

Uma Abordagem de Alocação de Banda Efetiva para Tráfego MPEG-4 sobre Redes ATM Utilizando Processos TES

Juliano Viana Borges e Lee Luan Ling

Resumo—Neste artigo utilizamos a função banda efetiva de processos TES para dimensionamento de buffer, focando nossa análise em tráfegos MPEG-4 sobre redes ATM. Baseado na metodologia de modelagem TES, propomos uma abordagem de alocação de banda efetiva que leva em consideração as características auto-similares desses tráfegos. Os resultados experimentais mostram que o método proposto estima de maneira eficaz a banda efetiva satisfazendo a exigência de probabilidade de perda de células.

Palavras-Chave—Banda efetiva, processos TES, MPEG-4, ATM.

Abstract—In this paper, we use the effective bandwidth function of TES processes for buffer dimensioning, focusing our analysis on MPEG-4 video traffics over ATM networks. Based on TES modeling, we propose an approach of effective bandwidth allocation explicitly taking account of traffic's self-similar characteristics. Experimental results show that the proposed method is able to provide the optimized effective bandwidth estimates satisfying cell loss probability requirement.

Index Terms—Effective bandwidth, TES processes, MPEG-4, ATM.

I. INTRODUÇÃO

É esperado que o tráfego de vídeo seja uma porção significativa do tráfego nas futuras redes de comunicações de banda larga. Dentre os vários padrões de codificação de vídeo, o emergente MPEG-4 surge como um dos principais padrões internacionais [1], pois o mesmo provê um mecanismo de codificação de vídeo muito eficiente e também cobre desde as taxas mais baixas dos sistemas de comunicação sem fio até as taxas mais altas dos sistemas de televisão de alta definição. Por outro lado, a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) é o padrão do ITU-T para a B-ISDN (*Broadband - Integrated Services Digital Network*). Dentro deste contexto, a modelagem do tráfego MPEG-4 para o transporte em redes ATM passa a desempenhar um papel muito importante no projeto e gerenciamento das redes de comunicações de banda larga.

Uma característica acentuada das fontes de vídeo geradas pela codificação MPEG-4 é que elas causam fluxos de tráfego fortemente correlacionados. O impacto de tráfegos fortemente correlacionados no desempenho de um sistema de fila de tráfego é significativo. Normalmente as técnicas tradicionais de modelagem não conseguem capturar todas as

particularidades desse tipo de tráfego. Conseqüentemente, um procedimento de modelagem capaz de capturar este comportamento se torna necessário.

Neste artigo utilizamos TES (*Transform-Expand-Sample*) como metodologia de modelagem para os tráfegos MPEG-4 sobre redes ATM. A modelagem através de processos TES permite capturar a função distribuição e aproximar a função de autocorrelação de um tráfego [2].

A estrutura deste artigo é a seguinte: Na seção 2 uma breve revisão sobre banda efetiva para processos TES é realizada. Na seção 3 os tráfegos MPEG-4 sobre redes ATM são analisados. A seção 4 trata da modelagem desses tráfegos através de processos TES. Na seção 5 o método de alocação de banda efetiva é proposto. Na seção 6 o método proposto é validado com o auxílio de simulações. Finalmente, este artigo é concluído na seção 7.

II. BANDA EFETIVA PARA PROCESSOS TES

TES é uma versátil metodologia para a modelagem de séries temporais correlacionadas com distribuições de probabilidade arbitrárias, sendo particularmente interessante na modelagem do tráfego de vídeo encontrado nas redes de comunicações [2] [3]. Uma seqüência de variáveis aleatórias geradas por TES é chamada de processo TES.

A. Processos TES

A construção de processos TES envolve duas seqüências. A primeira seqüência tem um papel auxiliar, e é conhecida como seqüência *background*. Seqüências *background* são denotadas por $\{U_n^+\}$ e $\{U_n^-\}$, e definidas recursivamente como segue:

$$U_n^+ = \begin{cases} U_0, & \text{se } n = 0 \\ \langle U_{n-1}^+ + V_n \rangle, & \text{se } n > 0 \end{cases} \quad (1)$$

e

$$U_n^- = \begin{cases} U_n^+, & \text{se } n \text{ par} \\ 1 - U_n^+, & \text{se } n \text{ ímpar} \end{cases} \quad (2)$$

onde $\langle \rangle$ é o operador módulo-1, U_0 é uma variável aleatória uniforme em $[0, 1)$ e $\{V_n\}$ é uma seqüência de variáveis aleatórias i.i.d. com densidade de probabilidade f_v , conhecida como seqüência inovação. Toda seqüência *background* $\{U_n\}$ é uma série temporal correlacionada com distribuição uniforme em $[0, 1)$.

