Um Novo Modelo Determinístico para Tráfegos de Vídeo MPEG Baseado em Grupo de Quadros*

Marcelo Dias de Amorim
amorim@gta.ufrj.br

Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte
otto@gta.ufrj.br

Grupo de Teleinformática e Automação – GTA
COPPE/PEE - Programa de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Caixa Postal 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Resumo

As redes de comunicação de dados envolvendo transmissão de mídias contínuas exigem garantias para alguns parâmetros de qualidade de serviço. As aplicações mais exigentes requerem garantias que não podem ser baseadas em cálculos probabilísticos. As propostas de modelos determinísticos para obtenção de parâmetros de tráfegos VBR não tiram proveito de certas características de uma importante classe de tráfego, o vídeo comprimido no padrão MPEG. Este artigo propõe e analisa um novo modelo determinístico, denominado GOP-B (**G**roup-**O**f-**P**ictures **B**ased deterministic model), adaptado para caracterização de vídeo MPEG. Este modelo tem as vantagens de ser simples na extração dos parâmetros de tráfego e de obter os resultados desejados com um número reduzido de parâmetros, essencial para que o mecanismo de policiamento de tráfego demande pouco processamento.

1 Introdução

Com a evolução das redes de comunicação de dados e o advento da multimídia, as aplicações têm sido cada vez mais exigentes com relação à qualidade de serviço a ser oferecida pela rede. Vazão, atraso máximo, variação no atraso (*jitter*) e taxa de perda de pacotes são os principais parâmetros de QoS (*Quality of Service*) a serem garantidos pelo sistema de comunicação.

Os serviços garantidos podem ser oferecidos sob duas abordagens. Na primeira, garantias probabilísticas de desempenho são fornecidas a uma conexão. A segunda abordagem ampara-se em cálculos determinísticos, em que todos os pacotes de uma conexão recebem a garantia de alcançarem o destino com os parâmetros de QoS negociados respeitados. Enquanto os serviços determinísticos atendem com total garantia os parâmetros negociados, os serviços estatísticos resultam em melhor aproveitamento da banda-passante da rede [1, 2, 3].

Para que serviços garantidos sejam providos, é fundamental que recursos sejam alocados ao longo do caminho de transferência das informações. Esta garantia é provida principalmente pelos mecanismos de controle de admissão de conexões [3] e de policiamento de tráfego [4]. As eficiências destes mecanismos dependem de várias premissas, dentre elas a correta modelagem do tráfego a ser submetido à rede.

A modelagem de tráfego é responsável pela obtenção de parâmetros que definem o comportamento do tráfego, sendo chamada determinística quando for capaz de representar todas as características do tráfego em qualquer instante de tempo.

A forma como o tráfego é modelado tem reflexos sobre a eficiência de alocação e manutenção dos recursos da rede, pois os mecanismos de controle de admissão de conexões, policiamento de tráfego e escalonamento de pacotes [5] se baseiam nos parâmetros do modelo de tráfego para realização de suas tarefas [3, 5, 4].

Existe na literatura várias propostas de modelos determinísticos para caracterização de tráfegos VBR (*Variable Bit Rate*) [6, 7, 8, 9]. Estes modelos se baseiam em limites superiores na taxa de geração de bits pela fonte em diferentes intervalos de tempo.

Este trabalho apresenta um novo modelo destinado a representação de vídeo comprimido no padrão MPEG, que será um dos tipos de tráfego com maior incidência nas redes de comunicação multimídias. O modelo proposto se serve de um algoritmo bastante simples para a obtenção dos parâmetros de tráfego e, por utilizar poucos parâmetros, requer um mecanismo de policiamento com baixa carga de processamento.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta conceitos de modelagem determinística e os principais modelos descritos na literatura. A seção 3 define o modelo proposto neste trabalho. Os testes realizados estão descritos na seção 4. Por fim, são apresentadas as conclusões na seção 5.

2 Modelagem Determinística de Tráfegos

A caracterização de uma fonte define o comportamento do tráfego por ela gerado, bem como alguns requisitos de QoS. Um tráfego é caracterizado quando para ele é definido um conjunto de parâmetros nos quais a rede se baseia

*Este trabalho foi realizado com recursos da UFRJ, FUJB, PROTEM-CC, CNPq, FAPERJ, CAPES e COFECUB.

para controle do tráfego e utilização eficiente dos recursos alocados.

