sempre acima de 95%. O custo dessa superioridade está relacionado com uma maior demanda de banda de rede no servidor, como será abordado na Seção 4.3.4. Já a estratégia P2P pura levou aos piores resultados de índice de continuidade, na maioria dos cenários, embora a demanda por banda de rede do servidor seja a menor de todas as estratégias, como será discutido. Por outro lado, a utilização da estratégia híbrida, no melhor caso ($\omega=5$ minutos para todos os valores de θ), de todos os cenários considerados, possibilita que o índice de continuidade fique acima de 95%, durante em média 90% da duração das transmissões. Já a estratégia híbrida controlada possibilita que o índice de continuidade fique superior ao de uma estratégia P2P pura, porém esse índice é inferior ao proporcionado pelas estratégias híbrida e C/S.

Vale ressaltar que um índice de continuidade acima de 95% pode ser um valor superior ao necessário para indicar uma qualidade aceitável de transmissão. Com um experimento real poderíamos identificar o limite de comparação mais adequado.

Tabela 4.3. Porcentagem do Índice de Continuidade Acima de 95% ao Longo da Transmissão, Considerando Todos os Cenários e Todos os Valores de θ

Estratégia	% do Índice de Continuidade > 95%
C/S	100%
P2P pura	31%
Híbrido $\omega=1$ min	36%
Híbrido $\omega=2$ min	53%
Híbrido $\omega=5$ min	90%
Híbrido Controlado $\omega=1$ min	6%
Híbrido Controlado $\omega=2$ min	16%
Híbrido Controlado $\omega=5$ min	39%

Vamos agora analisar os resultados do índice de continuidade mais detalhadamente. A Tabela 4.4 mostra a porcentagem do índice de continuidade acima de 95% ao longo da transmissão, para os cenários 1 $\theta=0\%$ (o melhor caso), 2 $\theta=25\%$ e $\theta=50\%$ (representativos de cenários reais reportados em Huang et al. [2007], como discutido na Seção 4.2.3), e 4 $\theta=75\%$ (o pior caso), para todas as estratégias consideradas. Uma

Tabela 4.4. Porcentagem do Índice de Continuidade Acima de 95% ao Longo da Transmissão, para o Cenário 1 $\theta=0\%$, Cenário 2 $\theta=25\%$ e $\theta=50\%$ e Cenário 4 $\theta=75\%$

Estratégia	% do Índice de Continuidade > 95%			
	cen. 1 $\theta=0\%$	cen. 2 $\theta=25\%$	cen. 2 $\theta=50\%$	cen. 4 $\theta=75\%$
C/S	100%	100%	100%	100%
P2P pura	100%	27%	21%	0%
Híbrido $\omega=1$ min.	98%	41%	39%	5%
Híbrido $\omega=2$ min.	99%	80%	78%	10%
Híbrido $\omega=5$ min.	100%	100%	100%	50%
Híbrido C. $\omega=1$ min.	12%	12%	11%	3%
Híbrido C. $\omega=2$ min.	36%	31%	27%	7%
Híbrido C. $\omega=5$ min.	53%	75%	52%	12%

informação interessante que podemos obter com o auxílio da Tabela 4.4 é que a estratégia P2P pura nos casos mostrados obteve um bom resultado apenas no cenário 1 ($\theta=0\%$). Podemos observar também, por exemplo, com o auxílio do cenário 4 $\theta=75\%$ que a híbrida foi superior a uma estratégia híbrida controlada. Isso se explica pelo fato de que na híbrida controlada nodos estão sujeitos a não participarem da fase 1 da estratégia, conectando diretamente a uma rede P2P.

Já as Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 mostram os índices de continuidade observados no decorrer da transmissão para $\theta=0\%$, $\theta=25\%$, $\theta=50\%$ e $\theta=75\%$ para os cenários 2, 3 e 4, respectivamente. Nessas figuras são mostrados os resultados referentes à estratégia C/S, P2P pura, Híbrido e Híbrido controlado, com ω valendo 1 e 5 minutos nestas duas últimas. De acordo com essas figuras, podemos observar para todas as estratégias, exceto a C/S, que a continuidade decai ao longo da transmissão, até chegar a um ponto de certa estabilidade. A explicação desse resultado depende da estratégia utilizada, embora em todos os casos exista uma relação com o número de nodos simultâneos na transmissão. No caso da estratégia P2P pura, os primeiros nodos que entram na transmissão tendem a formar parcerias e receber partes do vídeo provenientes do servidor (fonte), o que explica o bom índice de qualidade nos primeiros instantes da transmissão. No decorrer da transmissão novos nodos entram no sistema, o que resulta no aumento da formação de parcerias e recebimento de segmentos de vídeo de outros parceiros, além do servidor. Com isso, aumenta-se as chances de um nodo solicitar pacotes a nodos com baixa largura de banda, como também fica-se mais susceptível aos curtos tempos de sessão de alguns usuários, como abordado na Seção 4.1.3.

No caso da estratégia híbrida, o comportamento das curvas mostrado nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 pode ser explicado pelo fato de que, à medida que o valor de ω aumenta,

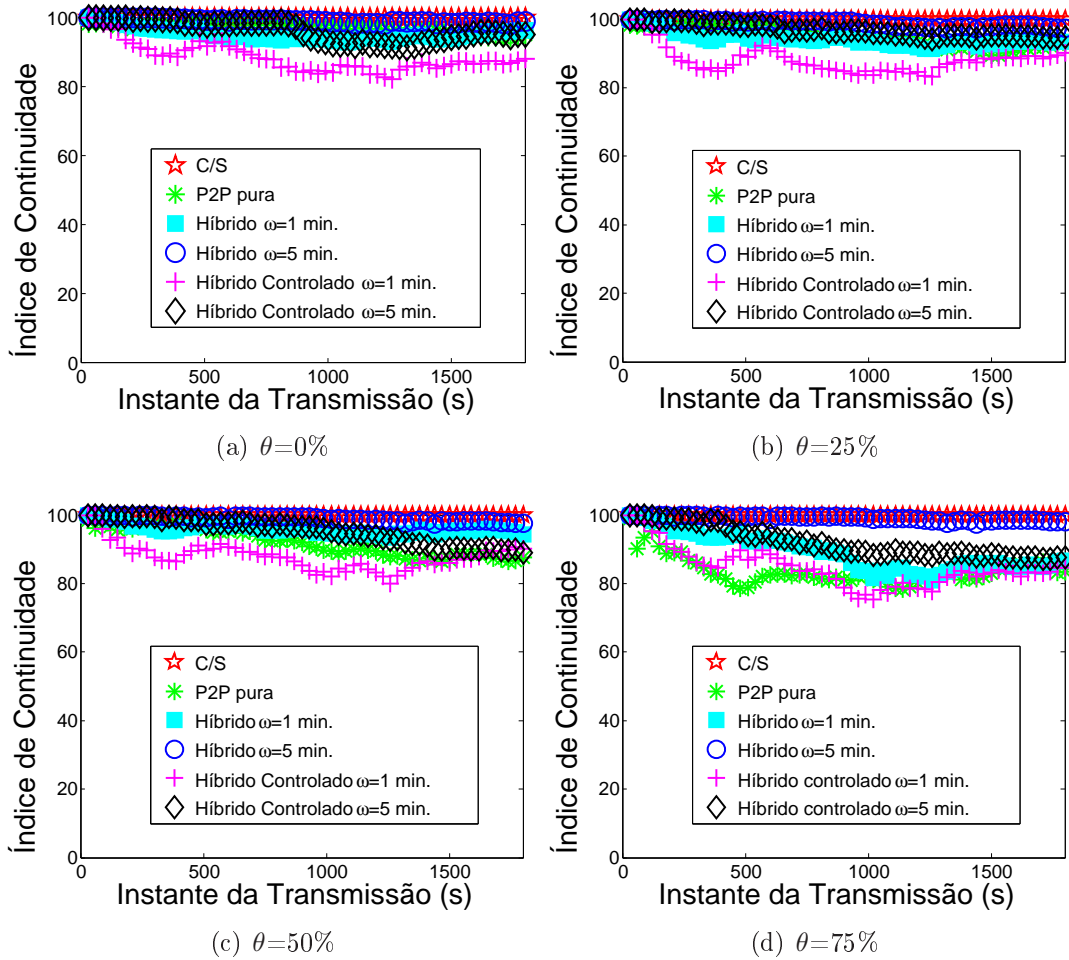


Figura 4.2. Índice de Continuidade para o Cenário 2

essa estratégia se aproxima da cliente/servidor. E à medida que esse valor diminui, ela se aproxima mais da estratégia P2P pura. Assim, os resultados para o índice de continuidade seguem tendências similares a essas estratégias. Conseqüentemente, na estratégia híbrida os melhores resultados são obtidos com o valor de ω igual a 5 minutos, uma vez que é o caso que possibilita a maior aproximação da estratégia C/S, o que implica em um maior número de clientes na fase 1, e reduz o número de clientes na fase 2, tornando a qualidade da transmissão melhor. Uma situação semelhante ocorre com a estratégia híbrida controlada, no entanto nessa estratégia existe um limite de clientes na fase 1, independente do aumento de ω .

As Figuras 4.5a e 4.5b mostram o número total de nodos (usuários) simultâneos ao longo da transmissão para todas as estratégias, exceto a C/S, no cenário 3 com $\theta=50\%$, para $\omega=5$ minutos e $\omega=1$ minuto, respectivamente. Para as estratégias híbrida e híbrida controlada estão sendo mostrados também os números de usuários na fase 2. O número

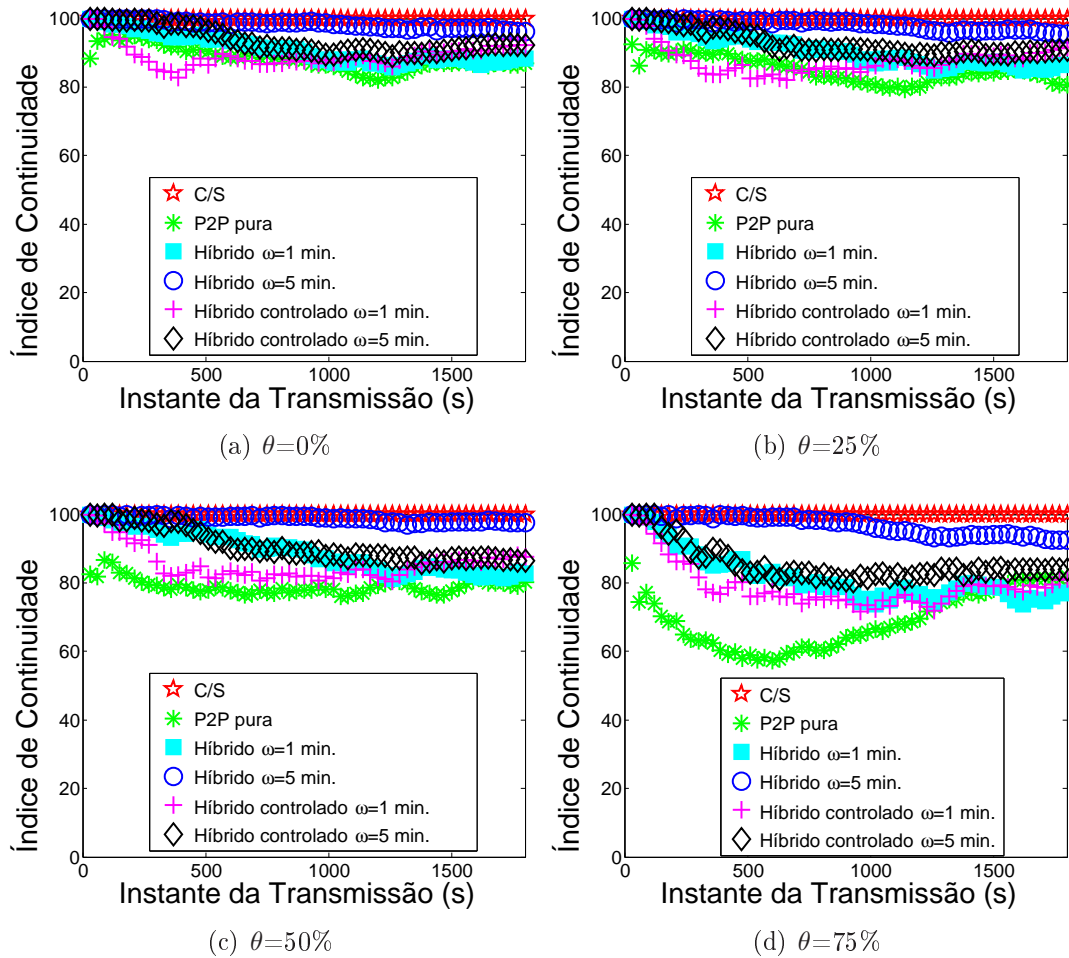


Figura 4.3. Índice de Continuidade para o Cenário 3

de usuários na fase 1 dessas estratégias é a diferença entre o número total de usuários e o número de usuários na fase 2. Observa-se que, para alguns casos, a estratégia híbrida controlada apresenta um índice de continuidade um pouco maior ao apresentado pela estratégia híbrida, como pode ser observado nas Figuras 4.3c e 4.4c, para $\omega=1$ minuto. A vantagem da estratégia híbrida em relação à híbrida controlada é a capacidade de se manter um maior número de nodos simultâneos na fase 1. Podemos observar isso com o auxílio da Figura 4.5a, e comprovar o benefício em relação à métrica índice de continuidade, com a ajuda da Figura 4.3c, para $\omega=5$ minutos. Como, especificamente para o caso onde foi considerado $\omega=1$ minuto, em todos cenários e variações, o número de nodos simultâneos na fase 1 não foi significativamente diferente entre as estratégias híbrida e híbrida controlada (situação ilustrada na Figura 4.5b), é normal de se esperar um resultado equivalente ou uma pequena diferença entre os resultados. No caso, houve uma diferença, porém, esta permaneceu em média aproximadamente 4,3% ($\sigma=2,4$),