A segunda seqüência é o produto final de um modelo TES, e é conhecida como seqüência *foreground* ou simplesmente processo TES. Seqüências *foreground* são denotadas por

$\{X_n^+\}$ e $\{X_n^-\}$, e definidas por:

$$\{X_n^+\} = D\{U_n^+\} \quad (3)$$

e

$$\{X_n^-\} = D\{U_n^-\} \quad (4)$$

onde D é uma transformação, chamada de distorção. As equações (3) e (4) definem duas classes de processos TES denotados por TES⁺ e TES⁻, respectivamente. Processos TES⁺ cobrem a escala positiva do coeficiente de autocorrelação com atraso igual a um e processos TES⁻ cobrem a escala negativa do coeficiente de autocorrelação com atraso igual a um.

A distorção D é definida como segue:

$$D(x) = F^{-1}[S_\xi(x)], \quad x \in [0,1] \quad (5)$$

A transformação F^{-1} é o inverso da função distribuição de probabilidade desejada para uma seqüência *foreground*. A transformação S_ξ , chamada de transformação *stitching*, é uma operação de aplainamento, parametrizada por $0 \leq \xi \leq 1$, da seguinte forma:

$$S_\xi(y) = \begin{cases} \frac{y}{\xi}, & 0 \leq y \leq \xi \\ \frac{(1-y)}{(1-\xi)}, & \xi \leq y < 1 \end{cases} \quad (6)$$

Toda seqüência *foreground* $\{X_n\}$ é uma série temporal correlacionada com função distribuição de probabilidade F , independente da densidade de probabilidade da seqüência inovação f_v e do parâmetro *stitching* selecionado ξ .

Para maiores detalhes sobre processos TES, veja [2].

B. Banda Efetiva para Processos TES

Por definição, a banda efetiva para uma fonte de tráfego Z_n é dada por [4]:

$$c(s,k) = \frac{1}{sk} \log E \left(e^{s \sum_{n=0}^{k-1} Z_n} \right) \quad (7)$$

onde s é o parâmetro espaço e k é o parâmetro tempo. Substituindo Z_n por um processo TES⁺, a seguinte equação é obtida:

$$c(s,k) = \frac{1}{sk} \log E \left(e^{s \sum_{n=0}^{k-1} X_n^+} \right) \quad (8)$$

O cálculo direto da banda efetiva para processos TES⁺ através da equação (8) resulta em equações integrais recursivas não tratáveis. J. Yang et. al. derivaram em [3] uma solução tratável para a equação (8) na forma matricial através da discretização da densidade de probabilidade f_v da seqüência inovação $\{V_n\}$. Essa nova equação, chamada de função banda efetiva para processos TES, é dada por:

$$c(s,k) = \frac{1}{sk} \log \left(\frac{1}{M} \bar{\mathbf{1}}^T G_{s,D} (H^+ G_{s,D})^{k-1} \bar{\mathbf{1}} \right) \quad (9)$$

onde M é o número de subintervalos discretizados de f_v . ($M = 200$ neste trabalho). As matrizes $\bar{\mathbf{1}}$, $G_{s,D}$ e H^+ são definidas por:

$$\bar{\mathbf{1}} = (1,1,\dots,1)^T \quad (10)$$

$$G_{s,D} = \begin{pmatrix} g_{s,D}(0) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & g_{s,D}(1) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & g_{s,D}(M-1) \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$H^+ = \begin{pmatrix} \phi_0 & \phi_1 & \dots & \phi_{M-1} \\ \phi_{M-1} & \phi_0 & \dots & \phi_{M-2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_1 & \phi_2 & \dots & \phi_0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

A função $g_{s,D}(l)$ é definida como segue:

$$g_{s,D}(l) = \int_0^1 e^{sD \binom{l+u}{M}} du \quad (13)$$

para $l = 0, 1, \dots, M-1$.

