

ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO DE FLUXO DE VÍDEO BASEADO EM FATORES DE QoE

Maiara de S. Coelho¹, César A. V. Melo¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Caixa Postal 69077-000 – Manaus – AM – Brasil

{maiara, cavmelo}@icomp.ufam.edu.br

Abstract. *Due to increasing demand of HTTP Adaptive Streaming (HAS) in the last years, several studies have been performed to develop multimedia content distribution techniques to the Internet, aiming to improve the users Quality of Experience (QoE). Although there are a large number of studies in this area, many have not explored network resource sharing scenarios between multiple clients, making it necessary to study more about this complex scenario. This work presents a video stream adaptation strategy that takes into account factors related to QoE, as the playback interruption frequency. The goal is to minimize the amount of video playback interruption, thereby improving its continuity. The experiments are performed in extreme resource scarcity scenarios on a share across multiple clients. In the results, the used metrics are average video bit rate, interruptions, instability and fairness.*

Resumo. *A ampla adoção do Streaming Adaptativo sobre HTTP tem motivado estudos relacionados as técnicas de distribuição de conteúdo multimídia na Internet. Apesar da grande quantidade de estudos, poucos exploram cenários de compartilhamento da rede entre clientes, e o acoplamento entre a lógica de adaptação e o versionamento do conteúdo. Neste artigo apresenta-se uma estratégia de distribuição de conteúdo usando DASH que considera aspectos do versionamento na lógica de adaptação. Além disso, as decisões tomadas, para a adaptação do conteúdo as condições da rede, consideram fatores que afetam a Qualidade de Experiência do usuário. A estratégia proposta melhora a continuidade da sessão. Avaliou-se o desempenho da estratégia, considerando-se: número e duração das interrupções, taxa média de bits, instabilidade e injustiça, em diferentes cenários de rede, caracterizados pelo compartilhamento do canal de acesso por vários clientes.*

1. Introdução

Aplicações de *streaming* de vídeo têm recebido a atenção da comunidade que estuda o transporte e a entrega de conteúdo multimídia na Internet, face à crescente adesão as aplicações existentes, como YouTube e Netflix, e ao grande volume de tráfego gerado. Segundo perspectivas da Cisco [Cisco 2014], em 2019 o tráfego de vídeo responderá por 80% de todo o tráfego da Internet, equivalente a 89.319 PB/mês de um total de 111.592 PB/mês.

O *Streaming* Adaptativo sobre HTTP (do inglês: *HTTP Adaptive Streaming - HAS*) é a tecnologia de distribuição de *streaming* de vídeo que vem sendo crescentemente

empregada pelos distribuidores de conteúdo. O HAS consiste na disponibilização de cada vídeo em versões com diferentes níveis de qualidade, sendo que cada uma dessas versões é dividida em segmentos de igual duração. Isso permite que o cliente faça requisições individuais a cada segmento, alternando assim entre os níveis de qualidade a fim de adaptar o fluxo de dados às condições de rede e da aplicação. O *Streaming Adaptativo Dinâmico sobre HTTP* (do inglês: *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP* - DASH) é uma das implementações do HAS, onde as versões são chamadas de representações. Além das representações, é disponibilizado um arquivo de Descrição da Mídia (do inglês: *Media Presentation Descriptor* - MPD) que descreve as informações sobre todas as versões de um determinado vídeo.

Definir as representações disponíveis no conjunto de versionamento de maneira otimizada é tão ou mais complexo quanto a adaptação da qualidade realizada pelo algoritmo adaptativo, pois é interessante que as representações estejam alinhadas ao perfil da rede de acesso do usuário. Um exemplo que ilustra essa complexidade são as possibilidades geradas pela combinação das diferentes plataformas de acesso e suas variações de configuração, incluindo resolução, largura de tela e tecnologias de acesso. Sendo assim, um mesmo versionamento pode não ser o mais adequado as redes cujas velocidades estão em perfis distintos, sobretudo, em cenários de compartilhamento entre clientes.

Neste artigo, propõem-se uma estratégia adaptativa para sistemas DASH, composta por um algoritmo de escalonamento e um versionamento particularizado. Existindo assim, um certo acoplamento entre o versionamento e o algoritmo. A estratégia, como um todo, objetiva a melhoria da continuidade de uma sessão de vídeo. Baseiando-se assim, em fatores importantes para o aumento da Qualidade de Experiência (do inglês: *Quality of Experience* - QoE) do usuário.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma, os trabalhos relacionados são apresentados na Seção 2. Na Seção 3, descreve-se a arquitetura do sistema DASH utilizado e a estratégia proposta. Apresenta-se na Seção 4 a caracterização da coleção das métricas de avaliação, além dos resultados gerados nos experimentos conduzidos. Por fim, na Seção 5 apresentam-se as considerações finais.

2. Trabalhos Relacionados

O presente artigo está posicionado na área de transporte e entrega de conteúdo multimídia usando a tecnologia DASH. Assim, dois grupos de trabalhos foram considerados, as estratégias de adaptação e a preparação do conteúdo a ser distribuído.

As estratégias de adaptação podem ser agrupadas em três grandes classes: agressivas, conservadoras e moderadas. As **estratégias agressivas** utilizam todo o recurso estimado com base em medições instantâneas. As **estratégias conservadoras** usam os recursos estimados com uma margem de segurança, considerando que as estimativas são feitas com base em medições instantâneas. As **estratégias moderadas** representam uma abordagem intermediária a esses dois extremos, estimando os recursos disponíveis no sistema durante uma escala de tempo. A estratégia proposta neste artigo é moderada e por isso os trabalhos relacionados discutidos a seguir são aqueles identificados como tal.