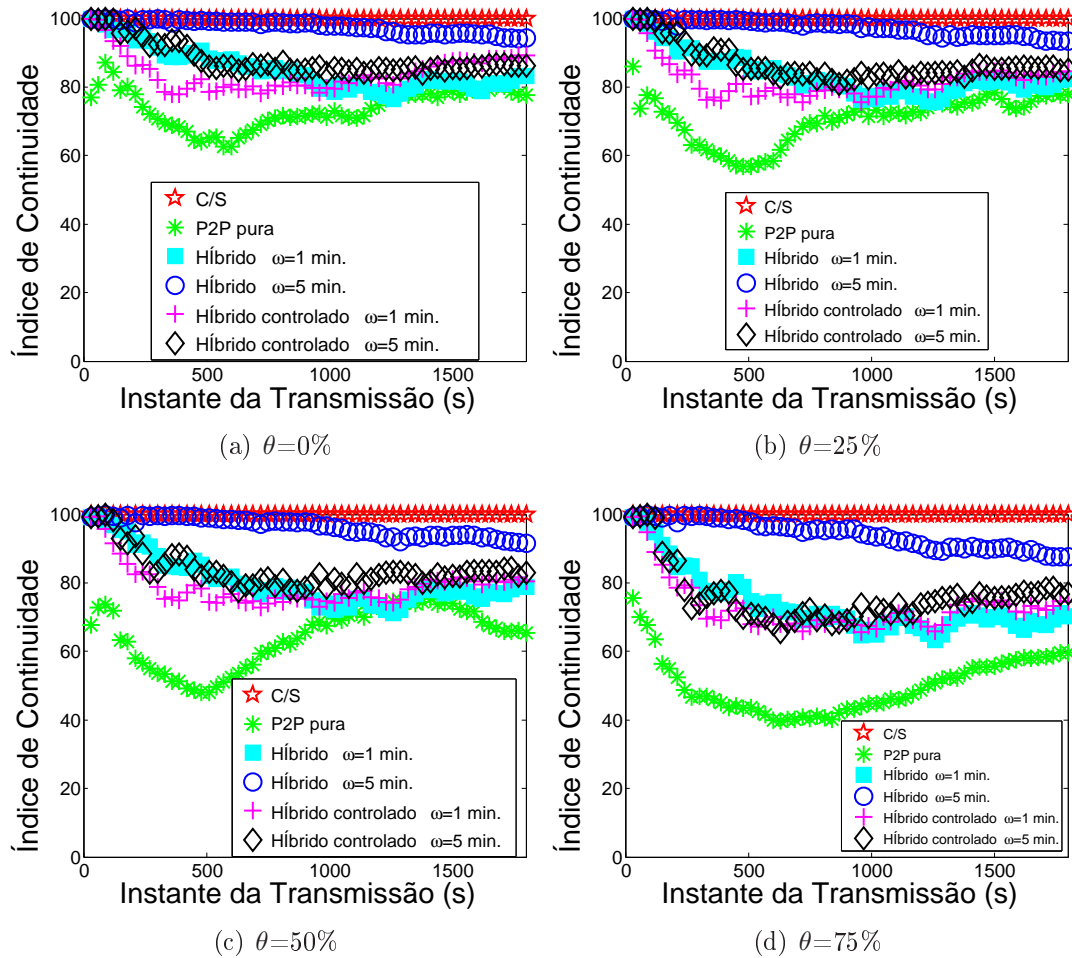


Figura 4.4. Índice de Continuidade para o Cenário 4

sendo de baixa significância.

Pode-se ainda observar que, em alguns cenários, com a utilização da estratégia P2P pura (principalmente para $\theta=50\%$ e $\theta=75\%$), obteve-se uma considerável melhora de continuidade a partir de um certo intervalo da transmissão. Essa situação é ilustrada nas Figuras 4.3d e 4.4d, que demonstram uma considerável melhora de continuidade a partir aproximadamente do instante 600 segundos da transmissão. Uma explicação para esse fenômeno é que muitos nodos não conseguiram entrar no sistema em cenários como o 3 e 4 ($\theta=75\%$), que oferecem pouca banda de rede para o sistema. Isso fez com que o número de nodos simultâneos diminuísse ao longo do tempo, o que consequentemente aumentou o índice de continuidade geral. Pode-se observar essa situação com o auxílio da Figura 4.6, que apresenta o índice de continuidade em relação ao número de nodos simultâneos ao longo da transmissão no cenário 3 para $\theta=75\%$. Sendo essa questão mais uma desvantagem da estratégia P2P pura.

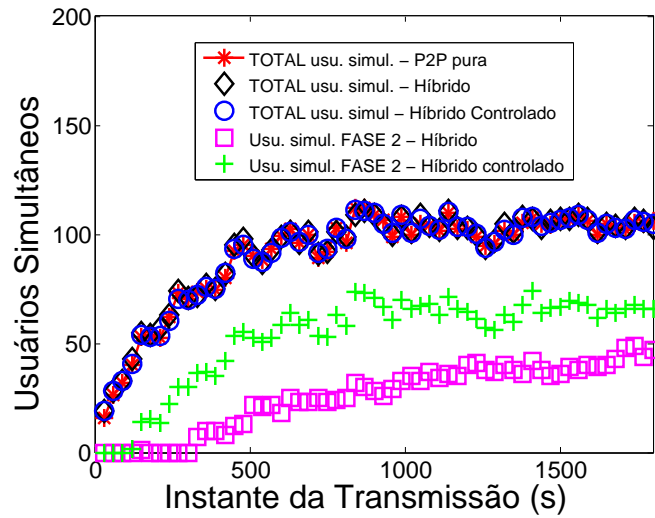
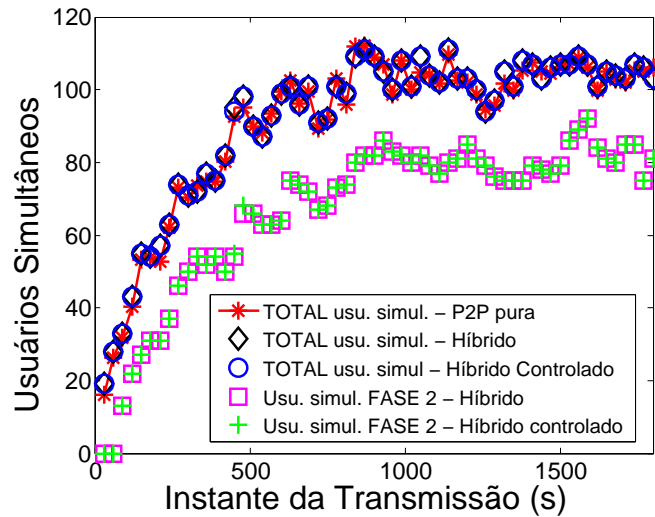
(a) ($\theta=50\%$ e $\omega=5$ min)(b) ($\theta=50\%$ e $\omega=1$ min)

Figura 4.5. Nodos Simultâneos no Cenário 3

Observa-se que, ao final da transmissão, a continuidade apresentou uma certa estabilidade para todas as estratégias. Em alguns casos, como os ilustrados nas Figuras 4.2d e 4.3d, os índices de continuidade da estratégia P2P pura e das híbridas apresentaram ainda um resultado aproximado no final da transmissão. No entanto, quando comparamos o número de nodos simultâneos no final da transmissão nessas estratégias, com o auxílio da Figura 4.6, percebemos que o número de nodos simultâneos na estratégia híbrida é consideravelmente maior do que na estratégia P2P pura.

Em suma, constatamos que a estratégia P2P pura não foi indicada para suportar usuários com tempo de sessão muito curto, além de ser mais susceptível a problemas

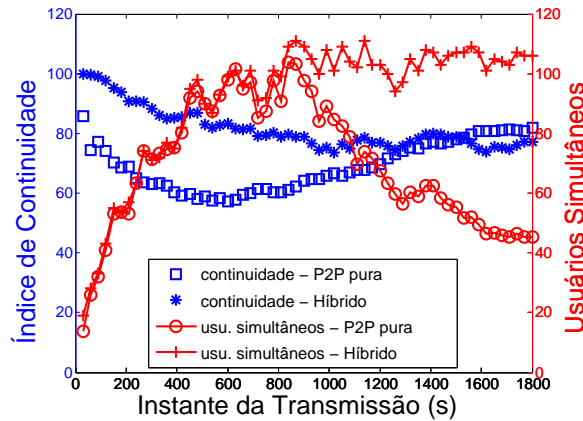


Figura 4.6. Índice de Continuidade x Nós Simultâneos (Cenário 3 $\theta=75\%$)

provenientes de um comportamento dinâmico dos usuários, apresentando resultados com relação ao índice de continuidade insatisfatórios para a maioria dos cenários. Já as estratégias híbridas se mostraram uma alternativa interessante à P2P pura. Nessa métrica a alternativa mais indicada, em substituição da C/S é a híbrida com $\omega=5$ minutos. Outras alternativas de destaque são a híbrida com $\omega=2$ minutos e híbrida controlada com $\omega=5$ minutos. Esta última deve ser considerada caso seja desejável realizar um planejamento de capacidade do servidor.

4.3.2 Atraso de Inicialização no Sistema

Nesta seção será avaliado o intervalo de tempo que os nós gastam em média para receber o primeiro pacote contendo um segmento de vídeo. Intervalo este que é denominado **atraso de inicialização**. O atraso que iremos considerar neste trabalho não leva em consideração o tempo de “bufferização”, nem mesmo o tempo que a aplicação gasta até efetivamente exibir a imagem. Estamos interessados em analisar o impacto que uma determinada estratégia poderia trazer na aquisição do primeiro segmento de vídeo.

O nosso caso base de comparação será a arquitetura C/S em que o atraso de inicialização é considerado 0 (zero), ou seja, estamos desconsiderando o atraso da transmissão de pacotes na rede e assumindo que essa arquitetura não adiciona atrasos extras para a recepção do primeiro segmento de vídeo. Uma opção compatível com o atraso de inicialização da arquitetura C/S é a estratégia híbrida, uma vez que todos os nós participantes dessa estratégia inicialmente se conectam numa arquitetura C/S.

Os atrasos de inicialização enfrentados pelos nós das transmissões que operaram com suporte da estratégia P2P pura, como também da estratégia híbrida controlada,

foram classificados em quatro faixas. A Tabela 4.5 mostra os atrasos de inicialização enfrentados por todos os nodos, de todos os cenários e variações, ao se utilizar a estratégia P2P pura e híbrida controlada para essas quatro faixas, a saber, $X=0$ segundo (s), $0s < X \leq 5s$, $5s < X \leq 10s$ e $X > 10s$. Já a Tabela 4.6 indica os atrasos de inicialização enfrentados por todos os nodos em alguns casos específicos, cenário 1 ($\theta=0\%$), cenário 2 ($\theta=25\%$ e $\theta=50\%$) e cenário 4 ($\theta=75\%$), também ao se utilizar a estratégia P2P pura e híbrida controlada, para as mesmas quatro faixas de atraso da Tabela 4.5. O motivo da escolha desses casos em específico é o mesmo motivo apresentado na seção anterior.