A densidade de probabilidade discretizada ϕ_m de uma seqüência inovação elementar é dada por:

$$P \left[(V_n) = \frac{m}{M} \right] = \phi_m, \quad \text{se } 0 \leq \frac{m}{M} < 0,5 \quad (14)$$

$$P \left[(V_n + 1) = \frac{m}{M} \right] = \phi_m, \quad \text{se } 0,5 \leq \frac{m}{M} < 1$$

para $m = 0, 1, \dots, M-1$. Onde $\sum_{m=0}^{M-1} \phi_m = 1$.

Para maiores detalhes sobre o desenvolvimento da função banda efetiva para processos TES, veja [3].

III. ANÁLISE DO TRÁFEGO MPEG-4 SOBRE REDES ATM

Codificadores MPEG-4 geram três tipos de *frame*: I, P e B. Tipicamente, *frames* I são os maiores e *frames* B são os menores. No tráfego MPEG-4, os *frames* são agrupados em GoP's (*Groups of Pictures*), onde cada GoP consiste de um padrão de tipos de *frame*. Os tráfegos de vídeo utilizados no presente estudo fazem uso do padrão GoP "IBBPBBPBBPBB" a uma taxa de frame de 25 fps (*frames* por segundo).

Foram utilizados os primeiros 30 minutos das seguintes seqüências MPEG-4: Parque dos Dinossauros, Simpsons, Fórmula 1 e Futebol. Essas seqüências MPEG-4 foram disponibilizadas para o público em geral pelo Grupo de Redes de Telecomunicações da Universidade Técnica de Berlin [5]. Entretanto, para trabalharmos com tráfego MPEG-4 sobre redes ATM foi necessário adaptar essas seqüências MPEG-4, as quais estão em bytes, para células ATM. Tal adaptação foi realizada utilizando o programa de adaptação de seqüências MPEG-4 em células ATM desenvolvido por A. Alberti et. al., a qual foi baseada no ATM *Forum Video on Demand (VoD) Specification* 1.1 [6]. Esse programa está disponibilizado em [7].

A. Análise no Nível de Tamanho de frame

Ao analisarmos o tráfego MPEG-4 sobre redes ATM no nível de tamanho de *frame*, observa-se uma estrutura de correlação periódica entre os *frames* dentro de um GoP. Como ilustração, temos a Figura 1 exibindo a função de autocorrelação do tráfego Fórmula 1 para tamanho de *frame*, onde é possível visualizar o comportamento induzido da função de autocorrelação pelo padrão periódico do GoP. Esse

comportamento é muito difícil de ser incluído em uma modelagem [8]. Como solução, esse tráfego foi separado em três outros, um para cada tipo de *frame*, o que facilita o procedimento de modelagem. Na Figura 2 temos a função de autocorrelação do tráfego Fórmula 1 para tamanho de *frame* B, onde se verifica a ausência do comportamento periódico visto na Figura 1.

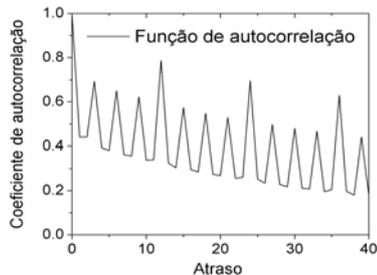


Figura 1. Função de autocorrelação do tráfego Fórmula 1 para tamanho de *frame*

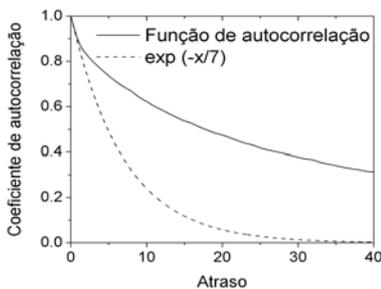


Figura 2. Função de autocorrelação do tráfego Fórmula 1 para tamanho de *frame* B

B. Análise no Nível de Tamanho de GoP

Ao analisarmos o tráfego MPEG-4 sobre redes ATM no nível de tamanho de GoP, observa-se que as correlações entre *frames* são suprimidas. Isto ocorre porque o tamanho de GoP é definido como a soma dos *frames* de um GoP. Como ilustração, temos na Figura 3 a função de autocorrelação do tráfego Fórmula 1 para tamanho de GoP.

