

# Aplicação da Suavização de Tráfego para Melhoria da Qualidade de Experiência em Sistemas IPTV

Daniel Mauricio Klassen and Carlos Marcelo Pedroso

**Abstract**—The transmission of real-time multimedia streams requires service guarantees, such as limited packet loss, minimum bandwidth and limited delay and jitter, in order to deliver a good quality of experience (QoE) for viewers. The spatial and temporal redundancy of videos is explored by coding algorithms, reducing the amount of information necessary to represent the images. As a consequence, multimedia traffic commonly presents variable bit rate behavior and self-similar characteristics. Although the reduction in bandwidth requirements is highly desirable, the burstiness of traffic leads to problems in network design and performance prediction. Particularly in the case of video streaming, the self similar behavior tends to increase the average packet delay and jitter, and increase the probability of packet loss. Even a low level of packet loss could severely affect the viewer QoE. In this paper, we propose the use of traffic shaping to reduce the burstiness of video traffic. We choose to use the token bucket algorithm due its simplicity and its wide utilization in computer networks. The main contribution of the paper is the method to configure the parameters of token bucket using the video characteristics. The efficiency of proposed method is demonstrated through computer simulations and the results indicate that the use of proposed method effectively improves the QoE.

**Keywords**—Quality of Experience, Multimedia Systems, IPTV

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos pode ser observado um crescimento na disponibilidade e uso de aplicações multimídia utilizando o protocolo IP (*Internet Protocol*). Embora o IP não tenha sido projetado para este fim, fatores como disponibilidade da rede e a demanda por tais aplicativos tem provocado o aumento de interesse nesta área. A transmissão de vídeo sobre IP tem um papel fundamental entre estas aplicações. Uma das aplicações de destaque atualmente é o IPTV (*Television over IP*). Para suportar sistemas IPTV, a rede deve prover níveis apropriados de qualidade de serviço (QoS, *Quality of Service*) e qualidade de experiência (QoE, *Quality of Experience*) [1]. Por se tratar de uma transmissão em tempo real de vídeo com alta qualidade, ela exige da rede a transferência de um grande volume de informações, atraso e *jitter* limitados, além de baixa perda de pacotes.

Um vídeo é composto por um conjunto de imagens, que são denominados de quadros, transmitidos de um servidor para o cliente a uma taxa constante, dada em quadros por segundo (*fps*, *frames per second*). Cada quadro é composto por uma imagem composta por um conjunto de *pixels*, organizados em

uma geometria denotada por um número de linhas e colunas. Um vídeo apresenta dois níveis de redundância: espacial e temporal. Essa redundância permite compactar o vídeo, resultando em redução na taxas de transmissão necessária. O MPEG (*Moving Picture Experts Group*) foi criado pela ISO (*International Organization for Standardization*) para definir padrões para a compressão e transmissão de áudio e vídeo. O primeiro padrão criado, o MPEG-1, foi utilizado para compressão de vídeo e áudio para CDs (*Compact Disc*). A sua segunda versão, o MPEG-2, foi utilizado para armazenamento e transmissão em *broadcast* de áudio e vídeo em transmissões com qualidade para televisão. O MPEG-4 é uma versão mais atual, e será utilizada neste trabalho. O MPEG-4 parte 10 está especificado na norma ISO/IEC 14496 [2], e é amplamente utilizado em sistemas IPTV.