As observações realizadas por uma estratégia moderada formam um histórico que é usado no processo de decisão realizado para definir a qualidade dos próximos segmentos

a serem acessados. Em [Cao et al. 2014], a escolha da qualidade do próximo segmento a ser acessado considera a estimativa da largura de banda, feita com a média aritmética da vazão dos últimos segmentos acessados em uma escala de tempo de 10 segundos. Além da estimativa da vazão, o crescimento inicial do *buffer* é usado para definir um estágio de execução rápida, permitindo que a taxa alvo seja alcançada rapidamente.

A estratégia apresentada em [Hesse 2013] utiliza uma média móvel como filtro de suavização para a estimativa de largura de banda. O estado do *buffer* também é considerado no cálculo do parâmetro de suavização utilizado pelo filtro. A estratégia proposta em [Jiang et al. 2014] calcula a média harmônica dos últimos 20 segmentos baixados, estimando assim a vazão da rede. Os autores ainda consideram o uso parcial do valor médio estimado para a tomada de decisões sobre a qualidade dos próximos segmentos baixados. Em [Juluri et al. 2015], uma estratégia similar é proposta com as seguintes variações: i) utiliza-se uma média harmônica e ii) a ponderação da média considera o tamanho dos segmentos em bytes.

Uma outra linha de trabalho propõem que a decisão do cliente seja complementada pelo operador da rede. A estratégia descrita em [Mok et al. 2012] controla a troca de qualidade a partir de um esquema de medição que considera a sondagem para a verificar a vazão com uma maior precisão. Em [El Essaili et al. 2015], evita-se a flutuação temporária da qualidade reescrevendo-se as requisições dos clientes a partir de um artefato instalado no provedor de acesso, que considera o conteúdo, no escalonamento da demanda, e os recursos disponíveis na rede.

O versionamento de conteúdo, embora seja parte importante das aplicações de vídeo adaptativo, tem poucos estudos sistemáticos registrados. Em [Toni et al. 2014], o versionamento de conteúdo foi estudado a partir da taxa de bits e da resolução demandada. Entretanto, não se considerou a continuidade e amplitudes das trocas de qualidade que o versionamento, feito de forma independente, pode impor as estratégias de adaptação.

Diferente dos trabalhos apresentados anteriormente, a estratégia proposta neste trabalho incorpora um nível mínimo de conhecimento do versionamento realizado. A estratégia usa esse conhecimento no seu processo de decisão, sem custos extras para a infraestrutura de distribuição. Além disso, considera-se a frequência de interrupções, uma métrica de QoE apontada como chave [Seufert et al. 2015], para a tomada de decisão.

3. Estratégia de Adaptação Orientada a Métricas de QoE

Nesta seção, apresenta-se a estratégia de adaptação, chamada de QoE-Adapt, composta por algoritmo de adaptação e versionamento, que teve o seu espaço de projeto estabelecido pelas seguintes demandas:

- a redução das interrupções durante as sessões de reprodução, a partir do uso controlado de versões de baixa qualidade; e,
- o equilíbrio dos fatores de degradação da QoE com as demais métricas como taxa média de bits, instabilidade e injustiça.

Claramente, essas demandas estão em conflito mas quando controladas podem produzir sessões de vídeo de alta continuidade.

A Figura 1 mostra os elementos que compõem a estratégia proposta. Do lado do servidor DASH um conjunto de vídeos versionados, que possui, além de suas versões

padronizadas de acordo com o perfil da rede (detalhes na Seção 3.3), uma versão de qualidade inferior a mínima esperada para o perfil da rede. E, do lado do cliente DASH o mecanismo da estratégia de adaptação composta pelos seguintes elementos: i) o monitor de *buffer*, ii) o estimador de *buffer* e iii) o motor de adaptação.

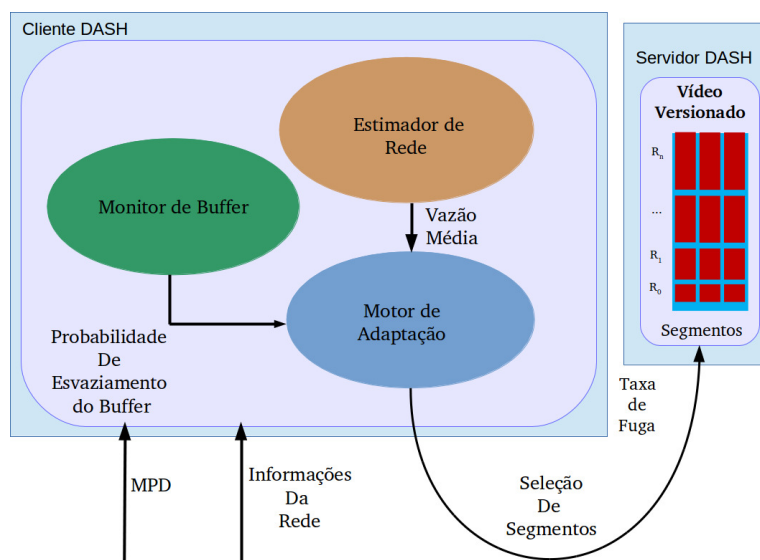


Figura 1. Módulos da Estratégia de Adaptação proposta

O monitor de *buffer* é responsável pelo cálculo da probabilidade de interrupção P da sessão pelo esvaziamento do *buffer*. O estimador de Rede calcula a vazão instantânea A e a vazão média \hat{A} , esta última considera os segmentos acessados em uma escala de tempo pré-estabelecida. Baseado nas informações dos dois primeiros módulos, o motor de adaptação decide qual a taxa de bits da representação R_{prox} do i -ésimo segmento que deve ser acessado. No caso da probabilidade P ter um valor maior que o limiar Θ , uma representação de qualidade inferior, chamada de taxa de fuga, será incluída no conjunto das representações acessíveis pela estratégia de adaptação.