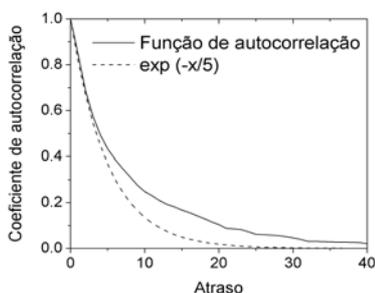


Figura 3. Função de autocorrelação do tráfego Fórmula 1 para tamanho de GoP

Nas Figuras 2 e 3 também foram colocadas funções exponenciais aproximadas com relação aos primeiros atrasos das funções de autocorrelação. Em ambas verifica-se que as funções exponenciais decaem mais rapidamente que as funções de autocorrelação, demonstrando assim a presença de dependência de longo prazo nesses dois tráfegos. Um método conciso de medição da propriedade auto-similar é através do parâmetro de Hurst (H). No presente trabalho, os valores de H foram estimados através do método da variância. A Tabela

1 apresenta os valores dos parâmetros de Hurst para os tráfegos de vídeo analisados neste artigo.

TABELA I
PARÂMETROS DE HURST

	Frame I	Frame P	Frame B	GoP
Parque dos Dinossauros	0,81	0,91	0,95	0,92
Fórmula 1	0,70	0,74	0,80	0,77
Futebol	0,71	0,73	0,79	0,76
Simpsons	0,81	0,88	0,92	0,90

IV. MODELAGEM ATRAVÉS DE PROCESSOS TES

Neste trabalho introduzimos o conceito de modelo TES simplificado. Esse modelo faz duas considerações com o intuito de simplificar o procedimento de modelagem TES. A primeira consideração é a utilização de apenas uma inovação elementar na modelagem da função de autocorrelação. A segunda consideração é fixar $\zeta = 1$, ou seja, desconsiderar a transformação *stitching*. Assim, a distorção D corresponde à transformação F^{-1} , conforme segue:

$$D(x) = F^{-1}(x), \quad x \in [0,1] \quad (15)$$

O procedimento de modelagem TES é então executado em duas fases: na primeira fase, a função densidade de um tráfego é capturada através de J funções passo; na segunda fase, a função de autocorrelação de um tráfego é aproximada utilizando apenas uma inovação elementar.

A. Modelagem da Função Distribuição

A função densidade de probabilidade empírica de um tráfego é modelada através de uma mistura de densidades uniformes, ou seja, funções passo. Para realizar tal modelagem, a função densidade empírica é dividida em J partes iguais ou não, denominadas divisões. Foram incluídas funções passo em cada uma dessas divisões, de maneira que cada função passo seja uma aproximação da função densidade empírica naquele intervalo.

Assim, a função densidade de X_n^+ é dada por:

$$f_X(x) = \sum_{j=1}^J \mathbf{1}_{[l_j, r_j)}(x) \cdot \frac{p_j}{w_j} \quad (16)$$

onde $\mathbf{1}_A(x)$ é a função indicador do conjunto A , J é o número de divisões, $[l_j, r_j)$ é o suporte da j -ésima divisão com largura $w_j = r_j - l_j$, p_j é a probabilidade da j -ésima divisão. Neste trabalho utilizamos J com valores entre 8 e 15.

A correspondente função distribuição é dada por:

$$F_X(x) = \sum_{j=1}^J \mathbf{1}_{[l_j, r_j)}(x) \cdot \left[C_{j-1} + (x - l_j) \cdot \frac{p_j}{w_j} \right] \quad (17)$$

onde $\{C_j\}_{j=0}^J$ é a distribuição cumulativa de $\{p_j\}_{j=1}^J$, onde $C_j = \sum_{z=1}^j p_z$.