Tabela 4.5. Atraso de Inicialização Enfrentado por Todos os Nodos, de Todos os Cenários e Variações, ao se Utilizar a Estratégia P2P Pura e Híbrida Controlada

Estratégia	Atraso de Inicialização %			
	$X=0s$	$0s < X \leq 5s$	$5s < X \leq 10s$	$X > 10s$
P2P pura	15,2 ($\sigma=12,1$)	69,3 ($\sigma=15,9$)	9,4 ($\sigma=12,3$)	6 ($\sigma=2,7$)
Híbrida C. $\omega=1min.$	49,3 ($\sigma=0,08$)	50,6 ($\sigma=0,06$)	0,013 ($\sigma=0,03$)	0,05 ($\sigma=0,05$)
Híbrida C. $\omega=2min.$	44,3 ($\sigma=0,4$)	53,9 ($\sigma=0,4$)	0,6 ($\sigma=0,3$)	1,21 ($\sigma=0,5$)
Híbrida C. $\omega=5min.$	28,51 ($\sigma=0,4$)	66 ($\sigma=5,4$)	1,7 ($\sigma=1,9$)	3,75 ($\sigma=1,5$)

Como é possível observar na Tabela 4.5, em média, mais de 6% dos nodos na estratégia P2P pura apresentaram atraso de inicialização acima de 10 segundos (sendo o maior atraso observado de 53,4 segundos). Estudos relacionados a atrasos na Web demonstram que um atraso acima de 10 segundos encoraja os usuários a pensarem que tenha havido algum erro com relação a uma ação realizada [Bouch et al., 2000; Nielsen, 1994]. Especificamente com relação ao atraso devido às mudanças de canais, Kooij et al. [2006] revelou que os atrasos a partir de 5 segundos são considerados insatisfatórios em um sistema de IPTV, indicando que os resultados apresentados pela estratégia P2P pura podem não ser desejáveis.

Os atrasos de inicialização no sistema, obtidos pelos nodos ao participarem do sistema com a estratégia híbrida, foi semelhante aos valores obtidos pelos nodos em um sistema que utilizava exclusivamente uma arquitetura C/S. Essa estratégia obteve esse resultado em troca de uma maior utilização da banda de rede do servidor, quando comparado com a estratégia P2P pura, uma vez que todos os nodos nessa estratégia obtêm os primeiros segmentos de vídeo a partir da fonte.

Na estratégia híbrida controlada, à medida que o limite de permanência na fase 1 dessa estratégia aumenta o atraso de inicialização enfrentado pelos nodos também se eleva, como é possível observar em melhores detalhes com o auxílio da Tabela 4.6. Como na estratégia híbrida controlada existe um limite de nodos simultâneos se beneficiando do servidor, quanto maior o limite de permanência na fase 1 utilizado pela estratégia,

Tabela 4.6. Atrasos de Inicialização Enfrentados por Todos os Nodos no Cenário 1 ($\theta=0\%$), Cenário 2 ($\theta=25\%$ e $\theta=50\%$) e Cenário 4 ($\theta=75\%$), ao se Utilizar as Estratégias P2P Pura e Híbrida Controlada

Estratégia	Atraso de Inicialização %			
	Cenário 1 $\theta=0\%$			
	X = 0s	0s < X <= 5s	5s < X <= 10s	X > 10s
P2P pura	15,07	71,09	6,81	7,02
Híbrida C. ω 1 min.	99,66	0,3	0	0
Híbrida C. ω 2 min.	88,34	9,42	0,22	1,91
Híbrida C. ω 5 min.	50,62	41,96	1,46	5,85
Cenário 2 $\theta=25\%$				
P2P pura	12,55	78,95	2,53	5,87
Híbrida C. ω 1 min.	99,7	0,2	0	0
Híbrida C. ω 2 min.	87,8	10,53	0,9	0,6
Híbrida C. ω 5 min.	62,78	34,29	0,2	2,63
Cenário 2 $\theta=50\%$				
P2P pura	10,23	82,41	3,26	4,05
Híbrida C. ω 1 min.	99,86	0,2	0	0
Híbrida C. ω 2 min.	80,94	16,14	0,78	2,02
Híbrida C. ω 5 min.	49,7	47,28	0,8	2,1
Cenário 4 $\theta=75\%$				
P2P pura	3,04	57,43	34	5,5
Híbrida C. ω 1 min.	99,66	0,11	0,11	0
Híbrida C. ω 2 min.	82,77	15,32	1,12	0,6
Híbrida C. ω 5 min.	28,36	63,34	6,28	1,91

menos nodos terão acesso a essa fase ao entrarem no sistema. Isso faz com que esses nodos se conectem diretamente à fase 2 (arquitetura P2P), estando sujeitos aos atrasos de inicialização impostos pela rede dessa fase.

Observamos que a estratégia híbrida controlada apresentou, na maioria dos casos, um resultado superior à estratégia P2P pura em todos os casos, principalmente para os resultados obtidos com a utilização dos valores de ω valendo 1 e 2 minutos. No entanto, a melhor estratégia, com relação a essa métrica, em substituição à estratégia C/S foi a híbrida, para qualquer valor de ω , uma vez que apresenta resultados semelhantes à mesma.

4.3.3 Contribuição dos Nodos Clientes no Sistema

Nesta seção utilizamos a métrica contribuição para avaliar as contribuições realizadas pelos nodos ao funcionamento do sistema. Em todos os cenários e variações observamos

que, no geral, os nodos não contribuíram mais do que receberam. Foi possível constatar também que os nodos da estratégia P2P pura contribuíram mais ao sistema do que os nodos das estratégias híbridas. E que ambas as estratégias híbridas para todos os valores de ω apresentaram bons resultados.

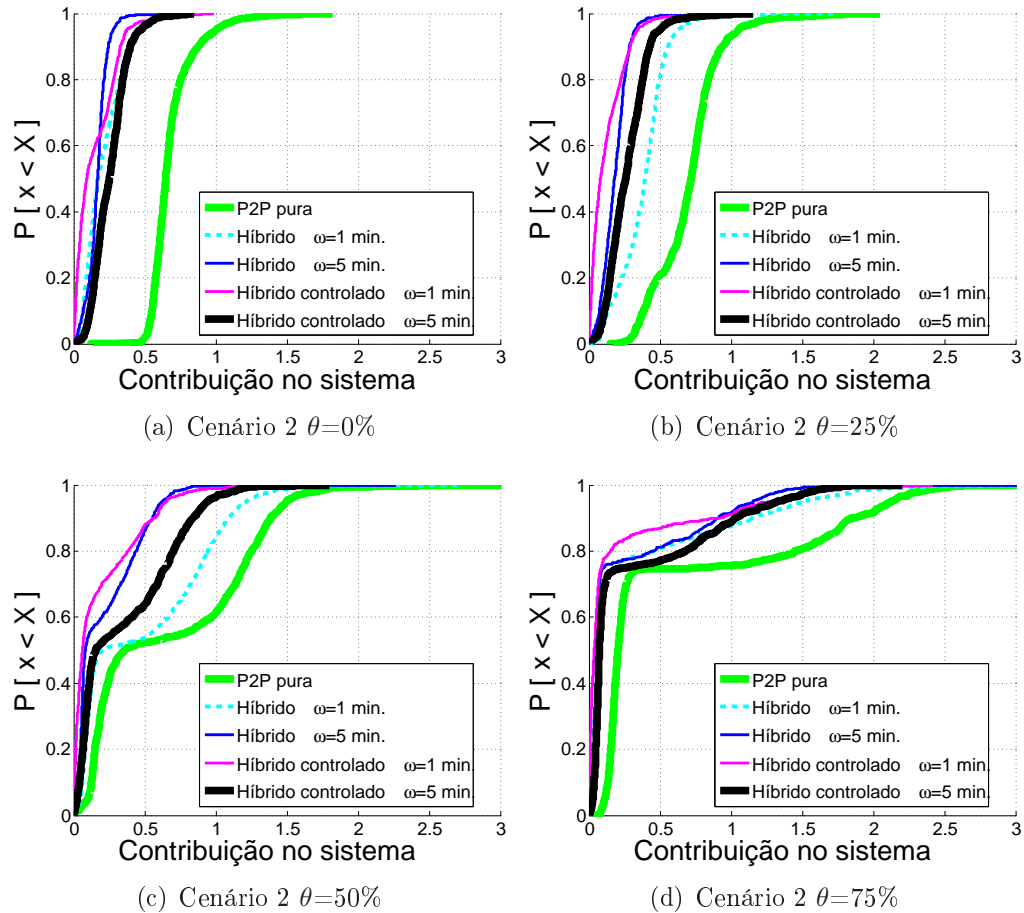


Figura 4.7. Contribuição dos Nodos no Sistema, para o Cenário 2 com Todas as Suas Variações

As Figuras 4.7³, 4.8 e 4.9 mostram a função cumulativa de probabilidade referente à contribuição dos nodos para os cenários 2, 3 e 4, respectivamente, considerando $\theta=0\%$, $\theta=25\%$, $\theta=50\%$ e $\theta=75\%$. O eixo x dessa figura representa o número de vezes que um cliente contribuiu no sistema em relação ao que ele recebeu. Por exemplo, se a contribuição do cliente for igual a dois, quer dizer que esse cliente contribuiu o equivalente a duas vezes do que foi recebido por ele. Optamos por não incluir as figuras com esses resultados referentes ao cenário 1, pois não agregam informações interessantes de serem discutidas no texto. Elas podem ser encontradas no anexo B.

³sendo mostrado até a contribuição de três vezes ao que foi recebido pelo cliente, a fim de enfatizar as partes mais expressivas das curvas mostradas

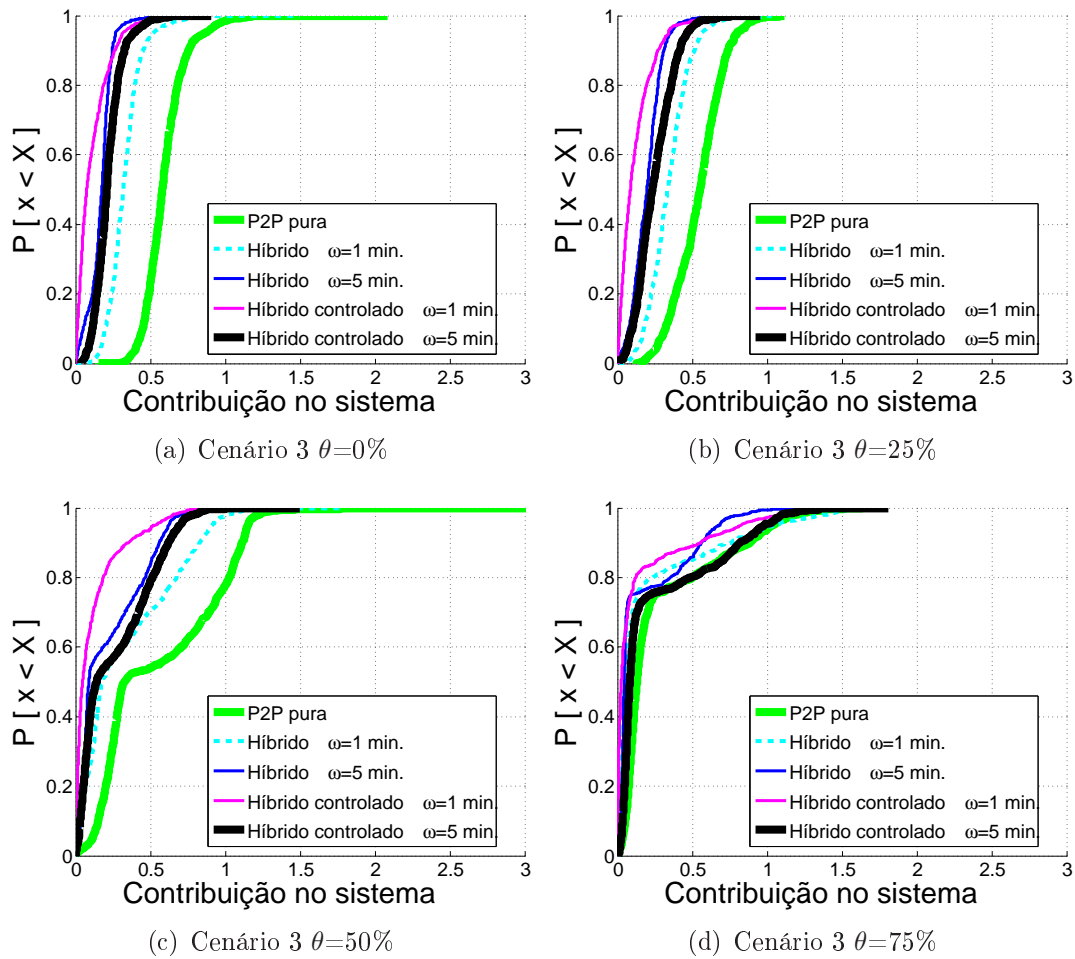


Figura 4.8. Contribuição dos Nodos no Sistema, para o Cenário 3 com Todas as Suas Variações

As maiores ocorrências de nodos que contribuíram mais do que receberam foram observadas nos casos onde θ varia 50% e 75%. Isso pode ser explicado devido ao fato de que os nodos com melhor banda de rede tendem a receber mais requisições de segmentos do vídeo pelos seus parceiros no sistema, e especificamente nos casos onde θ varia 75%, os nodos com melhores condições de banda de rede estão em menor número e acabam sendo mais solicitados. Essa situação é ilustrada pelas Figuras 4.7d, 4.8d e 4.9d.