O Algoritmo 1 detalha a lógica de adaptação. Como entrada, o algoritmo recebe o nível atual do *buffer* $B(t)$, a representação do último segmento baixado R_i , o limiar Θ da probabilidade de interrupção e o período de monitoramento do *buffer* Δ . O retorno é a representação do próximo segmento a ser baixado R_{prox} . A ocupação do *buffer* é caracterizada por três limiares: b_{min} , b_{low} e b_{max} . b_{min} é o limiar mínimo que sinaliza a iminência de uma interrupção, b_{low} é o limiar intermediário que indica a continuidade da reprodução nos próximos segundos, e b_{max} é o limiar máximo que indica a sobrecarga do *buffer*. No caso do b_{max} ser alcançado novas requisições estão suspensas até que o *buffer* alcance nível de ocupação abaixo do seu limiar máximo. Nas linhas 1, 5 e 12, o algoritmo avalia o nível do *buffer*. A partir desse monitoramento, a largura de banda é calculada tendo-se como base os n segmentos baixados nos últimos Δ segundos (linha 2), ou ainda, no último segmento (linhas 6 e 9).

Quando o nível do *buffer* é menor ou igual ao limiar mínimo e a representação corrente é maior do que a representação da taxa de fuga (linha 12), avalia-se a frequência desse evento nos últimos Δ segundos (linha 13). Se essa frequência for superior ao limiar estabelecido (Θ) então está caracterizado um cenário de interrupção da reprodução, por

Algoritmo 1: Lógica de Adaptação - QoE-Adapt.

Entrada: $(B(t), R_i, \Theta, \Delta)$
Saída: (R_{prox})

- 1 **se** $b_{low} < B(t) < b_{max}$ **então**
- 2 **se** $\hat{A}(t - \Delta) * c > f(R_i)$ e $R_i < R_{max}$ **então**
- 3 $R_{prox} \leftarrow R_{i+1}$
- 4 **senão**
- 5 **se** $b_{min} < B(t) < b_{low}$ **então**
- 6 **se** $A * c < f(R_i)$ e $R_i > R_{min}$ **então**
- 7 $R_{prox} \leftarrow R_{i-1}$
- 8 **senão**
- 9 **se** $A * c > f(R_i)$ e $R_i < R_{max}$ **então**
- 10 $R_{prox} \leftarrow R_{i+1}$
- 11 **senão**
- 12 **se** $B(t) \leq b_{min}$ e $R_i > R_{fuga}$ **então**
- 13 **se** $P(t - \Delta) \leq \Theta$ **então**
- 14 $R_{prox} \leftarrow R_{min}$
- 15 **senão**
- 16 $R_{prox} \leftarrow R_{fuga}$

isso o próximo segmento a ser acessado no servidor será de uma representação com taxa de bits igual a taxa de fuga. Caso contrário, a taxa mínima desejada é usada como a taxa do próximo segmento a ser baixado.

3.1. Estimativa de Largura de Banda Disponível

O módulo estimador de rede determina a vazão instantânea A e a vazão média \hat{A} . A é dada pela razão entre o tamanho do último segmento e o tempo de *download* do segmento, \hat{A} é calculada utilizando uma média móvel exponencial da vazão A dos segmentos acessado nos últimos Δ segundos. A Equação 1 mostra o cálculo da vazão média:

$$\hat{A} = \begin{cases} \delta \hat{A}(i-1) + (1-\delta)A(i), & \text{se } i > 1 \\ A(1), & \text{se } i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

onde, δ é o peso utilizado para ponderar os valores de vazão.

3.2. Frequência relativa de Interrupções de Reprodução

A interrupção da reprodução é o fator mais impactante na QoE do usuário, pois reflete diretamente na continuidade da sessão. Neste trabalho, caracterizou-se a iminência de uma interrupção a partir da ocupação do *buffer*. Quando essa ocupação atinge valores menores que o limiar mínimo b_{min} , um certo número de vezes, dentro de uma escala de tempo de Δ segundos, fica caracterizada a iminência da interrupção.

A estratégia proposta além de apresentar características de uso moderado dos recursos, antecipa a tomada de decisão, frente a iminência do evento de interrupção, caracterizando-se também como proativa. Na Equação 2 apresenta-se o cálculo da probabilidade de interrupções baseado nos níveis de *buffer* registrados nos últimos Δ segundos:

$$P(E) = \frac{N(E)}{N(S)} \quad (2)$$

onde, $N(E)$ é o número de vezes que o nível do *buffer* esteve abaixo do seu limiar mínimo e $N(S)$ é o número total de observações feitas ao *buffer*.

A ideia central das dinâmicas de avaliação da largura de banda e os níveis de *buffer* foram originalmente descritos em [Akhshabi et al. 2012], as quais foram implementadas e adaptadas no *player* [DASHIF 2015] utilizado neste trabalho. Essa lógica de adaptação é considerada como a base para os estudos comparativos realizados neste artigo e seu desempenho é identificado sob o nome de Adaptech.

3.3. Versionamento

O vídeo utilizado no estudo está disponível em [Sintel 2013]. O conjunto de representações originado nesse processo limita a ação do algoritmo adaptativo, pois é dentro do espaço de possibilidades oferecidas por esse conjunto que evoluirá a lógica da estratégia de adaptação. O cenário torna-se mais desafiador quando o canal de acesso é compartilhado por diversos usuários, dado que nesses casos é provável que hajam maiores variações na capacidade de transferência do canal, gerando descompasso entre a taxa de transferência e as taxas disponíveis no conjunto de representações originalmente planejado.