B. Modelagem da Função de Autocorrelação

Para um dado atraso τ , o coeficiente de autocorrelação $\rho_X^+(\tau)$ de $\{X_n^+\}$ é obtido por:

$$\rho_X^+(\tau) = \frac{2}{\sigma^2} \sum_{\nu=1}^{\infty} \Re[\tilde{f}_\nu^\tau(i2\pi\nu)] |\tilde{D}(i2\pi\nu)|^2 \quad (18)$$

onde σ^2 é a variância de $\{X_n^+\}$, \sim é a transformada de Laplace, D denota a distorção, f_ν^τ é a *convolution τ -fold* da densidade de probabilidade da seqüência inovação, \Re é o operador parte real e $i = \sqrt{-1}$.

Na modelagem da função de autocorrelação utilizou-se apenas uma seqüência inovação elementar com parametrização (R, L) e função densidade de probabilidade uniforme, conforme equação abaixo:

$$f_\nu(x) = \frac{1}{R-L} \mathbf{1}_{[L,R]}(x) \quad (19)$$

onde $-0,5 < L < R < 0,5$. A parametrização (R, L) é equivalente à parametrização (α, ϕ) , onde $\alpha = R-L$ e $\phi = \frac{R+L}{R-L}$. Para uma seqüência inovação elementar, os

valores de $\Re[\tilde{f}_\nu^\tau(i2\pi\nu)]$ são obtidos por [9]:

$$\Re[\tilde{f}_\nu^\tau(i2\pi\nu)] = \cos(\pi\nu\alpha\phi\tau) \cdot \left(\frac{\sin(\pi\nu\alpha)}{\pi\nu\alpha} \right)^\tau \quad (20)$$

Os valores de $|\tilde{D}(i2\pi\nu)|^2$ são definidos por [9]:

$$|\tilde{D}(i2\pi\nu)|^2 = a_\nu^2 + b_\nu^2 \quad (21)$$

onde os valores de a_ν e b_ν são dados por [9]:

$$a_\nu = \sum_{j=1}^J \left[\left(\frac{r_j \sin(2\pi\nu C_j) - l_j \sin(2\pi\nu C_{j-1})}{2\pi\nu} \right) + \left(\frac{\cos(2\pi\nu C_j) - \cos(2\pi\nu C_{j-1})}{(2\pi\nu)^2} \times \frac{w_j}{p_j} \right) \right] \quad (22)$$

$$b_\nu = \sum_{j=1}^J \left[\left(\frac{r_j \cos(2\pi\nu C_j) - l_j \cos(2\pi\nu C_{j-1})}{2\pi\nu} \right) - \left(\frac{\sin(2\pi\nu C_j) - \sin(2\pi\nu C_{j-1})}{(2\pi\nu)^2} \times \frac{w_j}{p_j} \right) \right] \quad (23)$$

Os coeficientes de autocorrelação de um processo TES⁺ são calculados substituindo as equações (20) e (21) na equação (18). Note que os valores de α e ϕ definem a função de autocorrelação do modelo TES.

Com o objetivo de encontrar os valores de α e ϕ de cada modelo TES foram realizadas buscas da seguinte forma: um algoritmo calculava os dez primeiros coeficientes de autocorrelação para diferentes valores de α e ϕ . Ao final, o par (α, ϕ) que mais aproximasse a função de autocorrelação do modelo TES com a função de autocorrelação empírica era selecionado.

V. ABORDAGEM PROPOSTA DE ALOCAÇÃO DE BANDA EFETIVA

Banda efetiva é um descritor de tráfego, que caracteriza a mínima banda a ser alocada para uma fonte de tráfego de forma a satisfazer certos critérios de qualidade de serviço. Neste trabalho o critério adotado foi o de probabilidade de perda de células. Existem diversas abordagens de alocação de banda efetiva que são baseadas nesse critério [10] [11] [12]. Entre elas, destaca-se a abordagem proposta por Kesidis et.

al. em [10]. Essa abordagem original, que chamaremos de abordagem de Kesidis, utiliza fluido markoviano on/off como modelo de fonte de tráfego [10]. Porém, quando o tráfego é auto-similar essa abordagem não provê uma boa aproximação, acarretando em perdas excessivas de células [11]. Com o intuito de resolver este problema, diversos autores sugeriram abordagens levando em consideração a característica auto-similar do tráfego [11] [12]. Entre eles, Perlingeiro et. al. sugeriu em [11] uma nova abordagem para o cálculo da banda efetiva, mas manteve o fluido markoviano on/off como metodologia de modelagem.