A estrutura do MPEG contem três tipos diferentes de quadros, nomeados I, P e B. Um arranjo regrado dessas imagens é denominado de GOP (*Group of Pictures*). Quanto maior o GOP, pior a qualidade do vídeo, menor a taxa de transmissão necessária e maior o atraso para ações interativas do usuário [3]. Os quadros I (*intra-coded picture*) são codificados sem referência de outras imagens. A compressão é moderada, pois no quadro I apenas são retiradas as redundâncias espaciais. O quadro I é fundamental no sistema MPEG, pois ele serve de referência para todos os quadros pertencentes ao seu GOP. Os quadros P (*predictive-coded picture*) são comprimidos temporal e espacialmente. Essa compressão é realizada a partir da predição por compensação de movimento a partir de uma imagem I ou P passada. O quadro P é montado a partir de um quadro P ou I passado e serve de referência para um quadro P futuro. quadro B (*bidirectionally predictive-coded picture*) é codificado a partir da interpolação entre o quadro anterior e um quadro posterior I ou P. Um quadro P típico é menor que um quadro I. Em relação ao quadro B, o quadro P é geralmente maior [4].

Como resultado da compactação, o vídeo transmitido possui característica de taxa de transmissão variável (VBR, *Variable Bit Rate*), pois o tamanho dos quadros codificados depende fundamentalmente da informação que ele carrega. Do ponto de vista do planejamento de recursos, essa variação de taxa de transmissão é prejudicial, pois dificulta o planejamento de capacidade e os mecanismos de monitoramento das condições exigidas para obter nos níveis desejados de QoE/QoS. Mesmo em sistemas operando com fatores de utilização relativamente baixos, pode ocorrer perda de pacotes devido à presença de rajadas de tráfego. A perda de pacotes é provocada quando ocorre a coincidência de múltiplos picos no tráfego agregado e não há espaço disponível no *buffer* do roteador, ou quando o atraso do pacote ultrapassa o tempo limite máximo para a

sua reprodução. De acordo com [5], o atraso de propagação passou a ser fator determinante na qualidade de aplicações, principalmente de transmissões de vídeo *streaming* e voz sobre IP, uma vez que a largura de banda está crescendo para atender os requisitos da transmissão de vídeo nos EUA.

O impacto da perda de pacotes na QoE foi estudado por Greengrass et al. em [3]. Os autores mostram que o descarte de pacotes que transportam quadros I podem resultar em distorções na imagem que são propagadas por todos os quadros ao longo do mesmo GOP. A degradação pode durar um longo período de tempo (tipicamente 0,5 a 1 segundo), sendo que a qualidade do vídeo será recuperada apenas quando o decodificador receber um novo quadro I intacto. Dependendo de qual pacote é perdido, as distorções podem resultar em altos níveis de degradação, por exemplo, a perda de único pacote IP no início de um quadro I contendo parte do cabeçalho do quadro pode ter o mesmo efeito como o de perder um quadro I por inteiro. Também é mostrado que quanto maior o número de quadros do GOP, pior o efeito da perda de um pacote do quadro I.

Para melhorar o nível da qualidade de experiência percebida pelo usuário, Hong et al. propuseram em [6] um método, a ser implementado pelo servidor de vídeo, chamado SAPS (*Significance Aware Packet Scheduling*), que ajusta os intervalos de tempo entre pacotes baseado na significância da informação que ele transporta. A proposta dos autores é aumentar o intervalo de tempo entre pacotes com nível maior de significância. Isso possibilita que os roteadores liberem espaço em seus *buffers* antes da chegada desses pacotes. O nível de significância é obtido a partir da relação sinal ruído de pico (PSNR-*Peak signal-to-noise ratio*), que é calculado com a interpretação do impacto da perda de cada bit do quadro no PSNR, considerando a estrutura de dependência do GOP. Como resultado, a qualidade percebida pelo usuário é aumentada. No entanto, a implementação do SAPS possui grande complexidade computacional, pois exige a decodificação do vídeo na origem e cálculo do nível de significância de cada pacote em função dos *pixels* que ele transporta. Um método alternativo com complexidade computacional menor foi proposto em [7], que utiliza redes neurais para identificar pacotes que transportam quadros mais importantes para reprodução da imagem e melhorar a QoE.