Os nodos de uma transmissão suportada pelas estratégias híbridas geralmente contribuem menos no sistema em comparação com uma estratégia P2P pura. Isso se explica pelo fato dos nodos nessas estratégias permanecerem parte, ou todo o seu tempo de sessão na transmissão, conectados diretamente a uma arquitetura cliente/servidor, apenas solicitando pacotes ao servidor, aumentando a utilização da banda de rede do mesmo. Isso reduz o número de pedidos de segmentos de vídeo a outros nodos, fazendo com que a contribuição geral dos nodos seja menor. Essa situação é ilustrada com o

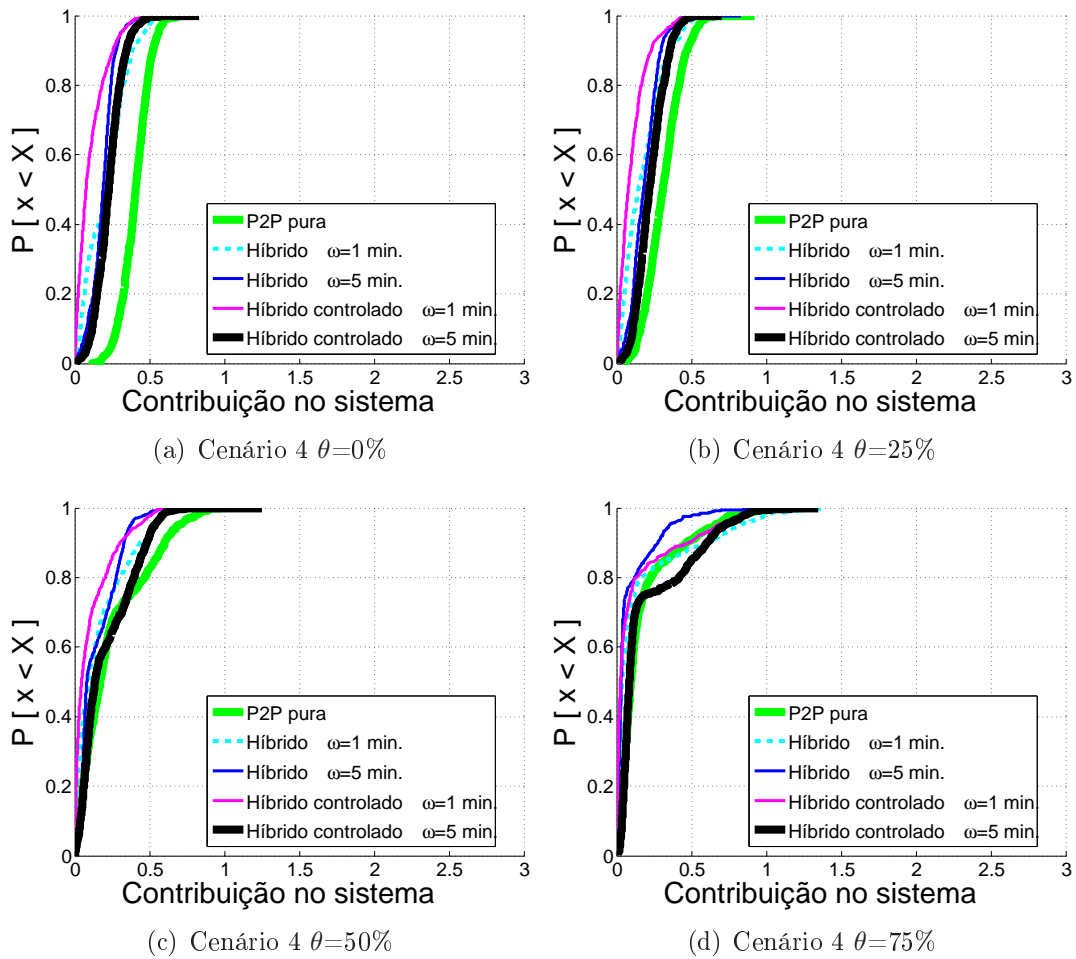


Figura 4.9. Contribuição dos Nodos no Sistema, para o Cenário 4 com Todas as Suas Variações

auxílio das Figuras 4.7a e 4.7b, 4.8a e 4.8b, como também 4.9a e 4.9b. No entanto, observa-se em algumas situações, como a representada nas Figuras 4.8d e 4.9d, que os nodos da estratégia P2P pura contribuíram, em vários casos, menos ao sistema do que os nodos das estratégias híbridas. Isso se explica devido ao fato de que nesses casos, o índice de continuidade observado na transmissão suportada pela estratégia P2P pura foi, na maior parte do tempo, muito inferior ao valor observado com o uso das estratégias híbridas, situação que pode ser observada nas Figuras 4.3d e 4.4d. Um índice de continuidade baixo nesse caso possui relação com a baixa contribuição dos nodos ao sistema.

A Tabela 4.7 mostra a contribuição dos clientes ao sistema em todos os cenários e suas variações, para todas as estratégias de transmissão. A contribuição foi categorizada em três faixas, a saber, “ $X < 0,5\delta$ ”, “ $0,5\delta < X \leq 1\delta$ ” e “ $X > 1\delta$ ” (δ representa o número de fluxos de vídeo, como foi definido na Seção 4.2.1). De acordo com essa ta-

Tabela 4.7. Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema em Todos Cenários e Todas suas Variações para Todas as Estratégias de Transmissão

Estratégia	Contribuição %		
	$X < 0,5\delta$	$0,5\delta < X \leq 1\delta$	$X > 1\delta$
P2P pura	54,4 ($\sigma=29,2$)	33,8 ($\sigma=32,6$)	11,6 ($\sigma=14,1$)
Híbrida $\omega=1$ min.	85 ($\sigma=13,1$)	10 ($\sigma=8,9$)	5 ($\sigma=7,3$)
Híbrida $\omega=2$ min.	87,8 ($\sigma=12,6$)	9,18 ($\sigma=10,6$)	2,8 ($\sigma=5,16$)
Híbrida $\omega=5$ min.	93,6 ($\sigma=7,2$)	5,13 ($\sigma=5,6$)	1,1 ($\sigma=2,7$)
Híbrida Controlada $\omega=1$ min.	93,5 ($\sigma=5,1$)	5,1 ($\sigma=4,1$)	1,2 ($\sigma=2,4$)
Híbrida Controlada $\omega=2$ min.	93,4 ($\sigma=5,9$)	5,5 ($\sigma=5,1$)	0,8 ($\sigma=1,7$)
Híbrida Controlada $\omega=5$ min.	89 ($\sigma=10,7$)	8,5 ($\sigma=9,2$)	2,5 ($\sigma=5,02$)

bela é possível notar que, no geral, a estratégia P2P pura é a menos econômica e que as estratégias híbridas, para todos os valores de ω , não apresentam variações significativas de seus resultados, e estes ainda são satisfatórios.

No anexo B são mostradas outras tabelas com a contribuição dos clientes para alguns cenários e variações específicas.

4.3.4 Contribuição do Servidor no Sistema

Nesta seção analisamos a contribuição do servidor (fonte) realizada no sistema. Foi possível comprovar que a estratégia que proporcionou a maior economia de banda de rede para o servidor foi a P2P pura. Será mostrado também que a estratégia que demandou a maior quantidade de banda de rede foi a C/S, e que a estratégia híbrida, mesmo no caso onde ω valia 5 minutos, proporcionou uma economia de banda em relação à estratégia C/S.

A Figura 4.10 ilustra a contribuição da fonte em todas as estratégias consideradas para o cenário 3 $\theta=0\%$ e ω valendo 1, 2 e 5 minutos. Optamos por mostrar apenas informações referentes a esse cenário e variação, devido à baixa variabilidade dos resultados observados nos outros casos. Como podemos observar, a contribuição realizada por uma fonte na estratégia C/S é significativamente maior do que em todas as outras estratégias.

Observa-se também, ainda com o auxílio da Figura 4.10, que o servidor na estratégia P2P pura tende a contribuir menos ao sistema com o aumento do número de nodos simultâneos na transmissão. Isso aconteceu devido ao fato de que, com um maior número de nodos no sistema, as opções para se obter um determinado segmento de vídeo são maiores, com isso o servidor tende a se tornar menos requisitado. Isso resulta em uma maior contribuição dos nodos do sistema, como pode ser observado na

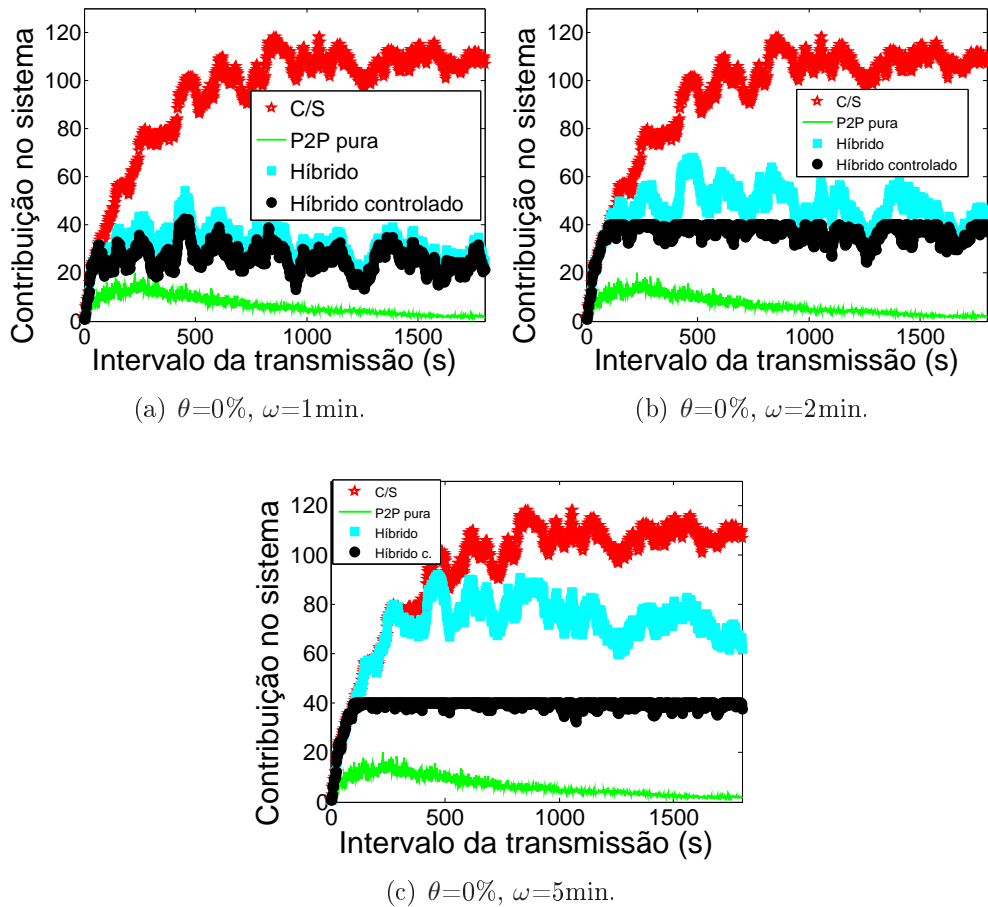


Figura 4.10. Contribuição da Fonte no Sistema, Cenário 3

Tabela 4.7, discutida na seção anterior. Já na estratégia C/S a contribuição efetuada foi proporcional ao número de nodos simultâneos na transmissão, pois nessa estratégia o servidor proporciona um fluxo de vídeo exclusivo para cada cliente. Na estratégia híbrida, quanto maior o valor de ω , maior é a quantidade de banda de rede demandada à fonte da transmissão. Isso acontece porque quanto maior o valor de ω , dessa estratégia, mais nodos participam simultaneamente da fase 1, se aproximando mais de uma estratégia C/S. E na estratégia híbrida controlada a contribuição realizada pelo servidor foi no máximo equivalente ao limite definido neste trabalho ($L = 40$).