Embora J. Yang e I. Lambadaris tenham derivado a função banda efetiva para processos TES em [3], eles não utilizaram essa equação em modelos TES de tráfegos de vídeo reais. Neste artigo propomos exatamente encontrar a banda efetiva de tráfegos MPEG-4 reais sobre redes ATM modelados por processos TES a partir da equação (9). Essa equação é função de dois parâmetros livres representando as escalas do tempo e do espaço. O parâmetro tempo k é facilmente obtido, sendo igual ao número máximo de unidades de tempo de um tráfego. Já o parâmetro s pode ser encontrado de diversas maneiras, dependendo da abordagem escolhida. Neste artigo empregaremos o método proposto por Perlingeiro et. al. em [11] para cálculo do parâmetro espaço levando em consideração as características auto-similares do tráfego. Esta equação é a seguinte:

$$s = -\frac{\ln(CLR)}{b^{2(1-H)}} \quad (24)$$

onde CLR é uma pequena probabilidade de perda de células, b é o tamanho do buffer, s é parâmetro espaço e H é o parâmetro de auto-similaridade.

Propomos então uma abordagem de alocação de banda efetiva utilizando processos TES como metodologia de modelagem, onde o cálculo da banda efetiva é realizado através da equação (9), porém no cálculo do parâmetro espaço as propriedades auto-similares dos tráfegos são consideradas utilizando a equação (24).

VI. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a finalidade de validar o método proposto, os valores reais de banda efetiva foram obtidos através de simulações, onde foi adotado um único critério de probabilidade de perda de células igual a 10^{-4} . O simulador utilizado é o *SmartBand*, desenvolvido no Laboratório de Reconhecimento de Padrões e Redes de Comunicações (LRPRC) da Unicamp [13]. Os valores obtidos pela simulação foram comparados com os obtidos pelo método proposto, pela abordagem de Perlingeiro [11] e pela abordagem de Kesidis [10].

Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 foram apresentados os resultados experimentais do tráfego Fórmula 1 para os tamanhos de *frame* I, P, B e tamanho de GoP, respectivamente. Observa-se nessas figuras que o método proposto foi capaz de estimar de maneira eficaz a banda obtida através da simulação, preservando a qualidade de serviço no que diz respeito à probabilidade de perda de células. Já a abordagem de Kesidis consegue capturar a banda efetiva para diversos tamanhos de buffer, mas em alguns casos ela subestima o valor da banda obtida através da simulação, acarretando em uma

probabilidade de perda de células maior que 10^{-4} . Finalmente temos a abordagem de Perlingeiro, que consegue manter uma probabilidade de perda de células menor que 10^{-4} , porém superestimando o valor da banda.