Neste artigo, exploramos a aplicação da suavização de tráfego, implementada no servidor de vídeo, com o objetivo de melhorar a QoE. Para suavização de tráfego, será utilizado o algoritmo do balde de fichas, que possui baixa complexidade computacional e é implementado na maioria dos sistemas operacionais e roteadores em uso atualmente. A principal contribuição deste artigo é o desenvolvimento de um método de cálculo para os parâmetros do algoritmo do balde de fichas para que a suavização seja eficiente para melhoria da QoE, considerando-se as características do vídeo. Estas características podem ser analisadas *a priori* e utilizadas pelo suavizador, que irá tratar cada vídeo de modo apropriado. Não é de conhecimento dos autores nenhum método para o uso do algoritmo do balde de fichas para melhoria da QoE.

Além desta seção introdutória, este artigo apresenta o método proposto na seção II, os resultados de uma

demonstração do funcionamento do método através de simulações computacionais na seção III e as conclusões e trabalhos futuros na seção IV.

## II. SUAVIZAÇÃO DE TRÁFEGO PARA MPEG

A suavização de tráfego de vídeo foi explorada anteriormente por [8], mas com objetivo de adaptar o vídeo ao sistema de policiamento de tráfego do modelo de Serviços Integrados [9], para implementação de qualidade de serviço no protocolo IP. Mais recentemente, o tema da suavização de tráfego para melhorar a qualidade de experiência foi abordado por [10], mas o objetivo foi melhorar a experiência do usuário na navegação Web, com protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*). A suavização de tráfego que propomos tem a intenção de melhorar o padrão de QoE, considerando a transmissão de vídeo *streaming*. Um dos principais algoritmos de suavização de tráfego disponíveis é o algoritmo do balde de fichas, que será apresentado a seguir.

### A. Algoritmo do Balde de Fichas

O algoritmo consiste em regular um fluxo com um balde de tamanho  $b$  fichas, onde o balde é preenchido com fichas que são inseridas a uma taxa constante  $r$  fichas por segundo [11]. Caso não sejam utilizadas as fichas no balde, as fichas excedentes são descartadas. No algoritmo do balde de fichas o pacote recebido com tamanho  $p$  é armazenado em um *buffer*. Enquanto o pacote está no *buffer* é realizada uma comparação de  $p$  com número de fichas existentes no balde. Caso o número de fichas no balde seja maior que  $p$ , são subtraídas  $p$  fichas do balde e o pacote é transmitido. Caso contrário, o pacote espera o número de fichas do balde se igualar a  $p$ . O balde de fichas permite uma irregularidade no fluxo de dados, habilitando a transmissão de rajadas. O balde de fichas garante que em um intervalo de tempo  $\delta$ , a quantidade de informação enviada não ultrapassa o limite dado por  $b + \delta r$ .

### B. Configuração de Parâmetros

A taxa de inserção de fichas no balde deve ser suficiente para suportar a transmissão do vídeo. Desta forma, é necessário configurar o parâmetro  $r$  de acordo com a taxa média exigida pelo vídeo. Isto pode ser feito tomando-se a razão entre quantidade total de informação a ser transmitida e o tempo de duração do vídeo.

Para o tamanho do balde, é necessário fazer algumas considerações. Caso o tamanho do balde seja muito pequeno, as rajadas seriam eliminadas, tornando fluxo praticamente constante e o atraso introduzido pode prejudicar a QoE. Caso o tamanho do balde seja muito grande, o tráfego permaneceria inalterado. Desta forma, o primeiro cuidado a se tomar é fazer com que a transmissão dos quadros tipo I, que possuem o maior tamanho entre os tipos de quadro, seja realizada, na média, antes da transmissão da próxima imagem, ou seja,

$$t_{\phi_I} < \frac{1}{f} \quad (1)$$

onde  $t_{\phi_I}$  denota o tempo médio para transmissão de um quadro I e  $f$  é a taxa de geração de quadros.