Em [Coelho 2015], estudo que gerou o presente artigo, estão descritas detalhadamente todas as decisões de projeto e estudos comparativos que influenciaram nestas decisões. Algumas das decisões mais importantes foram quanto aos valores das taxas e a granularidade (espaçamento) entre essas taxas nos conjuntos de versionamento. Quanto as taxas, foram padronizadas dentro de uma faixa de valores correspondentes a adesão dos domicílios brasileiros as redes de acesso, registrada pelo relatório do Cetic, período de 2011 a 2015 [Cetic.Br 2015], com exceção da taxa de fuga. Quanto a granularidade, o estudo apontou que alta granularidade gera um menor número de representações e isso reflete diretamente na velocidade da convergência para a taxa alvo.

Desta forma, foram utilizados três tipos de versionamento: o primeiro seguiu a recomendação da Netflix que demanda uma taxa mínima de 1000 kbps e uma taxa máxima de 3600 kbps; o segundo versionamento seguiu as recomendações geradas pelo próprio estudo comparativo e possui a taxa mínima de 1600 a taxa máxima de 3660 kbps, com granularidade de taxa de bits igual a 400 kbps. O terceiro versionamento, segue o estabelecido no segundo, com a exceção da inclusão de uma taxa de menor qualidade, chamada taxa de fuga, igual a 460 kbps que é usada em conjunto com o algoritmo adaptativo e caracteriza a estratégia proposta neste artigo.

Utilizou-se o FFmpeg para o versionamento dos vídeos e o MP4Box para a segmentação e a geração do MPD. A duração dos segmentos é de 5 segundos.

4. Experimentos

Nesta seção apresentam-se aspectos considerados na coleta dos dados, as métricas de avaliação, a configuração do ambiente de experimentação e, por fim, os resultados dos experimentos realizados para avaliar a estratégia de adaptação proposta. Os resultados incluem estudos comparativos de desempenho da estratégia proposta com uma estratégia moderada, chamada Adaptech, sob diferentes circunstâncias de versionamento e disponibilidade de recursos na rede.

4.1. Coleta dos Dados

O cenário criado para a experimentação das diferentes estratégias e condições de rede demandou a implementação de um serviço que permite o armazenamento dos dados em uma base de dados. Primeiramente os dados são armazenados em uma estrutura linear no cliente DASH, durante a sessão de vídeo, e ao fim da sessão o cliente envia uma mensagem do tipo POST, para o servidor, contendo em seu corpo um arquivo JSON com todas as informações de largura de banda, do *buffer* e dos segmentos. Tais dados são posteriormente utilizados nos cálculos das métricas de desempenho das estratégias.

As informações referentes aos segmentos e a vazão são: data/hora, data/hora da requisição, data/hora do início do *download* e data/hora de finalização do *download*, tamanho do segmento em bits, duração do segmento em segundos, número da representação, taxa de bits em kbps, vazão em kbps. Todas as data e horas são sincronizadas ao relógio do servidor, indicando o tempo corrente que será confrontado com o tempo de início da sessão de acesso. As informações referentes ao *buffer* são: data/hora e nível de ocupação do *buffer* em segundos. Novamente, a informação temporal considera o tempo registrado no servidor e o tempo de início da sessão de acesso. As informações referentes ao experimento realizado são estas: identificação do teste, data/hora inicial da sessão de vídeo, data/hora final da sessão de vídeo, tipo de fluxo - áudio ou vídeo, algoritmo de adaptação de taxa que está sendo testado, endereço do MPD e número do cenário utilizado.

4.2. Métricas de Avaliação

As métricas utilizadas para avaliar a estratégia de distribuição são: o número de interrupções, a duração das interrupções, a taxa de bits média, a instabilidade e a injustiça.

O Número de Interrupções indica o número de vezes em que o *buffer* esvaziou-se e o vídeo parou sua reprodução, provocando o congelamento da imagem do vídeo. A **Taxa de Bits Média** μ , definida em [Mueller et al. 2012], é dada pela seguinte Equação:

$$\mu = \frac{\sum_{i=0}^n (f(i) * D_i)}{T_s} \quad (3)$$

onde, i representa o i -ésimo segmento, $f(i)$ é a função que retorna a taxa de bits do segmento i , D_i representa a duração do segmento i e T_s representa a duração da sessão.

A **Instabilidade** apresentada em, [Jiang et al. 2014], expressa a soma dos pesos da amplitude das trocas de qualidade ao longo da reprodução do vídeo. E de todas as trocas dos últimos k segmentos observados, dividido pela soma de todas as taxas de bits acessadas com seus pesos. A Equação 4 apresenta o cálculo da instabilidade:

$$S = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (|b_{x,t-i} - b_{x,t-i-1}| * \omega(i))}{\sum_{i=1}^k (b_{x,t-i} * \omega(i))} \quad (4)$$

onde, $\omega(i) = k - i$ é uma função de penalidade linear que aloca maior peso para trocas mais recentes. Esse peso é agregado também as taxas de bits acessadas, k representa a quantidade de segmentos passados que devem ser avaliados.

O **Índice de Justiça** [Jiang et al. 2014], expressa o quão igualitário é um algoritmo dentro de um cenário de compartilhamento. O índice de injustiça é definido pela seguinte equação:

$$I = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}} \quad (5)$$

onde, x_i representa a razão do recurso esperado pelo recurso obtido, por recurso esperado entende-se a média de taxa de bits esperada para cada sessão do compartilhamento e recurso obtido a taxa média de bits de fato acessada em cada cliente.

4.3. Configuração do Ambiente de Experimentação

A Figura 2 apresenta o ambiente de experimentação. Onde a vazão da rede foi controlada pelo DummyNet, conforme o cenário de rede projetado em cada experimento. Todo o tráfego que chega e sai do servidor foi capturado pelo Wireshark, e posteriormente avaliado.