A Tabela 4.8 apresenta os resultados da economia de banda de rede proporcionada por todas as estratégias em relação à estratégia C/S, para todos os cenários e suas variações. Já a Tabela 4.9 apresenta a economia de banda de rede proporcionada por todas as estratégias em relação à estratégia C/S, para o cenário 1 ($\theta=0\%$), cenário 2 ($\theta=25\%$ e $\theta=50\%$) e cenário 4 ($\theta=75\%$). É possível observar que os resultados desta última tabela são semelhantes aos do apresentado na Tabela 4.8, o que acontece também

Tabela 4.8. Economia de Banda de Rede Proporcionada em Comparação com a Estratégia C/S

Estratégia	Economia em relação à estratégia C/S (σ)
P2P pura	91,9% (10,8)
Híbrida $\omega=1$ min.	63,9% (17,4)
Híbrida $\omega=2$ min.	47,1% (17,6)
Híbrida $\omega=5$ min.	22,4% (13)
Híbrida Controlada $\omega=1$ min.	69,2% (16,7)
Híbrida Controlada $\omega=2$ min.	57,2% (17,4)
Híbrida Controlada $\omega=5$ min.	54,8% (17,2)

Tabela 4.9. Economia de Banda de Rede Proporcionada em Comparação com a Estratégia C/S, pelo Cenário 1 $\theta=0\%$, Cenário 2 $\theta=25\%$ e $\theta=50\%$ e Cenário 4 $\theta=75\%$

Estratégia	Economia em relação à estratégia C/S (desvio padrão)			
	Cen1. $\theta=0\%$	Cen. 2 $\theta=25\%$	Cen. 2 $\theta=50\%$	Cen. 4 $\theta=75\%$
P2P pura	90% (10)	92% (10)	92% (9)	92% (13)
Híbrido $\omega=1$ min.	63% (18)	64% (17)	65% (16)	65% (18)
Híbrido $\omega=2$ min.	46% (18)	48% (18)	47% (17)	47% (18)
Híbrido $\omega=5$ min.	22% (13)	23% (13)	22% (13)	23% (13)
Híbrido C. $\omega=1$ min.	68% (17)	69% (17)	69% (16)	69% (16)
Híbrido C. $\omega=2$ min.	56% (18)	57% (18)	57% (18)	57% (18)
Híbrido C. $\omega=5$ min.	53% (17)	54% (17)	54% (17)	55% (17)

para os outros cenários e suas variações. Assim, discutiremos apenas os resultados dessa tabela.

Como podemos observar com o auxílio da Tabela 4.8, a estratégia P2P pura foi a que proporcionou a maior economia de banda rede, 91,9%. No entanto, esta expressiva economia possui também um elevado custo associado. Como mostramos nas seções anteriores, os nodos nessa estratégia obtiveram, em valores médios, os menores índices de continuidade, contribuíram mais e apresentaram elevados atrasos de inicialização no sistema. Com isso, mesmo com a economia proporcionada ao servidor essa estratégia pode não ser a mais indicada.

Ainda com base na Tabela 4.8, podemos observar que a economia de banda de rede proveniente da estratégia híbrida, quando comparada com a estratégia C/S, é inversamente proporcional ao valor de ω . Quanto maior esse valor, menor a economia. Isso também se explica devido ao maior número de nodos simultâneos na fase 1, dessa estratégia, com o aumento do valor de ω . No entanto, como foi possível observar nos resultados referentes à métrica índice de continuidade, com o aumento do valor de ω aumenta-se também o índice de continuidade.

Apesar da estratégia híbrida proporcionar uma economia de banda de rede em relação à estratégia C/S, é válido questionar se esta economia valeria a pena para todos os casos. Se analisarmos, por exemplo, o caso onde consideramos $\omega=5$ minutos, que proporcionou o melhor índice de continuidade, a economia de banda proporcionada foi de apenas 22% em média (Tabela 4.8). Em nem todos os casos sempre é justificável a manutenção de duas arquiteturas de rede (C/S e P2P), necessárias para o funcionamento dessa estratégia, em troca desta economia. Para esses casos deve-se considerar, por exemplo, a redução de ω (que reduz a utilização da banda de rede do servidor, em troca da diminuição da qualidade da transmissão), ou até mesmo a utilização da estratégia híbrida controlada, que garante um limite de utilização máximo da banda de rede do servidor.

Como na estratégia híbrida controlada o gasto do servidor é limitado, o ganho dessa abordagem está relacionado ao número máximo de clientes simultâneos definidos (L). Em nossos experimentos essa redução não é significativa se compararmos os resultados obtidos com $\omega=2$ e $\omega=5$ minutos. Isso se explica pelo fato de que nesses casos, atinge-se o limite L na maior parte do tempo, significando que foi atingida a economia mínima em relação à estratégia C/S na maior parte do tempo, para ω valendo 2 e 5 minutos nessa estratégia. Já com $\omega=1$ minuto o limite L não é atingido na maioria das vezes, o que proporciona uma economia um pouco melhor do que a proporcionada ao se utilizar ω igual a 2 ou 5 minutos.

A seguir apresentamos uma comparação entre a estratégia híbrida com a híbrida controlada. A Tabela 4.10 mostra os valores médios, referentes à economia proporcionada pela estratégia híbrida controlada em relação à estratégia híbrida, para todos os cenários e suas variações. Como já era de se esperar, quanto maior o valor de ω , maior a economia. Podemos observar uma expressiva melhora, favorável à estratégia híbrida controlada (aproximadamente 43%), para o caso em que ambas as estratégias consideraram $\omega=5$ minutos.

Ainda com o auxílio da Tabela 4.10, é possível observar também que a estratégia híbrida controlada sempre possibilita uma economia de banda em relação à estratégia híbrida, mesmo em situações em que a estratégia híbrida utiliza um valor de ω menor do que o utilizado na estratégia híbrida controlada. Por exemplo, ao se considerar $\omega=1$ minuto na estratégia híbrida e $\omega=5$ minutos na estratégia híbrida controlada, o valor da economia média proporcionada pela estratégia híbrida controlada foi em média de 10%.

Como foi possível notar na Seção 4.3.1, a estratégia híbrida com $\omega=5$ minutos foi a que apresentou o melhor índice de continuidade em relação a todos os cenários considerados. Porém, percebemos com auxílio das análises apresentadas nesta seção

Tabela 4.10. Economia de Banda de Rede Proporcionada pela Estratégia Híbrida Controlada em Relação à Híbrida, Em Todos os Cenários e Variações

	Híbrida $\omega=1\text{min}$	Híbrida $\omega=2\text{min}$	Híbrida $\omega=5\text{min}$
Híbrida C. $\omega=1\text{min}$ (σ)	14,15% (7,4)	44,9% (7,7)	61,5% (14,4)
Híbrida C. $\omega=2\text{min}$ (σ)	9,35 (6,2)	19,4% (10,03)	46,11% (13,8)
Híbrida C. $\omega=5\text{min}$ (σ)	10,1% (6,4)	13,78% (10,9)	42,8% (13,18)

(4.3.4), que essa estratégia é a que proporciona a menor economia de recursos do servidor. Embora a economia proporcionada seja bastante significativa, ela pode não ser suficiente a ponto de justificar a utilização dessa estratégia. A mesma ainda não permite a realização de um bom planejamento de carga, que só é possível com a utilização de sua variação, a estratégia híbrida controlada. Considerando somente a estratégia híbrida controlada, o caso onde se obteve o melhor custo benefício, entre economia de recursos e qualidade do sistema, foi o que considerou $\omega=5$ minutos.

4.3.5 Sumarização dos Principais Resultados

Com base nos resultados discutidos nas seções anteriores, percebe-se que a estratégia C/S proporciona 100% da duração da transmissão um índice de continuidade acima de 95%. Essa estratégia ainda possui o mais baixo tempo de inicialização e os clientes não necessitam contribuir com banda de rede para o funcionamento do sistema. No entanto, essa estratégia possui a maior demanda por banda de rede do servidor.

A estratégia P2P pura é a estratégia mais econômica, em termos de utilização de banda de rede do servidor. Em contrapartida é a menos econômica em termos de utilização de banda de rede dos clientes, e apresenta o maior atraso de inicialização. Essa estratégia ainda, na maioria dos casos, não apresenta uma qualidade de serviço aceitável. Em média, durante apenas 31% da duração das transmissões, esta estratégia proporciona um índice de continuidade acima de 95%.

Já a utilização da estratégia híbrida, no seu melhor caso considerado, possibilita que o índice de continuidade fique acima de 95%, durante em média 90% da duração das transmissões. No entanto, a desvantagem dessa estratégia é a maior demanda por banda de rede quando comparada à estratégia P2P pura. Apesar disso, foi capaz de economizar, no pior caso, em média 22% de banda de rede, quando comparada com a estratégia C/S. Essa estratégia ainda possui atraso de inicialização equivalente ao da estratégia C/S e proporciona uma mesma economia, em termos de banda de rede do cliente, da estratégia híbrida controlada.

A estratégia híbrida controlada possibilita, no seu melhor caso considerado, que o índice de continuidade fique superior ao de uma estratégia P2P pura, porém, esse

índice é inferior ao proporcionado pelas estratégias híbrida e C/S. O mesmo acontece em relação à métrica atraso de inicialização. Essa estratégia proporciona uma maior economia em termos de banda de rede do servidor em relação à estratégia híbrida, porém isso não acontece em relação à estratégia P2P pura.

Comparando-se os prós e contras de todas as estratégias consideradas, levando em conta todas as métricas analisadas, a estratégia híbrida, principalmente para ω igual a 2 e 5 minutos, foi a alternativa que proporcionou uma melhor relação entre consumo de recursos do sistema e qualidade de serviço.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

Serviços de vídeo ao vivo da chamada Web 2.0, que possibilitam a transmissão de fluxos gerados pelos próprios usuários, estão crescendo em popularidade. Para garantir o bom funcionamento desse tipo de sistema é necessária uma quantidade considerável de banda de rede, principalmente em horários de pico em que o número de clientes simultâneos pode ser muito grande. Isso acontece porque esses sistemas tipicamente operam em uma arquitetura cliente/servidor, sendo comumente necessário o estabelecimento de uma conexão independente para cada cliente. Atualmente existem arquiteturas de redes alternativas para suportar tais serviços, como a Par-a-Par (P2P). Porém, no melhor do nosso conhecimento, não foi encontrada nenhuma avaliação do desempenho dessas arquiteturas no suporte a esse tipo de serviço. Assim, esse trabalho tem por objetivo propor e avaliar mecanismos de distribuição de conteúdo em larga escala para serviços de vídeo ao vivo da Web 2.0.

Para alcançar estes objetivos, esta dissertação consistiu de duas grandes etapas. Na primeira, foi realizada uma extensa caracterização dos padrões de comportamento típicos dos usuários de um sistema de vídeos ao vivo real, o YahooLive. A caracterização foi feita com base em um conjunto de dados coletados durante 23 dias, os quais incluíam mais de 1 milhão de sessões de usuários distribuídas em mais de 7 mil canais de transmissão. Foram identificados modelos para a duração das sessões, o processo de chegada de novas sessões durante uma transmissão, o número e a duração das transmissões realizadas pelos canais e o intervalo médio entre transmissões sucessivas de um mesmo canal. Identificamos também que existe um grande número de sessões muito curtas, que podem caracterizar a ação de verificar o conteúdo de um determinado canal. Além disso, constatamos que os usuários tendem a permanecer mais tempo em canais populares.

Na segunda etapa do trabalho, propusemos e avaliamos estratégias para suporte

a sistemas Web 2.0 para transmissão de vídeo ao vivo. Para tanto, os resultados da caracterização realizada foram utilizados na construção de um simulador de diferentes arquiteturas de distribuição de conteúdo, incluindo as tradicionais soluções cliente/servidor e Par-a-Par pura. Os resultados da caracterização também motivaram a proposição de duas novas estratégias, denominadas híbrida e híbrida controlada, que combinam os benefícios dessas duas arquiteturas, C/S e P2P pura.