O tempo médio para transmissão de um quadro I, suavizado pelo algoritmo do balde, pode ser dado por:

$$t_{\phi_I} = \frac{b}{C} + \frac{\phi_I - b}{r}, r < C \quad (2)$$

onde  $b$  é o tamanho do balde,  $C$  representa a capacidade do canal,  $\phi_I$  é o tamanho médio do quadro I e  $r$  é a taxa do balde.

Utilizando-se as Equações 1 e 2, pode-se obter:

$$b < \frac{1}{r/C - 1} \left[ \frac{r}{f} - \phi_I \right], r < C \quad (3)$$

A Equação 3 indica qual o valor máximo para o balde de forma a não sobrepor a transmissão dos pacotes pertencentes a um determinado quadro com os quadros subsequentes. Considerando que os quadros I representam o pior caso em termos de tamanho de pacote e que um tamanho do balde maior que o tamanho do quadro I não estaria suavizando o tráfego, uma regra importante para se estabelecer é dada por:

$$b < \text{MAX}_I \quad (4)$$

onde  $\text{MAX}_I$  é o tamanho do maior quadro I do vídeo em questão.

Propomos a seguinte heurística para a escolha do tamanho do balde:

$$b = \text{mínimo} \left( \frac{1}{r/C - 1} \left[ \frac{r}{f} - \phi_I \right], \phi_I \right), \quad (5)$$

A heurística proposta respeita os limites estabelecidos pelas Equações 3 e 4, uma vez que o tamanho médio do quadro I ( $\phi_I$ ) é sempre menor ou igual ao tamanho máximo do quadro I ( $\text{MAX}_I$ ). A heurística proposta se baseia nas seguintes observações: (a) o valor médio para o tamanho do quadro I é uma medida simples para ser obtida na prática; (b) como existe uma variação no tamanho do quadro I, limitar a rajada para o tamanho médio do quadro I deve limitar as maiores rajadas, evitando problemas de congestionamento sem penalizar demasiadamente a transmissão dos quadros I; (c) o tráfego resultante ainda permite rajadas com a transmissão inalterada de quadros I com tamanho menor ou similar à média e também dos quadros P e B.

### III. SIMULAÇÃO

A simulação foi configurada utilizando uma topologia *dumbbell*, onde o servidor é conectado a um roteador, que por sua vez é conectado à outro roteador ligado aos clientes, conforme ilustrado na Fig. 1. O enlace entre os roteadores é o gargalo da rede, com uma taxa de transmissão  $C$ . O enlace entre servidor-roteador e cliente-roteador foi configurado com uma taxa de transmissão muito maior que  $C$ , com atraso de propagação desprezível. O atraso de propagação do enlace entre os dois roteadores foi definido de forma a imitar a latência típica encontrada em para redes de acesso, com valor de 50ms [5]. O simulador empregado foi o *Network Simulator* (NS-2), versão 2.38 [12].

Na simulação foram utilizados três vídeos: o primeiro foi um trecho de 31 segundos do filme *Parque dos Dinossauros*,

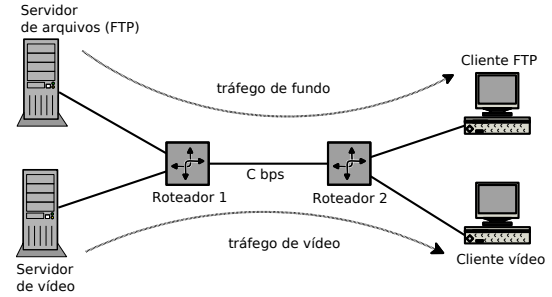


Fig. 1. Topologia de simulação

TABLE I  
CARACTERÍSTICAS DOS VÍDEO UTILIZADOS NOS TESTES.