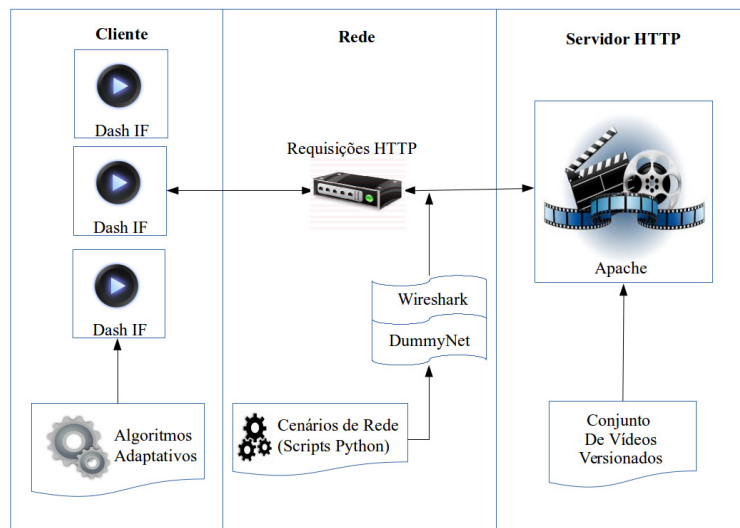


Figura 2. Ambiente de experimentação com compartilhamento de recursos.

Considerou-se cenários de rede com três e seis clientes compartilhando um canal com taxa de 3Mbps e 5Mbps, respectivamente. Esses valores foram definidos com base na adesão as redes acesso fixa, apresentada em [Cetic.Br 2015], onde mostra uma crescente adesão as redes de mais alta taxa, que operam com taxas de até 8 Mbps e acima de 8 Mbps. Nestes grupos de mais alta taxa, aplicou-se a regulamentação da Anatel que estabelece que os provedores devem garantir o mínimo de 40% da taxa contratada, tendo-se considerado

portanto larguras de banda máximas de 7,5 Mbps e 12,5 Mbps. É importante observar que a variação da largura de banda se dá pelo compartilhamento do canal.

4.4. Resultados Numéricos

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos durante a execução de 182 sessões de transmissão de um vídeo, que tem duração de 14 minutos. Nesse cenário as métricas foram calculadas somente no intervalo de tempo em que os clientes acessam simultaneamente o conteúdo, sendo apresentado aqui o valor médio obtido das sessões.

O primeiro estudo apresentado considera o impacto da taxa de fuga na continuidade da sessão de vídeo, quando a estratégia base Adaptech gerencia a sessão, Figura 3. Foram medidos o número de interrupções, Figura 3(a), e a duração total das interrupções, Figura 3(b). Independente do número de clientes compartilhando o canal, verifica-se uma redução significativa na métrica número de interrupções. No cenários de compartilhamento de três e seis clientes, a redução no número de interrupções foi, respectivamente, de 73,91% e 51,85%.

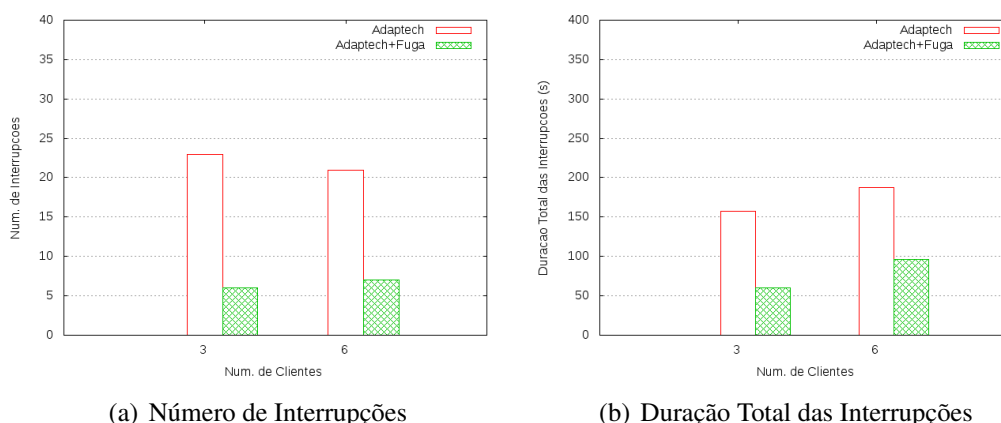


Figura 3. A Estratégia Adaptech com Versionamento Sem Taxa de Fuga e Com Taxa de Fuga, Número e Duração Total das Interrupções por Número de Clientes.

Outro fator importante para a avaliação da QoE é a duração das interrupções. As interrupções prolongam a sessão de acesso, impactando de forma negativa na retenção da audiência. A Figura 3(b) apresenta o aumento médio das sessões provocado pelas interrupções quando um canal é compartilhado por três e seis clientes. A presença da taxa de fuga permitiu a estratégia Adaptech reduções significativas na duração da sessão. Quando apenas três clientes compartilham o canal essa redução foi de 61,78% e, quando seis clientes compartilham o canal tal redução atingiu o valor de 48,71%.