Uma avaliação, via simulação, do custo-benefício das estratégias C/S, P2P pura, híbrida e híbrida controlada, em diversos cenários, mostra que uma estratégia P2P pura foi a estratégia mais econômica em termos de utilização de banda de rede do servidor. Porém, nessa estratégia, na maioria dos casos, é exigida uma maior contribuição em termos de banda de rede dos clientes, além de se apresentar os maiores tempos de inicialização. Essa estratégia ainda, na maioria dos casos, não apresenta uma qualidade de serviço aceitável. Em média essa estratégia proporciona um índice de continuidade acima de 95% durante apenas 31% da duração das transmissões.

Já na estratégia C/S o índice de continuidade é superior a 95% em 100% da duração das transmissões. Além disso, na estratégia C/S, não se apresenta atrasos de inicialização e os clientes não contribuem com banda de rede para o funcionamento do sistema. No entanto, a estratégia C/S é a que demanda a maior quantidade de banda de rede do servidor.

Percebemos ainda que a utilização da estratégia híbrida, no seu melhor caso, possibilita que o índice de continuidade fique acima de 95% durante, em média, 90% da duração das transmissões. No entanto, a desvantagem dessa estratégia é a maior demanda por banda de rede do servidor quando comparada à estratégia P2P pura. Apesar disso, foi capaz de economizar, no pior caso, em média 22% de banda de rede, quando comparada com a estratégia C/S. Essa estratégia ainda apresenta atrasos de inicialização equivalentes ao de uma estratégia C/S. Além disso, a contribuição dos clientes em termos de banda de rede nessa estratégia é equivalente à da estratégia híbrida controlada e, na maioria dos casos, menor do que a de uma estratégia P2P pura.

Já a estratégia híbrida controlada pode ser uma alternativa mais interessante particularmente no caso em que requisitos estritos de banda do servidor devem ser atendidos, como, por exemplo, para um melhor planejamento de capacidade do mesmo. No entanto, apesar dessa estratégia, no seu melhor caso considerado, possibilitar que o índice de continuidade fique superior ao de uma estratégia P2P pura, esse índice ainda é inferior ao proporcionado pelas estratégias híbrida e C/S. Além disso, essa estratégia proporciona um atraso de inicialização mais elevado do que os das estratégias C/S ou híbrida.

No geral, ao se comparar as vantagens e desvantagens de todas as estratégias consideradas, levando em conta todas as métricas analisadas (índice de continuidade, atraso de inicialização e requisitos de banda de rede do servidor e dos clientes), a estratégia híbrida é a alternativa que proporciona uma melhor relação entre qualidade de serviço e consumo de recursos do sistema.

O trabalho apresentado nesta dissertação pode ser estendido de várias formas. Primeiramente, pode-se estender a caracterização para incluir outros sistemas, a fim de validar os resultados apresentados nesta dissertação. Apesar de vários resultados serem semelhantes aos apresentados em trabalhos que estudaram outros tipos de sistemas para transmissão de vídeo, alguns resultados, principalmente o processo de chegada de sessões ser uniformemente distribuído ao longo da transmissão, são incomuns.

Outra questão interessante de ser explorada é a utilização do modelo de comportamento dos espectadores de um sistema Web 2.0 de transmissão de vídeo ao vivo, apresentado nesta dissertação, para o projeto de geradores de cargas sintéticas realistas para estes sistemas.

Uma outra direção possível seria a proposição e avaliação de novas adaptações na estratégia híbrida controlada, com o intuito de melhorar seu desempenho, uma vez que ela sofre de várias limitações, por exemplo, falta de análises das parcerias formadas na rede P2P durante a participação na fase 1. A realização de melhorias nessa estratégia é particularmente interessante, pois ela permite um melhor planejamento de capacidade do que as demais consideradas.

Finalmente, pode-se realizar uma prototipação das estratégias consideradas neste trabalho e em seguida efetuar uma avaliação do custo-benefício dessas estratégias em um cenário real. Ainda com a utilização de um protótipo seria possível realizar testes com usuários, a fim de identificar um limite de índice de continuidade que indique uma transmissão de boa qualidade, segundo a percepção do usuário.

Apêndice A

Índice de Continuidade

Neste apêndice são apresentadas as distribuições acumuladas (CDFs) do índice de continuidade para todos os cenários e situações não mostradas no texto da dissertação, referente à Seção 4.3.1.

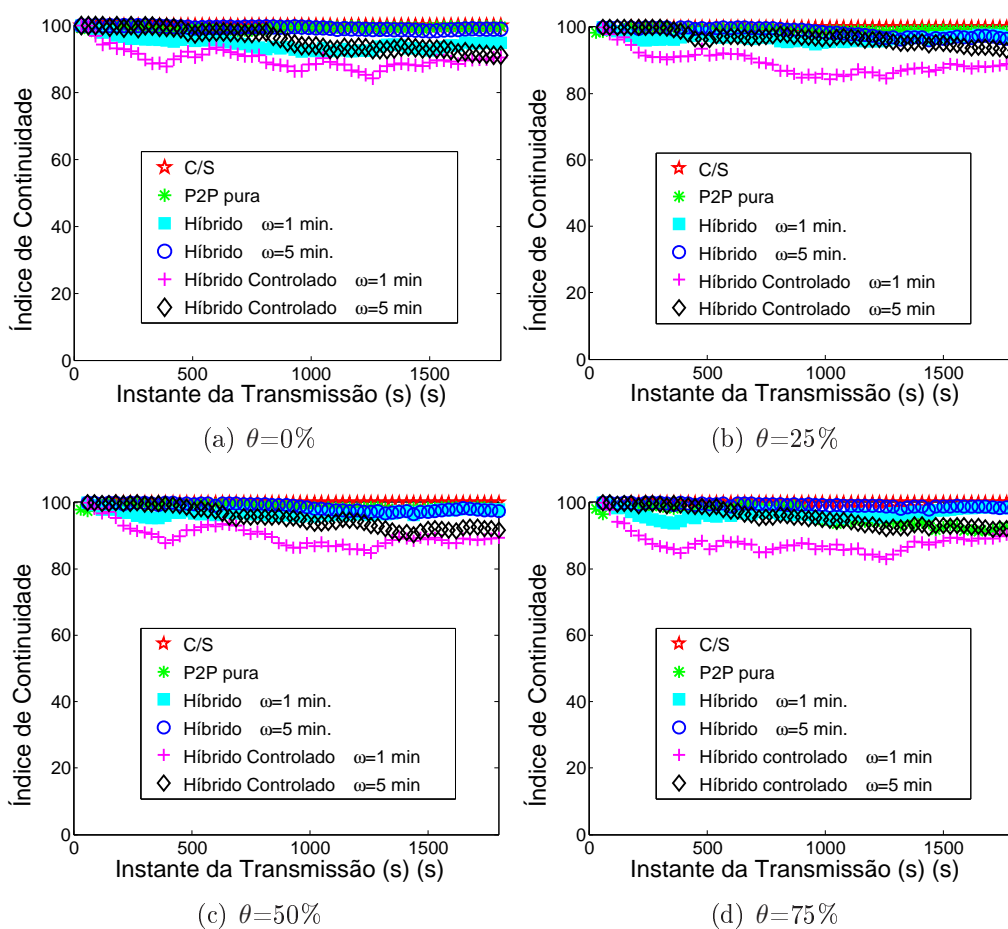


Figura A.1. Índice de Continuidade - Cenário 1

Apêndice B

Contribuição dos Clientes

Neste apêndice são apresentados gráficos e tabelas referentes a resultados, discutidos no capítulo 4 (Seção 4.3.3) mas não mostrados.

Na Figura B.1 é mostrado as distribuições acumuladas (CDFs) da contribuição dos clientes para o cenário 1 e para todas as variações de θ .

As Tabelas B.1, B.2, B.3 e B.4 mostram a contribuição dos clientes ao sistema, para todas as estratégias de transmissão nos cenários 1 ($\theta=0\%$), 2 ($\theta=25\%$ e $\theta=50\%$), e 4 ($\theta=75$), respectivamente.

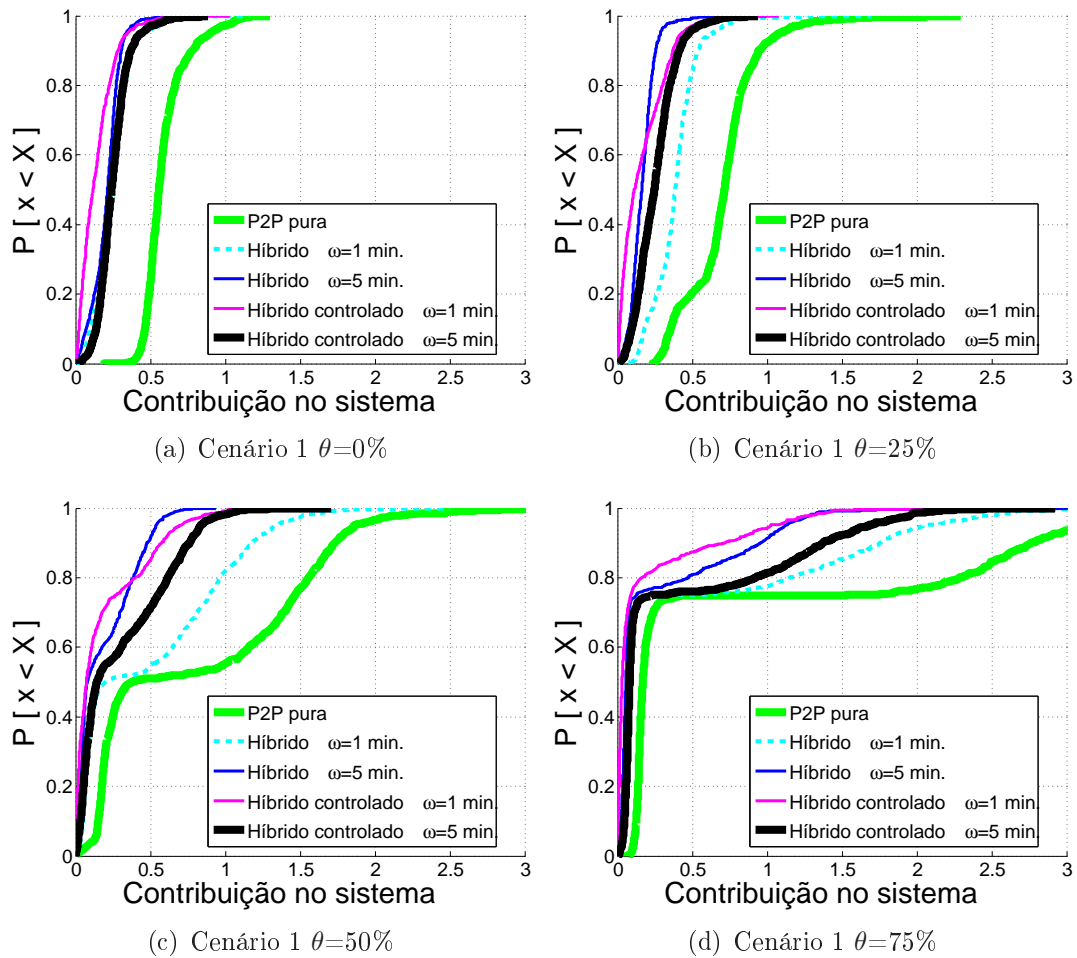


Figura B.1. Contribuição dos Nodos no Sistema, para o Cenário 1 com Todas as Suas Variações

Tabela B.1. Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema no Cenário 1 $\theta=0\%$

Estratégia	Contribuição % (Cenário 1 $\theta=0\%$)		
	$X < 0,5k$	$0,5k < X \leq 1k$	$X > 1k$
P2P pura	23%	74%	2,6%
Híbrida $\omega=1$ min.	87%	12%	0,57%
Híbrida $\omega=2$ min.	97%	3%	0%
Híbrida $\omega=5$ min.	98%	2%	0%
Híbrida Controlada $\omega=1$ min.	97%	2,9%	0,1%
Híbrida Controlada $\omega=2$ min.	98%	2%	0%
Híbrida Controlada $\omega=5$ min.	96%	4%	0%

Tabela B.2. Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema no Cenário 2 $\theta=25\%$