A modelagem determinística de tráfegos é feita com base na definição da função $FRT(t)$, chamada **função de restrição de tráfego**. A função $FRT(t)$ exprime que em qualquer intervalo de duração δt ao longo do eixo de tempo não são gerados pela fonte mais que $FRT(\delta t)$ bits. De outro ponto de vista, considerando $\mathcal{G}[t, t+\delta t]$ o número real de bits gerados no intervalo $[t, t+\delta t]$, a equação

$$\mathcal{G}[t, t+\delta t] \leq FRT(\delta t) \quad (1)$$

deve ser satisfeita.

Modelar deterministicamente um tráfego significa escolher uma função $FRT(t)$ para representá-lo. A função de restrição de tráfego mais precisa é a função exata $Ex(t)$ que expressa valores de taxa de geração de bits pela fonte para quaisquer valores de intervalo de tempo. Porém, a quantidade de informação necessária para compô-la torna sua utilização prática inviável. O objetivo é, então, desenvolver modelos que ponderem as características de simplicidade e acurácia.

Os principais modelos determinísticos propostos na literatura são apresentados a seguir.

2.1 Fluido

O modelo *Fluido* [6] define uma dupla (σ, ρ) em que durante um intervalo de tempo de duração t não são transmitidos pela fonte mais que $\sigma + \rho t$ bits, onde σ é chamado fator de rajada e ρ fator de vazão. A função de restrição de tráfego correspondente é dada por

$$FRT_{(\sigma,\rho)}(t) = \sigma + \rho t. \quad (2)$$

Este modelo é uma extensão muito simples do modelo de alocação pelo pico, a menos do fator σ. Este fator fica responsável pela modelagem de "instantes de rajada", permitindo que ρ seja inferior ao fator α do modelo de alocação pelo pico, cuja função de restrição de tráfego correspondente é dada por $FRT_{pico}(t) = \alpha t$.

2.2 Fluido em Duas Dimensões

Este modelo, proposto em [7, 10], é uma extensão ao modelo (σ, ρ). Contudo, no lugar de se definir uma dupla, são definidos dois vetores $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ em que em um intervalo de duração t não são gerados mais que $min_i\{\sigma_i + \rho_i t\}$ bits. Desta forma, a curva resultante assume um formato côncavo, o que leva a modelagens bastante precisas, pois o modelo é capaz de distinguir "níveis de rajada" inerentes ao tráfego. A função de restrição de tráfego correspondente é dada pela equação

$$FRT_{(\vec{\sigma},\vec{\rho})}(t) = min_i\{\sigma_i + \rho_i t\}. \quad (3)$$

2.3 Discreto

O modelo *Discreto* [8] utiliza quatro parâmetros para a caracterização do tráfego $(X_{min}, X_{ave}, I, S_{max})$, sendo X_{min} o intervalo mínimo entre as chegadas de dois pacotes consecutivos, X_{ave} o máximo intervalo médio entre as chegadas de pacotes em um intervalo de duração I e S_{max} o tamanho máximo de um pacote. A função de restrição de tráfego é expressa por

$$\begin{aligned} FRT_{discreto}(t) = \lfloor \frac{t}{I} \rfloor \frac{I.S_{max}}{X_{ave}} + \\ min\{\lceil (\frac{t}{I} - \lfloor \frac{t}{I} \rfloor) \frac{I}{X_{min}} \rceil, \frac{I}{X_{ave}}\} S_{max}. \end{aligned} \quad (4)$$

Os parâmetros do modelo *Discreto* permitem a extração de alguns indicadores importantes, como:

- a taxa de pico: $\frac{S_{max}}{X_{min} I}$;
- a razão $\frac{taxa_{max}}{taxa_{media}}$: $\frac{X_{ave}}{X_{min}}$;
- o máximo comprimento de rajada: $\frac{X_{min} I}{X_{ave}}$.

2.4 D-BIND

O modelo *D-BIND* [9, 11] caracteriza uma fonte por uma curva $R(I)$ que representa a taxa limite da transmissão em qualquer intervalo de tempo de duração I. A função $R(I)$ é linear por partes a partir de N pares da forma $(R_k, I_k)|_{k=1,2,\ldots,N}$. Essa característica leva a modelagem a níveis bastante acurados, com a seguinte função de restrição de tráfego

$$FRT_{D-BIND}(t) = \frac{R_k I_k - R_{k-1} I_{k-1}}{I_k - I_{k-1}}(t - I_k) + R_k I_k, \qquad I_{k-1} \leq t \leq I_k. \quad (5)$$

O modelo fluido em duas dimensões difere do modelo *D-BIND* em relação à curva de restrição de tráfego pelo fato deste último resultar em uma função linear por partes não necessariamente côncava, o que possibilita uma modelagem mais acurada do tráfego alvo.