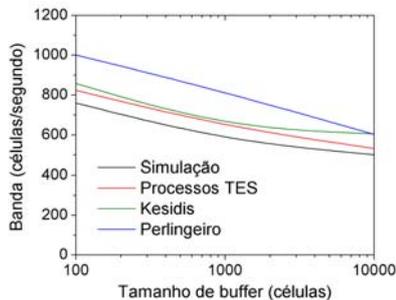


Figura 4. Banda efetiva para o tráfego Fórmula 1 para tamanho de *frame* I

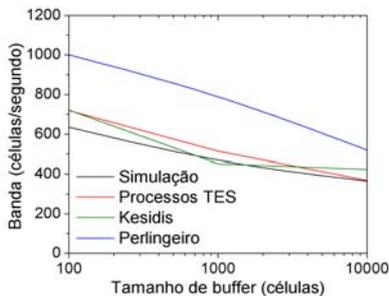


Figura 5. Banda efetiva para o tráfego Fórmula 1 para tamanho de *frame* P

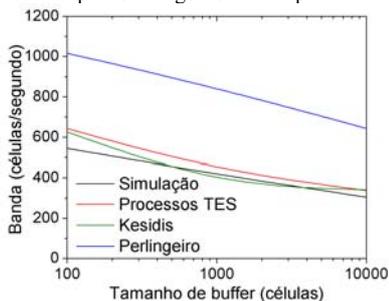


Figura 6. Banda efetiva para o tráfego Fórmula 1 para tamanho de *frame* B

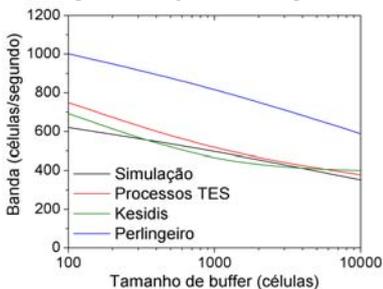


Figura 7. Banda efetiva para o tráfego Fórmula 1 para tamanho de GoP

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 foram apresentados os resultados experimentais do tráfego Futebol para os tamanhos de *frame* I, P, B e tamanho de GoP, respectivamente. Foi possível observar que os resultados foram similares àqueles apresentados para o tráfego Fórmula 1. Ou seja, o método proposto foi capaz de estimar de maneira eficaz a banda obtida através da simulação.

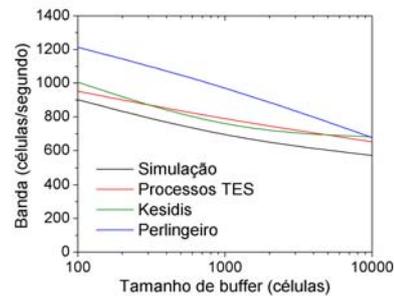


Figura 8. Banda efetiva para o tráfego Futebol para tamanho de *frame* I

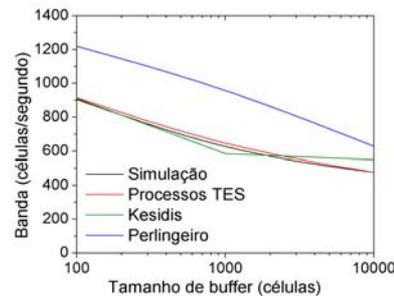


Figura 9. Banda efetiva para o tráfego Futebol para tamanho de *frame* P

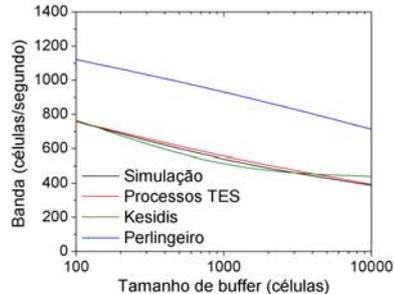


Figura 10. Banda efetiva para o tráfego Futebol para tamanho de *frame* B

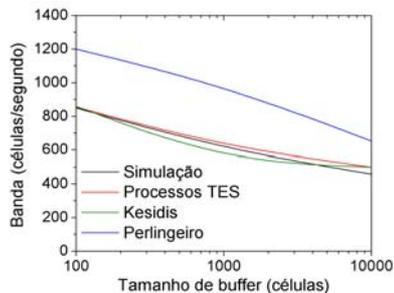


Figura 11. Banda efetiva para o tráfego Futebol para tamanho de GoP

Realizamos um outro tipo de simulação em que os valores da banda efetiva obtidos pelo método proposto foram alocados de maneira dinâmica para cada tipo de *frame* no tempo. Nas Figuras 12, 13, 14 e 15 temos os resultados experimentais para estas simulações, onde o critério de probabilidade de perda de células é mantido num patamar abaixo do limiar de 10^{-4} .

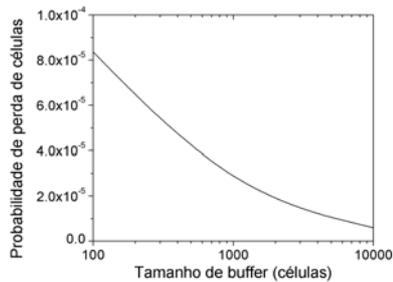


Figura 12. Probabilidade de perda de células para o tráfego Fórmula 1

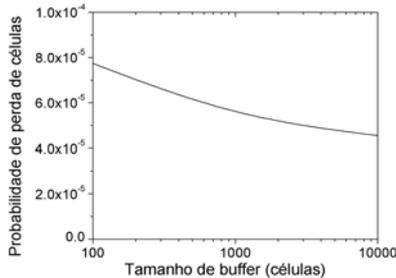


Figura 13. Probabilidade de perda de células para o tráfego Futebol

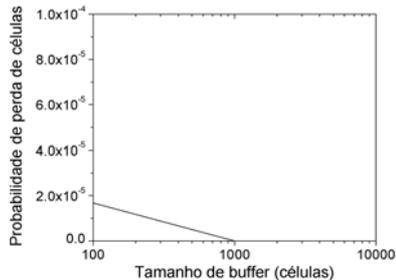


Figura 14. Probabilidade de perda de células para o tráfego Parque dos Dinossauros