Estratégia	Contribuição % (Cenário 2 $\theta=25\%$)		
	$X < 0,5k$	$0,5k < X \leq 1k$	$X > 1k$
P2P pura	20,9%	72,24%	6,74%
Híbrida $\omega=1$ min.	53,7%	35,46%	10,7%
Híbrida $\omega=2$ min.	63,5%	32,16%	4,21%
Híbrida $\omega=5$ min.	86,06%	13,6%	0,22%
Híbrida Controlada $\omega=1$ min.	87,8%	11,09%	1,08%
Híbrida Controlada $\omega=2$ min.	86,7	12,8%	0,3%
Híbrida Controlada $\omega=5$ min.	73,7%	22,5%	3,57%

Tabela B.3. Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema no Cenário 2 $\theta=50\%$

Estratégia	Contribuição % (Cenário 2 $\theta=50\%$)		
	$X < 0,5k$	$0,5k < X \leq 1k$	$X > 1k$
P2P pura	52,3%	9,01%	38,57%
Híbrida $\omega=1$ min.	80,6%	6,9%	12,2%
Híbrida $\omega=2$ min.	78,77%	10,95%	10,15%
Híbrida $\omega=5$ min.	81,09%	10,45%	8,33%
Híbrida Controlada $\omega=1$ min.	86,8%	4,22%	8,8%
Híbrida Controlada $\omega=2$ min.	86,14%	9,46%	4,27%
Híbrida Controlada $\omega=5$ min.	77,19%	11,63%	11,17%

Tabela B.4. Contribuição dos Nodos Clientes ao Sistema no Cenário 4 $\theta=75\%$

Estratégia	Contribuição % (Cenário 4 $\theta=75\%$)		
	$X < 0,5k$	$0,5k < X \leq 1k$	$X > 1k$
P2P pura	91%	8%	1%
Híbrida $\omega=1$ min.	89%	9%	2%
Híbrida $\omega=2$ min.	92%	7%	0,4%
Híbrida $\omega=5$ min.	98%	2%	0,12%
Híbrida Controlada $\omega=1$ min.	90%	9,5%	0,5%
Híbrida Controlada $\omega=2$ min.	93%	6,5%	0,5%
Híbrida Controlada $\omega=5$ min.	85%	14%	1%

Referências Bibliográficas

Acharya, S. & Smith, B. (2000). Characterizing User Access To Videos On The World Wide Web. In *Proceedings of Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN)*, pp. 1–12, Chapel Hill, NC.

Agrawal, A. & Casanova, H. (2003). Clustering Hosts in P2P and Global Computing Platforms. In *Proceedings of 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid)*, pp. 367–373, Tokyo, Japan.

Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6):716–723.

Ali, S.; Mathur, A. & Zhang, H. (2006). Measurement of Commercial Peer-To-Peer Live Video Streaming. In *Proceedings of ICST Workshop on Recent Advances in Peer-to-Peer Streaming*, pp. 1–12, Weaterloo, Canadda.

allTV (2009). <http://www.alltv.com.br>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.

Almeida, J. M.; Krueger, J.; Eager, D. L. & Vernon, M. K. (2001). Analysis of educational media server workloads. In *NOSSDAV '01: Proceedings of the 11th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video*, pp. 21–30, New York, NY, USA. ACM Press.

Annapureddy, S.; Guha, S.; Gkantsidis, C.; Gunawardena, D. & Rodriguez, P. R. (2007). Is High-Quality VoD Feasible Using P2P Swarming? In *WWW '07: Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web*, pp. 903–912, Banff, Alberta, Canada. ACM.

BBC (2009). BBC news. http://news.bbc.co.uk/2/hi/video_and_audio/default.stm. Website acessado pela última vez em maio de 2009.

- Bejerano, Y. & Koppol, P. V. (2009). Improving Zap Response Time for IPTV. In *Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM '09)*, pp. 1–9, Rio de Janeiro, Brasil. IEEE press.
- Benevenuto, F.; Duarte, F.; Rodrigues, T.; Almeida, V. A.; Almeida, J. M. & Ross, K. W. (2008). Understanding Video Interactions in YouTube. In *MM '08: Proceeding of the 16th ACM international conference on Multimedia*, pp. 761–764, Vancouver, British Columbia, Canada. ACM.
- BlogTV (2009). <http://www.blogtv.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Bouch, A.; Kuchinsky, A. & Bhatti, N. (2000). Quality is in the Eye of the Beholder: Meeting Users' Requirements for Internet Quality of Service. In *CHI '00: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 297–304, The Hague, The Netherlands. ACM.
- Boyce, J. & Tourapis, A. (2005). Fast Efficient Channel Change. In *International Conference on Consumer Electronics, 2005. ICCE. Digest of Technical Papers.*, pp. 1–2, Las Vegas, USA.
- Bracciale, L.; Lo Piccolo, F.; Luzzi, D.; Salsano, S.; Bianchi, G. & Blefari-Melazzi, N. (2008). A Push-Based Scheduling Algorithm for Large Scale P2P Live Streaming. In *4th International Telecommunication Networking Workshop on QoS in Multiservice IP Networks*, pp. 1–7, Venice, Italy.
- Cai, Y.; Hua, K. & Vu, K. (1999). Optimizing Patching Performance. In *Proceedings of the IS&T/SPIE Conference on Multimedia Computing and Networking (MMCN '99)*, pp. 204–215, San Jose, California.
- Cai, Y. & Hua, K. A. (2003). Sharing Multicast Videos Using Patching Streams. *International Journal of Multimedia Tools and Applications*, 21(2):125–146.
- Castro, M.; Druschel, P.; Kermarrec, A.-M.; Nandi, A.; Rowstron, A. & Singh, A. (2003). SplitStream: High-Bandwidth Multicast in Cooperative Environments. In *SOSP '03: Proceedings of the nineteenth ACM symposium on Operating systems principles*, pp. 298–313, Bolton Landing, NY, USA. ACM.
- Cha, M.; Kwak, H.; Rodriguez, P.; Ahn, Y.-Y. & Moon, S. (2007). I Tube, You Tube, Everybody Tubes: Analyzing the World's Largest User Generated Content Video System. In *IMC '07: Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*, pp. 1–14, San Diego, CA, USA. ACM.

- Cha, M.; Rodriguez, P.; Crowcroft, J.; Moon, S. & Amatriain, X. (2008). Watching Television Over an IP Network. In *IMC '08: Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*, pp. 71–84, Vouliagmeni, Greece. ACM.
- Cheng, X.; Dale, C. & Liu, J. (2007). Understanding the Characteristics of Internet Short Video Sharing: YouTube as a Case Study. *Computing Research Repository (CoRR)*, abs/0707.3670.
- Cherkasova, L. & Gupta, M. (2002). Characterizing Locality, Evolution, and Life Span of Accesses in Enterprise Media Server Workloads. In *NOSSDAV '02: Proceedings of the 12th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video*, pp. 33–42, Miami, Florida, USA. ACM.
- Chervenak, A.; Abowd, G.; Ramach, U.; Person, C.; Harel, N. & Harel, N. (1999). Workload of a Media-Enhanced Classroom Server. In *Proceedings of Workshop on Workload Characterization*, Austin, TX, USA.
- Cheshire, M.; Wolman, A.; Voelker, G. M. & Levy, H. M. (2001). Measurement and Analysis of a Streaming-Media Workload. In *USITS'01: Proceedings of the 3rd Conference on USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems*, pp. 1–12, San Francisco, California. USENIX Association.
- Cho, C.; Han, I.; Jun, Y. & Lee, H. (2004). Improvement of Channel Zapping Time in IPTV Services Using the Adjacent Groups Join-Leave Method. In *Proceedings of 6th International Conference on Advanced Communication Technology.*, volume 2, pp. 971–975, Gangwon-Do, Korea.
- Chu, Y.-h.; Rao, S. G. & Zhang, H. (2000). A Case for end System Multicast. In *SIGMETRICS '00: Proceedings of the 2000 ACM SIGMETRICS international conference on Measurement and modeling of computer systems*, pp. 1–12, Santa Clara, California, United States. ACM.
- Cisco (2009). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2008-2013. Technical report, Cisco. Relatório disponível em: http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360_ns827_Networking_Solutions_White_Paper.html.
- CNN (2009). CNN video. <http://edition.cnn.com/video/>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.

- Costa, C. P.; Cunha, I. S.; Borges, A.; Ramos, C. V.; Rocha, M. M.; Almeida, J. M. & Ribeiro-Neto, B. (2004). Analyzing Client Interactivity in Streaming Media. In *WWW '04: Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web*, pp. 534–543, New York, NY, USA. ACM.
- Cui, Y.; Li, B. & Nahrstedt, K. (2004). Ostream: Asynchronous Streaming Multicast in Application-Layer Overlay Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 22(1):91–106.
- D. Eager, M. Vernon, J. Z. (2000). Bandwidth Skimming: A Technique for Cost-Effective Video-on-Demand. In *Proceedings of Multimedia Computing and Networking (MMCN)*, pp. 1–10, San Jose, CA.
- DailyMotion (2009). <http://www.dailymotion.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Dan, A. & Sitaram, D. (1996). A Generalized Interval Caching Policy for Mixed Interactive and Long Video Workloads. In *Proceedings Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN)*, pp. 344–351, San Jose, CA, USA. ACM press.
- Dana, C.; Li, D.; Harrison, D. & Chuah, C.-N. (2005). BASS: BitTorrent Assisted Streaming System for Video-on-Demand. In *7th Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp. 1–4, Shanghai, China.
- de Melo Rocha, M. V. (2007). Impactos da Interatividade na Escalabilidade de Protocolos para Mídia Contínua. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG.
- Delicious (2009). <http://www.delicious.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Deshpande, H.; Bawa, M. & Garcia-Molina, H. (2002). Streaming Live Media over a Peer-to-Peer Network. *Technical Report, disponível em: <http://dbpubs.stanford.edu:8090/pub/2001-30>*.
- Dhungel, P.; Hei, X.; Ross, K. W. & Saxena, N. (2007). The Pollution Attack in P2P Live Video Streaming: Measurement Results and Defenses. In *P2P-TV '07: Proceedings of the 2007 workshop on Peer-to-peer streaming and IP-TV*, pp. 323–328, Kyoto, Japan. ACM.

- Di Wu, Chao Liang, Y. L. & Ross, K. W. (2009). View-Upload Decoupling: A Redesign of Multi-Channel P2P Video Systems. In *IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM '09), Mini-conference*, pp. 1–9, Rio de Janeiro, Brazil. IEEE.
- Do, T.; Hua, K. & Tantaoui, M. (2004). P2VoD: Providing Fault Tolerant Video-on-Demand Streaming in Peer-to-Peer Environment. In *IEEE International Conference on Communications*, volume 3, pp. 1467–1472, Paris, France.
- Duarte, F.; Benevenuto, F.; Almeida, V. & Almeida, J. (2007). Geographical Characterization of YouTube: a Latin American View. In *LA-WEB '07: Proceedings of the 2007 Latin America Web Conference*, pp. 13–21, Santiago de Chile, Chile. IEEE Computer Society.
- Eager, D.; Vernon, M. & Zahorjan, J. (2001). Minimizing Bandwidth Requirements for On-Demand Data Delivery. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 13(5):742–757.
- Flash (2009). Adobe flash. <http://www.adobe.com/products/flashplayer/>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Flickr (2009). <http://www.flickr.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Gill, P.; Arlitt, M.; Li, Z. & Mahanti, A. (2007). Youtube Traffic Characterization: a View from the Edge. In *IMC '07: Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*, pp. 15–28, San Diego, CA, USA. ACM.
- Globo (2009). Globo Vídeos. <http://video.globo.com/>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Gonzalez, N. (2008). Surprise, Justin.TV Builds Own CDN To Cut Costs, Improve Performance. Website - TechCrunch. Notícia disponível em: <http://www.techcrunch.com/2008/01/16/surprise-justintv-is-actually-a-real-technology-company/>.
- Guo, Y.; Suh, K.; Kurose, J. & Towsley, D. (2003a). A Peer-to-Peer on-Demand Streaming Service and its Performance Evaluation. In *ICME '03: Proceedings of the 2003 International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 649–652, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