	Parque dos Dinossauros	Highway	Football
Tamanho Total (bits)	88,05M	208,20M	1,60M
Taxa Média (bps)	2,84M	3,13M	4,29M
Nº de Pacotes	7.789	18.810	1.114
$\phi_I$ (bytes)	38.692	13.012	17.735
$\text{MAX}_I$ (bytes)	95.846	28.606	35.570
$f$ (fps)	30	30	30
Geometria	720x480	352x288	352x288
Codec	MPEG4.10	MPEG4.10	MPEG4.10
Tempo Total (segundos)	31,037	66,439	2,97

o segundo foi o vídeo *Highway* e o terceiro o vídeo *Football*, estes últimos disponíveis publicamente em [13] e bastante utilizados em pesquisas na área. A Tabela I mostra as principais características dos vídeos.

Para análise de desempenho da proposta, a capacidade do canal foi alterada para produzir diversos níveis de utilização. A utilização é uma grandeza adimensional com tamanho máximo de 1,0 para sistemas estáveis, definida pela razão entre taxa de transferência exigida pelo vídeo e a taxa do canal. Foram simulados diversos cenários de utilização, contemplando possibilidades entre 10% e 95%. Nas simulações realizadas, o tamanho do *buffer* foi mantido muito grande, de forma a evitar descartes, o que é uma situação comum em função da disponibilidade de memória nos dispositivos. Os pacotes com atraso maior que 200ms foram considerados perdidos [14]. As simulações contemplaram a transmissão do vídeo original e o do vídeo suavizado utilizando o algoritmo do balde de fichas com a configuração do tamanho do balde de acordo com a Equação 5. Em todas as simulações foi utilizado um tráfego de fundo constituído por uma transferência de arquivo sobre o protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*).

O MOS é um teste subjetivo de avaliação da qualidade de um vídeo, especificado pelo ITU (*International Telecommunications Union*) em [15] e [16], e depende da impressão de um observador humano sobre a qualidade do vídeo reproduzido. A qualidade do vídeo é expressada por um número de 1 a 5, 1 representando a pior e 5 a melhor qualidade possível. Em contraste, a avaliação objetiva da qualidade é realizada através de ferramentas computacionais. Basicamente, a avaliação objetiva pode ser dividida em métricas baseadas na avaliação pixel a pixel (por exemplo, o cálculo da PSNR) e na avaliação do sistema psico visual humano [17]. A última abordagem tem se mostrado superior ao PSNR, mas apresenta maior

TABLE II

MAPEAMENTO ENTRE VALORES DO PSNR E MOS. FONTE: [19]

	MOS	Significado
$PSNR > 37dB$	5	Excelente
$31dB < PSNR \leq 37dB$	4	Bom
$25dB < PSNR \leq 31dB$	3	Razoável
$20dB < PSNR \leq 25dB$	2	Pobre
$PSNR \leq 20dB$	1	Ruim

complexidade computacional se comparado com esta primeira opção [18]. No entanto, como precisamos avaliar a qualidade relativa, comparando dois casos (com e sem suavização), optamos por utilizar PSNR para estimar o MOS. Esta decisão não afeta as conclusões, pois buscamos quantificar a melhora obtida em relação a um sistema que não realiza a suavização de tráfego, sendo que a aproximação máxima do MOS real é secundária neste caso.

Para a análise do MOS foi utilizado o EvalVid [19], ferramenta desenvolvida pela Universidade Técnica de Berlim, que calcula o valor do MOS através do cálculo do valor do PSNR entre o vídeo transmitido e o recebido. Para a utilização do EvalVid na simulação, os intervalos entre pacotes são atualizados de acordo com os resultados da simulação, o vídeo é remontado e o resultado é comparado com o vídeo original, permitindo o cálculo do PSNR. O mapeamento do PSNR com o MOS foi realizado de acordo com os valores mostrados na Tabela II.