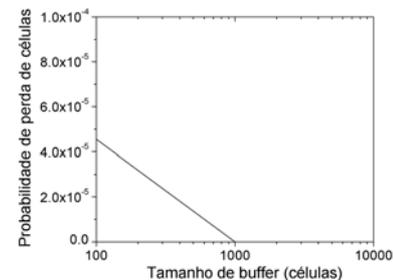


Figura 15. Probabilidade de perda de células para o tráfego Simpsons

VII. CONCLUSÕES

Neste artigo utilizamos processos TES como metodologia de modelagem para o tráfego de vídeo MPEG-4 sobre redes ATM. Então, propomos uma abordagem de alocação de banda efetiva levando em consideração as características auto-similares desses tráfegos.

Com a finalidade de validar o método proposto, os valores reais de banda efetiva foram obtidos através de simulações. Observou-se através de experimentos que o método proposto oferece melhor aproximação de banda efetiva que a abordagem de Kesidis e a abordagem de Perlingeiro, sendo capaz de estimar de maneira eficaz a banda obtida através da simulação no que diz respeito à probabilidade de perda de células.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e Ericsson, pelo apoio financeiro. Ao Grupo de Redes de Telecomunicações da Universidade Técnica de Berlin, pela disponibilização das seqüências de vídeo MPEG-4. Ao Laboratório de Redes de Comunicações da Universidade Estadual de Campinas, pela disponibilização do programa de adaptação de seqüências MPEG-4 para células ATM.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Koenen, "MPEG-4: Multimedia for Our Time", *IEEE Spectrum*, v. 36, no. 2, Fevereiro de 1999.
- [2] B. Melamed, "An Overview of TES Processes and Modeling Methodology", *Performance Evaluation of Computer and Communications Systems*, Springer-Verlang, pp. 359-393, 1993.
- [3] J. Yang e I. Lambadaris, "Effective Bandwidths for TES Processes", *ITC17*, Salvador, Brasil, 2001.
- [4] F. Kelly, "Notes on Effective Bandwidths", Universidade de Cambridge, 1995.
- [5] <http://www-tnk.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html>, último acesso em 07 de Abril de 2003.
- [6] ATM Forum, "Audiovisual Multimedia Services: Video and Demand Specification 1.1", Março de 1997.
- [7] <http://www.mc21.fee.unicamp.br/alberti/programas.htm>, último acesso em 10 de Abril de 2003.
- [8] A. Matrawy, I. Lambadaris e C. Huang, "MPEG4 Traffic Modeling Using The Transform Expand Sample Methodology", *Proceedings of 4th IEEE International Workshop on Network Appliances*, Gaithersburg, Maryland, Janeiro de 2002.
- [9] D. Jagerman e B. Melamed, "The Transition and Autocorrelation Structure of TES Processes Part II: Special Cases", *Stochastic Models*, v. 8, no. 3, pp. 499-527, 1992.
- [10] G. Kesidis, J. Walrand e C. Chang, "Effective Bandwidth for Multiclass Markov Fluids and Other ATM Sources", *IEEE Transactions on Networking*, v. 1, Agosto 1993.
- [11] F. R. Perlingeiro e L. L. Ling, "An Effective Bandwidth Allocation Approach for Self-Similar Traffic in a Single ATM Connection", *Globecom 1999*.
- [12] X. Yu, L. Thng e Y. Jiang, "Measurement-Based Effective Bandwidth Estimation for Long-Range-Dependent Traffic", *IEEE TENCON'2001*.
- [13] Convênio Unicamp/Ericsson "Uma Ferramenta Computacional para Caracterização de Tráfego e Estimação de Banda Efetiva", 2003.