- Guo, Y.; Suh, K.; Kurose, J. & Towsley, D. (2003b). P2Cast: Peer-to-Peer Patching Scheme for VoD Service. In *WWW '03: Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web*, pp. 301–309, Budapest, Hungary. ACM.
- Guo, Y.; Suh, K.; Kurose, J. & Towsley, D. (2008). DirectStream: A Directory-Based Peer-to-Peer Video Streaming Service. *Journal of Computer communications (COMCOM)*, 31(3):520–536.
- Hefeeda, M.; Habib, A.; Botev, B.; Xu, D. & Bhargava, B. (2003). PROMISE: Peer-to-Peer Media Streaming Using CollectCast. In *MULTIMEDIA '03: Proceedings of the eleventh ACM international conference on Multimedia*, pp. 45–54, Berkeley, CA, USA. ACM.
- Hei, X.; Liang, C.; Liang, J.; Liu, Y. & Ross, K. (2007). A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System. *IEEE Transactions on Multimedia*, 9(8):1672–1687.
- Hua, K. A.; Cai, Y. & Sheu, S. (1998). Patching: a Multicast Technique for True Video-on-Demand Services. In *MULTIMEDIA '98: Proceedings of the sixth ACM international conference on Multimedia*, pp. 191–200, Bristol, United Kingdom. ACM.
- Huang, C.; Li, J. & Ross, K. W. (2007). Can Internet Video-on-Demand be Profitable? In *SIGCOMM '07: Proceedings of the 2007 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 133–144, Kyoto, Japan. ACM.
- Izal, M.; Urvoy-Keller, G.; Biersack, E. W.; Felber, P. A.; Al & Garcés-Erice, L. (2004). Dissecting BitTorrent: Five Months in a Torrent's Lifetime. *Passive and Active Measurement (PAM)*, pp. 1–11.
- J-Sim (2009). <http://www.j-sim.org>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Jacl (2009). Tcl/Java Project. <http://tcljava.sourceforge.net>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Jannotti, J.; Gifford, D. K.; Johnson, K. L.; Kaashoek, M. F. & O'Toole, Jr., J. W. (2000). Overcast: Reliable Multicasting with on Overlay Network. In *OSDI'00: Proceedings of the 4th conference on Symposium on Operating System Design & Implementation*, pp. 1–16, San Diego, CA, USA. USENIX Association.
- JavaTM (2009). <http://www.java.sun.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.

- Jennehag, U. & Zhang, T. (2004). Increasing Bandwidth Utilization in Next Generation IPTV Networks. In *ICIP '04: Proceedings of International Conference on Image Processing*, volume 3, pp. 2075–2078, Singapore.
- Jin, S. & Bestavros, A. (2002). Cache and Relay Streaming Media Delivery for Asynchronous Clients. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Networked Group Communication*, pp. 1–8, Boston, MA.
- Jones, B. (2008). Live Video Takes off on Sites Like Justin.tv and Ustream.tv. Website - USA Today. Notícia disponível em: http://www.usatoday.com/money/industries/technology/2008-12-09-live-video_N.htm.
- Jung, B.; Kang, M.; Kim, T.; Yoo, J. & Kim, B. (2005). Performance Evaluation of Channel Zapping Protocol in Broadcasting Services over Hybrid WDM-PON. In *Advanced Communication Technology, 2005, ICACT 2005. The 7th International Conference on*, volume 2, pp. 1152–1155, Gangwon-Do, Korea.
- Justin.tv (2009). <http://www.justin.tv>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Kamath, M.; Ramamritham, K. & Towsley, D. F. (1995). Continuous Media Sharing in Multimedia Database Systems. In *Proceedings of the 4th International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA)*, pp. 79–86, Singapore. World Scientific Press.
- Kermarrec, A.-M.; Le Merrer, E.; Liu, Y. & Simon, G. (2009). Surfing Peer-to-Peer IPTV: Distributed Channel Switching. Disponível em: <http://hal.inria.fr/inria-00363927/en/>.
- Kim, Y.; Park, J. K.; Choi, H. J.; Lee, S.; Park, H.; Kim, J.; Lee, Z. & Ko, K. (2008). Reducing IPTV Channel Zapping Time Based on Viewer's Surfing Behavior and Preference. In *Proceedings of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*, pp. 1–6, Las Vegas, Nevada, USA.
- Kooij, R.; Ahmed, K. & Brunnström, K. (2006). Perceived Quality of Channel Zapping. In *Proceedings of Fifth IAESTED International Conference on Communication Systems and Networks (CSN)*, pp. 155–158, Arlington, Virginia, USA.
- Kostić, D.; Rodriguez, A.; Albrecht, J. & Vahdat, A. (2003). Bullet: High Bandwidth Data Dissemination Using an Overlay Mesh. *SIGOPS Operating Systems Review*, 37(5):282–297.

- Lee, J.; Lee, G.; Seok, S. & Chung, B. (2007). Advanced Scheme to Reduce IPTV Channel Zapping Time. In *APNOMS '07: Proceedings of the 10th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium on Managing Next Generation Networks and Services*, pp. 235–243, Sapporo, Japan. Springer-Verlag.
- Li, B.; Xie, S.; Keung, G.; Liu, J.; Stoica, I.; Zhang, H. & Zhang, X. (2007). An empirical study of the coolstreaming+ system. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(9):1627–1639.
- Liao, X.; Jin, H.; Liu, Y.; Ni, L. M. & Deng, D. (2006). AnySee: Peer-to-Peer Live Streaming. *INFOCOM'06: Proceedings of 25th IEEE International Conference on Computer Communications.*, pp. 1–10.
- Liu, Y.; Guo, Y. & Liang, C. (2008). A Survey on Peer-to-Peer Video Streaming Systems. *Journal on Peer-to-Peer Networking and Applications*, 1(1):18–28.
- Magharei, N. & Rejaie, R. (2007). PRIME: Peer-to-Peer Receiver-driven Mesh-Based Streaming. In *INFOCOM'07: Proceedings of 26th IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 1415–1423, Anchorage, Alaska, USA.
- Maia, M.; Almeida, V. & Almeida, J. (2008). Vídeo Gerados por Usuários: Caracterização de Tráfego. In *XXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC 2008*, pp. 79–92, Rio de Janeiro, Brasil.
- Metacafe (2009). <http://www.metacafe.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Mogulus (2009). <http://www.mogulus.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- MTV (2009). <http://mtv.uol.com.br/programacao>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Myung, I. J. (2003). Tutorial on Maximum Likelihood Estimation. *Journal of Mathematical Psychology*, 47(1):90–100.
- Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. AP Professional Press, Boston, MA, USA.
- Oreilly, T. (2007). What is Web 2.0: Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. *Journal of Communications & Strategies*, 1(1):1–17.
- Orkut (2009). <http://www.orkut.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.

- Padhye, J. & Kurose, J. (1998). An Empirical Study of Client Interactions with a Continuous-Media Courseware Server. In *Proceedings of 8th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV)*, pp. 1–14, Cambridge, UK.
- Perl (2009). Perl Programming Language. <http://www.perl.org>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- PlanetLab (2009). <http://www.planet-lab.org>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- PPLive (2009). <http://www.pplive.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- PPStream (2009). <http://www.ppstream.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Python (2009). Python Programming Language. <http://www.python.org>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Quinn, B. & Almeroth, K. (2001). *RFC3170 - IP Multicast Applications: Challenges and Solutions*. Disponível em: <http://tools.ietf.org/html/rfc3170>.
- Saxena, M.; Sharan, U. & Fahmy, S. (2008). Analyzing Video Services in Web 2.0: a Global Perspective. In *NOSSDAV '08: Proceedings of the 18th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video*, pp. 39–44, Braunschweig, Germany. ACM.
- Sharma, A.; Bestavros, A. & Matta, I. (2005). dPAM: a Distributed Prefetching Protocol for Scalable Asynchronous Multicast in P2P Systems. In *INFOCOM 2005. Proceedings of 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, volume 2, pp. 1139–1150, Miami, USA.
- Silerston, T. & Fourmaux, O. (2007). Measuring P2P IPTV Systems. In *NOSSDAV '07: Proceedings of the 17th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video*, pp. 1–6, Urbana-Champaign, IL, USA.
- Silva, T.; Almeida, J. & Guedes, D. (2009a). Transmissões de Vídeo ao Vivo Geradas por Usuários: uma Análise. In *VIII Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação (Wperformance)*, Bento Gonçalves, RS, Brasil.

- Silva, T.; Mota, V.; Valadão, E.; Almeida, J. & Guedes, D. (2009b). Caracterização do Comportamento dos Espectadores em Transmissões de Vídeo ao Vivo Geradas por Usuários. In *XXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, Recife, PE, Brasil.
- Silverston, T. & Fourmaux, O. (2006). P2p iptv measurement: A comparison study. *Computing Research Repository (CoRR)*, abs/cs/0610133:1–10.
- SopCast (2009). <http://www.sopcast.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Sripanidkulchai, K. (2005). *A Measurement-Driven Approach to Designing Peer-to-Peer Systems*. PhD thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA. Chair-Zhang,, Hui and Chair-Maggs,, Bruce.
- Sripanidkulchai, K.; Maggs, B. & Zhang, H. (2004). An Analysis of Live Streaming Workloads on the Internet. In *IMC '04: Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement*, pp. 41–54, Taormina, Sicily, Italy. ACM.
- Stickam (2009). <http://www.stickam.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de Computadores*. Campus.
- Technologies, A. (2005). Ensure IPTV Quality of Experience. Whitepaper. Disponível em: <http://www.agilent.com>.
- Tran, D.; Hua, K. & Do, T. (2004). A Peer-to-Peer Architecture for Media Streaming. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 22(1):121–133.
- TVAnts (2009). <http://www.tvants.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Tyan, H. Y. & Hou, J. C. (2001). JavaSim: A Component-Based Compositional Network Simulation Environment. In *Proceedings of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference, CNDS*, pp. 1–8, Phoenix, Arizona, USA.
- Ustream.tv (2009). <http://www.ustream.tv>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- UUSee (2009). <http://www.uusee.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.

- Veloso, E.; Almeida, V.; Wagner Meira, J.; Bestavros, A. & Jin, S. (2006). A Hierarchical Characterization of a Live Streaming Media Workload. In *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, volume 14, pp. 133–146, Piscataway, NJ, USA. IEEE Press.
- Venkataraman, V.; Yoshida, K. & Francis, P. (2006). Chunkyspread: Heterogeneous Unstructured Tree-Based Peer-to-Peer Multicast. In *Proceedings of the 2006 14th IEEE International Conference on Network Protocols. ICNP '06.*, pp. 2–11, Santa Barbara, California.
- Veoh (2009). <http://www.veoh.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- VideoLog (2009). <http://videolog.uol.com.br>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Vu, L.; Gupta, I.; Liang, J. & Nahrstedt, K. (2007). Measurement of a Large-Scale Overlay for Multimedia Streaming. In *HPDC '07: Proceedings of the 16th international symposium on High performance distributed computing*, pp. 241–242, Monterey, California, USA. ACM.
- VVsky (2009). <http://www.vvsky.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Wang, F.; Xiong, Y. & Liu, J. (2007). mTreebone: A Hybrid Tree/Mesh Overlay for Application-Layer Live Video Multicast. In *ICDCS '07: Proceedings of 27th International Conference Distributed Computing Systems*, pp. 1–8, Toronto, Canada.
- Yahoo! (2009). Yahoo! Live. <http://www.live.yahoo.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- YouTube (2009). <http://www.youtube.com>. Website acessado pela última vez em maio de 2009.
- Yu, H.; Zheng, D.; Zhao, B. Y. & Zheng, W. (2006). Understanding User Behavior in Large-Scale Video-on-Demand Systems. *SIGOPS Operating System Review*, 40(4):333–344.
- Zegura, E.; Calvert, K. & Bhattacharjee, S. (1996). How to model an internet network. In *INFOCOM '96. Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer Societies. Networking the Next Generation.*, volume 2, pp. 594–602, San Francisco, CA, USA.

- Zhang, M.; Luo, J.-G.; Zhao, L. & Yang, S.-Q. (2005a). A Peer-to-Peer Network for Live Media Streaming Using a Push-Pull Approach. In *MULTIMEDIA '05: Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia*, pp. 287–290, Hilton, Singapore. ACM.
- Zhang, X.; Liu, J.; Li, B. & Yum, Y.-S. (2005b). Coolstreaming/donet: a data-driven overlay network for peer-to-peer live media streaming. In *INFOCOM 2005. Proceedings of 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, volume 3, pp. 2102–2111, Miami, USA.
- Zhou, M. & Liu, J. (2005). A Hybrid Overlay Network for Video-on-Demand. In *Proceedings of IEEE International Conference on Communications. ICC 2005.*, volume 2, pp. 1309–1313, Seoul, Korea.