Avaliou-se também de que forma a presença de uma taxa de fuga impacta na frequência com que o *buffer* atinge uma ocupação inferior a mínima esperada. Na Figura 4 apresenta-se a evolução da frequência relativa das interrupções ao longo do tempo. A iminência de interrupções é muito mais frequente quando a taxa de fuga não está presente no conjunto de representações disponíveis, Figura 4(a). Quando a Taxa de fuga é utilizada (Figura 4(b)) verifica-se uma mudança na concentração dos eventos de esvaziamento, que ficam em torno de 40% a 60%, havendo assim, uma nítida suavização das vezes em que a probabilidade alcança seu valor máximo. O intervalo [40%, 60%] constitui o espaço de

otimização do limiar que caracteriza a iminência das interrupções. É importante observar que a quantidade de interrupções (Figura 3) para o versionamento sem taxa de fuga, está refletida em um número de vezes maior com que a frequência relativa das Interrupções é igual a 1.0 (Figura 4).

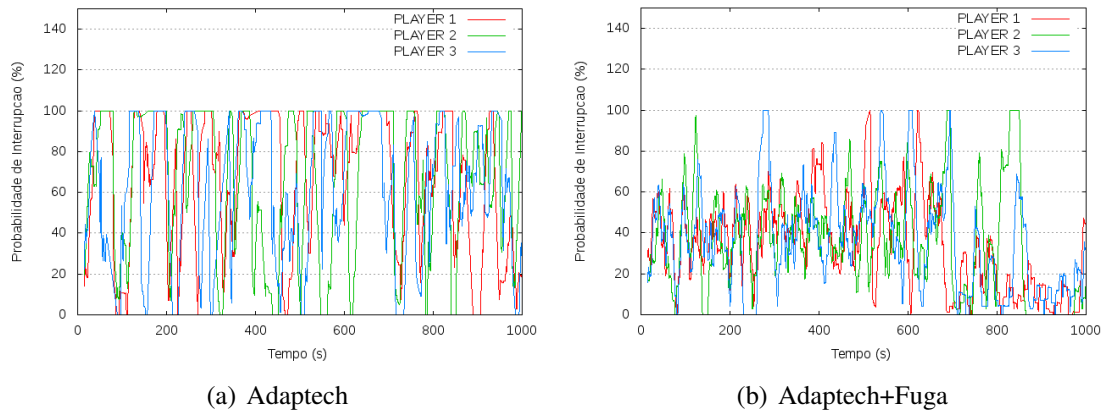


Figura 4. Iminência de interrupções ao longo do Tempo.

A utilização da taxa de fuga permitiu uma maior continuidade de reprodução, entretanto o acesso por períodos longos a representação com baixa qualidade afeta outras métricas, i.e. taxa média de bits. O acesso a representações de menor qualidade é resultado em parte das condições extremas a qual a rede foi submetida, mas também do comportamento moderado do algoritmo base, que demanda condições certamente favoráveis da rede para realizar acesso a representações com melhor qualidade. Esse cenário demandou as melhorias implementadas no algoritmo base, que consistiu na caracterização do cenário de rede em que o uso da taxa de fuga é mandatório. Os resultados dessa caracterização e seu uso são apresentados nas avaliações que seguem.

Na Figura 5 apresenta-se a taxa média de bits registrada quando três e seis clientes, estão acessando o mesmo vídeo. A conclusão geral é que independente do versionamento empregado, sob condições extremas de uso, a taxa média de bits será menor que a mínima esperada, que é de 1000 kbps para o versionamento sugerido pelo Netflix e 1600 kbps sugerido por este estudo. O aumento da duração das sessões e impossibilidade de acessar taxas mais altas, devido a escassez de recursos, são o motivo para esse resultado.

Um ponto a ser destacado é que a estratégia QoE-Adapt equipara-se ao melhor resultado da estratégia Adaptech, apresentando, como será mostrado a seguir, um número bem menor de interrupções. Em relação a estratégia Adaptech com versionamento sugerido pelo Netflix, Adaptech-Netflix, a estratégia QoE-Adapt tem desempenho 35,8% e 79,4% melhor, para cenários com três e seis clientes, respectivamente.

Na Figura 6 apresentam-se as medições realizadas para o número de interrupções e para a duração das interrupções com as três estratégias de acesso ao conteúdo e cenários de rede com três e seis clientes. Os resultados mostram que o desempenho da estratégia QoE-Adapt é melhor que aquele verificado pela estratégia Adaptech e Adaptech+Netflix. Na comparação entre as estratégias QoE-Adapt e Adaptech a redução nas interrupções foi de 43,47% em ambos os cenários de rede. Ao comparar as estratégias QoE-Adapt e Adaptech-Netflix verifica-se redução a favor da estratégia QoE-Adapt de 59,25% e

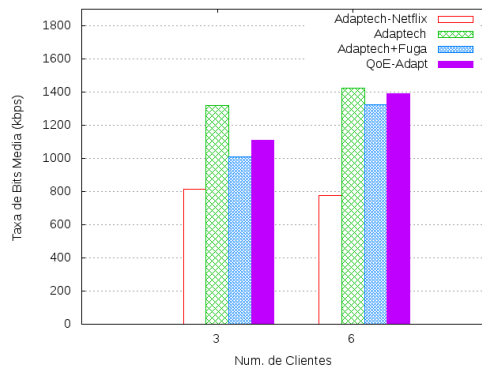


Figura 5. Taxa de Bits Média por Número de Clientes.

47,61% no mesmo cenário de rede.

Com relação a duração das interrupções, verificou-se que a estratégia QoE-Adapt apresenta o melhor desempenho entre as três avaliadas. Esse desempenho foi quantificado por uma redução na duração das sessões em 48,33% e 48,72%, em relação a estratégia Adaptech-Netflix e de 60,63% e 45,99%, em relação a estratégia Adaptech, quando três e seis clientes compartilhavam o canal.

O acesso controlado a taxa de fuga reduz a influência dos aspectos mais conservadores que conduzem a um número menor de acesso as taxas de bits mais altas, que ainda está presente na estratégia QoE-Adapt. Por outro lado, identifica-se que essa mesma ação gera um equilíbrio maior entre as outras métricas e a taxa de bits média, que, conforme discutido anteriormente, apresenta valores melhores que o verificado quando não há restrição de acesso a taxa de fuga.