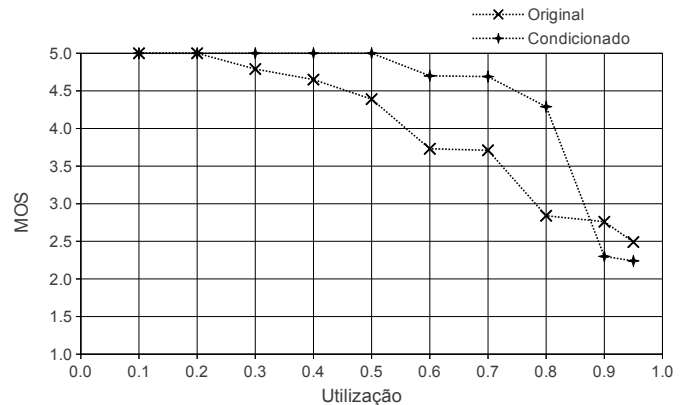
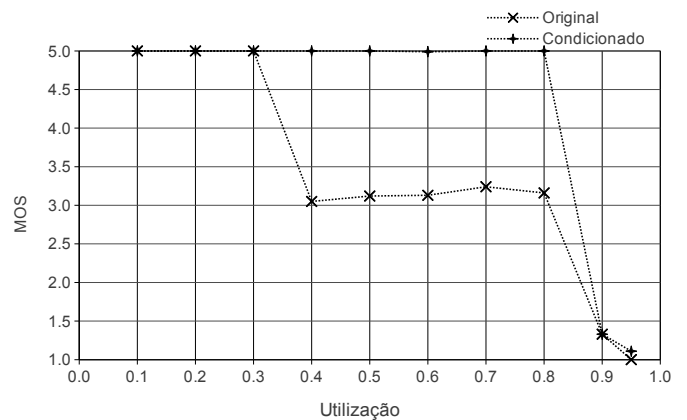
### A. Resultados

A Fig. 2 apresenta o MOS obtido para a transmissão do vídeo *Parque dos Dinossauros* para diversos níveis de utilização. Observa-se que para o vídeo original, sem suavização, o MOS começa a apresentar degradação a partir de 40% de utilização. Com utilização de 70%, o MOS observado foi 3,7 e com 90% resultou em um MOS 2,7. O MOS observado para o vídeo suavizado apresentou uma degradação iniciando com o nível de utilização de 60%, mas apresentando MOS acima de 4 até o nível de utilização de 80%.

A Fig. 3 apresenta o MOS obtido para a transmissão do vídeo *Highway*. Observa-se que o vídeo sem suavização começa a degradar em 30% de utilização do canal. Com a transmissão do vídeo suavizado, a degradação inicia-se em 60% de utilização. Observa-se para os níveis de utilização menores que 90% que o uso do método proposto resultou em boa melhoria na qualidade da experiência. Para o nível de utilização de 90% e 95% ocorre uma súbita degradação do MOS.

A Fig. 4 apresenta o MOS obtido para a transmissão do vídeo *Football*. Observa-se que o vídeo sem suavização começa a degradar em 70% de utilização, com uma queda acentuada no MOS para valores maiores que 80% de utilização. A suavização permitiu que a qualidade fosse mantida para valores de 70% e 80% de utilização, com a qualidade máxima do vídeo.

Em todos os casos testados, é possível observar que o uso do método suavizador melhorou a qualidade da experiência do usuário, principalmente quando o nível de utilização aumenta.

Fig. 2. Comparação entre o MOS resultante da transmissão do vídeo *Parque dos Dinossauros* com e sem suavizaçãoFig. 3. Comparação entre o MOS resultante da transmissão do vídeo *Highway* com e sem suavização

O benefício observado no MOS foi diferente para cada um dos vídeos, o que pode ter sido causado por diferenças nos padrões de movimento e tipo de compactação espacial e temporal, onde a perda de uma informação pode ter diferentes impactos na qualidade. Observa-se também que o uso da suavização permitiu em todos os casos uma boa resposta para níveis de utilização iguais ou menores que 80%, com MOS mantido sempre em valores superiores a 4. Para a transmissão sem suavização, a degradação inicia-se em valores menores de utilização.