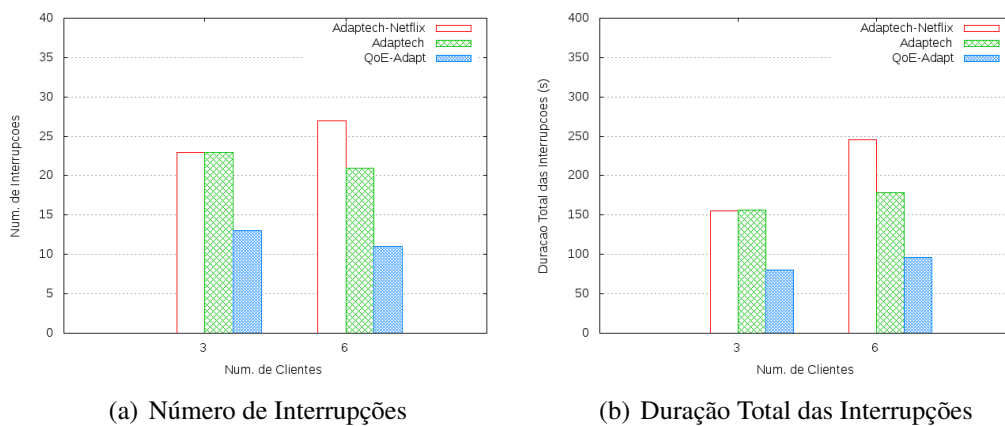


Figura 6. Número e Duração Total das Interrupções por Número de Clientes.

A instabilidade de um algoritmo é afetada pelas características da estratégia. Uma abordagem conservadora busca representações de melhor qualidade somente quando as condições da rede são claramente favoráveis, enquanto que em abordagens mais agressivas condições mínimas de rede já são suficientes para se buscar representações de melhor qualidade. Esses cenários são potencializados por possível descompasso entre o versionamento e a capacidade do canal de acesso. A Figura 7 apresenta a instabilidade

registrada para as estratégias Adaptech-Netflix, Adaptech e QoE-Adapt. A estratégia QoE-Adapt apresenta valores altos para a instabilidade (0,353) quando comparado com as estratégias Adaptech-Netflix (0,074) e Adaptech (0,038). Esse comportamento deve-se ao acesso controlado a taxa de fuga presente na estratégia QoE-Adapt. Por se tratar de uma representação com taxa de bits bem menor que a mínima desejada, a amplitude de uma troca envolvendo a taxa de fuga, contribui de forma significativa para o aumento da instabilidade, ver Equação 4.

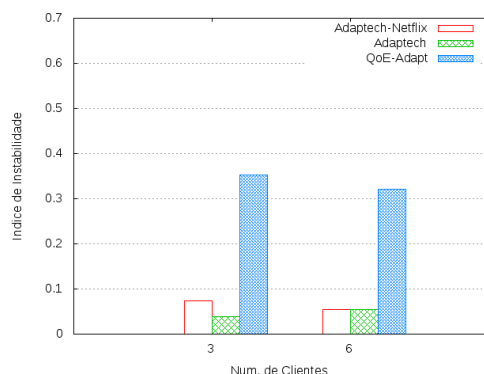


Figura 7. Índice de Instabilidade por Número de Clientes.

Além disso, ao dispor de uma representação com taxa de bits menor que a vazão da rede, a estratégia QoE-Adapt abre a possibilidade de alívio das condições de congestionamento permitindo que em momentos oportunos haja acesso com maior frequência as representações com taxas de bits mais altas. Essa dinâmica gera ainda um efeito apreciado pelos usuários que é a redução de ocorrência de instabilidade de amplitude negativa, que se dá quando a representação escolhida tem taxa de bits menor que a última representação acessada, e aumenta a ocorrência de instabilidade por amplitude positiva, que se traduz em melhoria da qualidade do vídeo.

O aumento desse tipo de ocorrência permite que as representações com taxas de bits maiores sejam acessadas por mais tempo, considerando o tempo total da sessão. Na Figura 8, apresenta-se a popularidade das taxas mais altas acessadas pelos algoritmos, em cenários de rede com três e seis clientes. A conclusão geral é que a estratégia QoE-Adapt promove uma quantidade maior de acesso as taxas de bits mais altas. No cenário de rede com três clientes, Figura 8(a), o uso da estratégia QoE-Adapt aumentou o acesso as taxas mais altas de 5% à 17%, e no cenário com seis clientes, Figura 8(b), aumentou de 6,8% para 20,35%.

A estratégia Adaptech apresenta baixa instabilidade devido a inexistência de condições favoráveis para acesso as representações com taxas de bits mais alta, e, por outro lado, o descompasso entre a vazão da rede e a taxa de bits mínima desejável, obriga a estratégia a permanecer acessando essa taxa impedindo que se registre uma maior ocorrência de instabilidade de amplitude negativa.

O índice de injustiça, conforme discutido na Seção 3.3, mede quão igualitário é um algoritmo no compartilhamento de recursos. A Figura 9 mostra os resultados coletados para essa métrica. Nos cenários de menor escassez de recursos as estratégias se equiparam, entretanto quando a escassez de recursos aumenta o índice de injustiça da estratégia QoE-

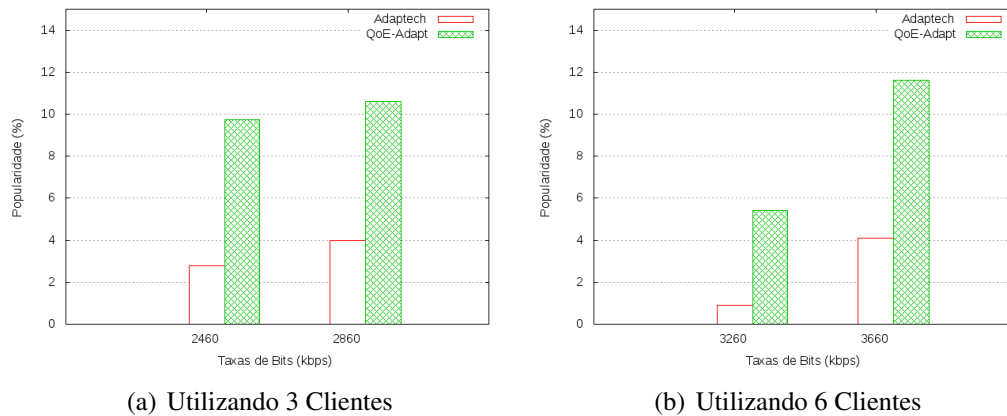


Figura 8. Popularidade das Taxas de Bits mais Altas.

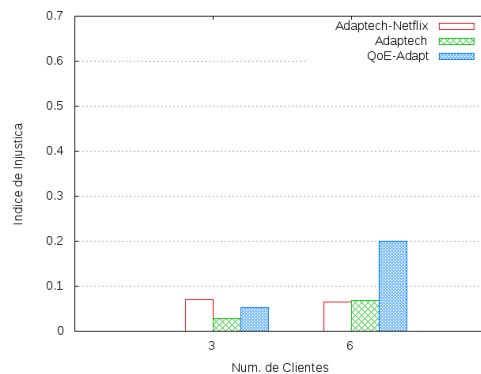


Figura 9. Índice de Injustiça por Número de Clientes.

Adapt se destaca. Nesse cenário, ambas estratégias Adaptech e Adaptech-Netflix foram forçadas a permanecer na mesma taxa em função da escassez de recursos. Por outro lado, a QoE-Adapt ao fazer uso da taxa de fuga, permite que a rede tenha uma redução de demanda, impulsionando assim o acesso a taxas de bits mais altas por outros clientes. Em outras palavras, uma injustiça alta em cenários extremos de compartilhamento não deve ser traduzido diretamente como característica indesejável da estratégia.

5. Conclusão

Neste artigo apresentou-se uma estratégia capaz de adaptar as taxas de bits de acordo com as condições da rede, levando em consideração a probabilidade de interrupções na reprodução do vídeo.

Os estudos numéricos conduzidos consideraram diferentes métricas quantitativas, i.e. número e duração das interrupções, taxa de bits média, e métricas qualitativas, i.e. instabilidade e justiça.

A estratégia proposta alcançou o objetivo de diminuição das interrupções. Uma investigação maior se faz necessária no sentido incluir outros fatores que impactam a QoE, e.g. número de trocas de positivas, no conjunto de possíveis variáveis a serem consideradas no processo de decisão.

Referências

- Akhshabi, S., Narayanaswamy, S., Begen, A. C., and Dovrolis, C. (2012). An experimental evaluation of rate-adaptive video players over http. *Signal Processing: Image Communication*, 27(4):271–287.
- Cao, Y., You, X., Wang, J., and Song, L. (2014). A qoe friendly rate adaptation method for dash. *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2014 IEEE International Symposium on*, pages 1–6.
- Cetic.Br (2015). Centro de estudos sobre as tecnologias da informação e da comunicação. <http://cetic.br/pesquisa/domicilios/indicadores>.
- Cisco (2014). Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2014-2019.
- Coelho, M. (2015). Estratégia de adaptação de fluxo de vídeo baseada em fatores de qoe. Master's thesis, Universidade Federal do Amazonas, UFAM.
- DASHIF (2015). Reference client. <http://dashif.org/reference/players/javascript/index.html>.
- El Essaili, A., Schroeder, D., Steinbach, E., Staehle, D., and Shehada, M. (2015). Qoe-based traffic and resource management for adaptive http video delivery in lte. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 25(6):988–1001.
- Hesse, S. (2013). Design of scheduling and rate-adaptation algorithms for adaptive http streaming. *SPIE Optical Engineering+ Applications*, pages 88560M–88560M.
- Jiang, J., Sekar, V., and Zhang, H. (2014). Improving fairness, efficiency, and stability in http-based adaptive video streaming with festive. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 22(1):326–340.
- Juluri, P., Tamarapalli, V., and Medhi, D. (2015). Sara: Segment aware rate adaptation algorithm for dynamic adaptive streaming over http. *IEEE ICC Workshop on QoE-Management for Duture Internet Applications and Services - QoE-FI*.
- Mok, R. K. P., Luo, X., Chan, E. W. W., and Chang, R. K. C. (2012). Qdash: A qoe-aware dash system. *Proceedings of the 3rd Multimedia Systems Conference*, pages 11–22.
- Mueller, C., Lederer, S., and Timmerer, C. (2012). An evaluation of dynamic adaptive streaming over http in vehicular environments. *Proceedings of the 4th Workshop on Mobile Video*, pages 37–42.
- Seufert, M., Egger, S., Slanina, M., Zinner, T., Hobfeld, T., and Tran-Gia, P. (2015). A survey on quality of experience of http adaptive streaming. *Communications Surveys Tutorials*, (1):469–492.
- Sintel (2013). Durian open movie project. <http://durian.blender.org/>.
- Toni, L., Aparicio-Pardo, R., Simon, G., Blanc, A., and Frossard, P. (2014). Optimal set of video representations in adaptive streaming. *Proceedings of the 5th ACM Multimedia Systems Conference*, pages 271–282.