A implementação da suavização também contribuiu positivamente para redução do *jitter*. Em todos os casos, o *jitter* foi reduzido, principalmente para valores de utilização maiores que 50%. Creditamos a melhoria do MOS principalmente à redução do *jitter*, que ocorre devido ao efeito conjunto da suavização das rajadas resultantes de quadros I muito grandes e o mecanismo de controle de fluxo/congestionamento do protocolo TCP do tráfego de fundo.

Os resultados simulados indicam que é possível obter uma melhora na QoE, principalmente em situações onde o nível de utilização do canal é maior que 40%. Considerando-se que a transmissão de vídeo exige taxas relativamente altas, de acordo com o relatório do Comitê Gestor da Internet no Brasil [20], é possível estimar que um usuário típico irá operar com

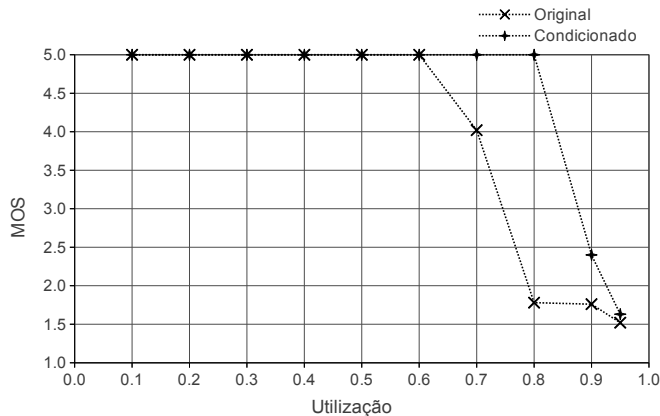


Fig. 4. Comparação entre o MOS resultante da transmissão do vídeo *Football* com e sem suavização

níveis de utilização maiores que 40%. Mesmo na situação mais favorável em termos de taxas maiores de transmissão existente nos EUA, é possível estimar que a utilização será ainda maior que 40% em função do aumento da qualidade dos vídeos. Desta forma, o uso da abordagem proposta pode melhorar significativamente a qualidade de experiência percebida pelo usuário em sistemas IPTV. A solução proposta é simples, contrastando com as abordagens mais complexas propostas na literatura. Além disso, o algoritmo do balde de fichas está implementado na maioria dos roteadores e servidores em uso atualmente, o que torna imediata a disponibilidade do método para implementação prática.

#### IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo propomos o uso da suavização de tráfego para melhoria da qualidade da experiência na transmissão de vídeos codificados com padrão MPEG. Vídeos codificados com padrão MPEG possuem perfil de tráfego variável, o que pode levar a problemas de perdas, devido a latência máxima pacote ou de espaço insuficiente em *buffers* nos roteadores. Levantamentos de dados recentes indicam que o atraso de propagação e o *jitter* são os fatores dominantes na qualidade de experiência para sistemas de vídeo *streaming* e voz sobre IP. A suavização de tráfego tem o efeito de reduzir o *jitter*, distribuindo melhor as rajadas no tempo, o que permite que os roteadores da rede esvaziem seus *buffers* reduzindo problemas originados com a variação do atraso dos pacotes.

O método de suavização utilizado foi o algoritmo do balde de fichas. Este algoritmo é utilizado em diversas aplicações, e possui grande facilidade para implementação devido a sua simplicidade computacional. A principal contribuição deste artigo é a proposta do método de configuração dos parâmetros do algoritmo. A configuração do tamanho do balde é realizada de acordo com as características do vídeo codificado, principalmente o tamanho do quadro I. A melhoria na QoE foi demonstrada através de simulações computacionais, comparando o PSNR da imagem original com a imagem recebida. Espera-se que o método também possa ser aplicado com sucesso no MPEG2.

Como trabalho futuro, pretendemos investigar se e como a suavização de tráfego colabora com a QoE quando são transmitidos muitos fluxos agregados. Também é de interesse investigar qual o efeito da alteração de características de codificação, como o tamanho do GOP, a geometria, e o padrão de movimento do vídeo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] "Requirements for the support of IPTV services," January 2009, recommendation Y.1901, International Telecommunication Union (ITU).
- [2] "ISO/IEC 14496-10:2003," September 2004, information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding.
- [3] J. Greengrass, J. Evans, and A. C. Begen, "Not all packets are equal, part 2: The impact of network packet loss on video quality," *IEEE Internet Computing*, vol. 13, pp. 74–82, March 2009.
- [4] D. Marpe, T. Wiegand, and G. Sullivan, "The h.264/mpeg4 advanced video coding standard and its applications," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 44, no. 8, pp. 134–143, August 2006.
- [5] "Measuring broadband america," February 2013, a Report on Consumer Wireline Broadband Performance in the U.S. - Federal Communications Commission / State of U.S. Broadband. On-line: <http://www.fcc.gov/measuring-broadband-america/2013/February>.
- [6] S. Hong and Y. Won, "Incorporating packet semantics in scheduling of real-time multimedia streaming," *Multimedia Tools Appl.*, vol. 46, pp. 463–492, January 2010.
- [7] C. E. M. Santos and C. M. Pedrosa, "Um método para melhorar a QoE em sistemas de transmissão IPTV," in *XXX Congresso Brasileiro de Telecomunicações (SBRT 2012)*. Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Setembro 2012.
- [8] M. F. Alam, M. Atiquzzaman, and M. A. Karim, "Traffic shaping for MPEG video transmission over the next generation internet," *Comput. Commun.*, vol. 23, no. 14-15, pp. 1336–1348, Aug. 2000.
- [9] R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview," RFC 1633 (Informational), Internet Engineering Task Force, 1994. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1633.txt>
- [10] R. Houdaille and S. Gouache, "Shaping HTTP adaptive streams for a better user experience," in *Proceedings of the 3rd Multimedia Systems Conference*, ser. MMSys '12. New York, NY, USA: ACM, 2012, pp. 1–9.
- [11] A. Tanenbaum, *Computer Networks*, 4th ed. Prentice Hall Professional Technical Reference, 2002.
- [12] L. Breslau, D. Estrin, K. Fall, S. Floyd, J. Heidemann, A. Helmy, P. Huang, S. McCanne, K. Varadhan, Y. Xu, and H. Yu, "Advances in network simulation," *Computer*, vol. 33, no. 5, pp. 59–67, 2000.
- [13] A. S. University, "Video trace library." [Online]. Available: <http://trace.eas.asu.edu/>
- [14] "Triple-play services quality of experience (QoE) requirements," december 2006, technical Report TR-126. On-line: <http://www.broadband-forum.org/technical/download/TR-126.pdf>.
- [15] "Recommendation ITU-R BT.1788," January 2007, methodology for the subjective assessment of video quality in multimedia applications.
- [16] "Recommendation ITU-T P.910," April 2007, subjective video quality assessment methods for multimedia applications.
- [17] A. Lie and J. Klaue, "Evalvid-ra: Trace driven simulation of rate adaptive MPEG-4 VBR video," *Multimedia Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 35–50, 2008.
- [18] M. Zink, O. Kunzel, J. Schmitt, and R. Steinmetz, "Subjective impression of variations in layer encoded videos," in *Proceedings of 11th IEEE/IFIP International Workshop on Quality of Service (IWQoS 03)*, 2003, pp. 137–154.
- [19] J. Klaue, B. Rathke, and A. Wolisz, "Evalvid - a framework for video transmission and quality evaluation," in *Proceedings of the 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation*, 2003, pp. 255–272.
- [20] "TIC Domicílios e Empresas 2011," JANEIRO 2012, pesquisa sobre o Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação no Brasil. Comitê Gestor da Internet no Brasil - CGI.br. On Line: <http://www.cgi.br/publicacoes/pesquisas/index.htm>.