3 O Modelo GOP-B

Os modelos apresentados na seção anterior foram propostos para serem utilizados na modelagem de tráfegos VBR em geral. Na caracterização de fontes de vídeo comprimido, mais especificamente MPEG, essa generalização deixa de aproveitar algumas características peculiares deste padrão [12, 13]. Outro inconveniente dos principais modelos propostos na literatura consiste no fato destes exigirem a função exata $Ex(t)$ como requisito para determinar os parâmetros do tráfego, introduzindo um processamento extra significativo [14].

No caso específico dos modelos $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND*, a acurácia das funções de restrição de tráfego são diretamente proporcionais ao número de pares (σ_n, ρ_n) e (R_n, I_n) utilizados. Desta forma, o policiamento do tráfego se torna mais complexo à medida que o modelo se torna mais acurado, pois o número de variáveis a serem manipuladas também aumenta na mesma proporção. O objetivo principal é conciliar simplicidade do modelo (com o menor número de parâmetros possível) e acurácia.

O modelo proposto neste trabalho procura unir estas duas características na modelagem de tráfegos de vídeo comprimido no padrão MPEG. Esta especificidade é justificada pelo fato de se esperar que vídeo MPEG represente uma parcela significativa dos tráfegos a circularem pela redes.

Um codificador MPEG gera três tipos de quadros: quadros I, que utilizam compressão intra-quadros, e quadros P e B, que utilizam compressão inter-quadros [15]. A diferença entre os quadros P e B consiste no fato do quadro P (*predicted frame*) ser codificado com base em um quadro passado, enquanto o quadro do tipo B (*bidirectional frame*) ser codificado com base tanto em um quadro passado quanto em um quadro de referência futuro. A característica em rajada de um vídeo MPEG vem da diferença entre os tamanhos dos quadros, causada pela alternância entre intra-quadros (maiores) e inter-quadros (menores), como ilustra a figura 1.

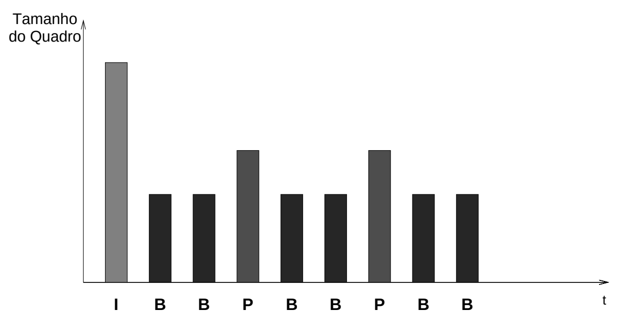

Figura 1: Traço de um vídeo no padrão MPEG.

Um vídeo MPEG é cíclico no que diz respeito à seqüência de formatos de quadros usada. Cada ciclo é caracterizado por um GOP (*Group of Pictures*) contendo um quadro I (inicial) e alguns quadros P e B, como por exemplo a seqüência IBBPBBPBB.

Uma grande parte dos vídeos MPEG tem os quadros do tipo I bem maiores que os quadros P e B. Em termos de geração de bits, isso corresponde a surtos de informações no início de cada GOP. A função exata $Ex(t)$ básica de um vídeo MPEG está ilustrada na figura 2.

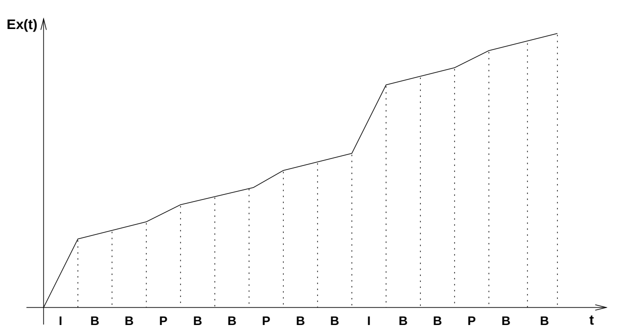

Figura 2: Função exata para vídeo MPEG.

Em um nível de abstração mais elevado, um vídeo MPEG é, então, gerado basicamente em uma taxa de bits baixa (com pequenas variações) mais os surtos devidos aos quadros I em instantes definidos de tempo.

O modelo *GOP-B* proposto neste artigo se baseia justamente neste princípio. Ele utiliza um par (η, ν) mais a taxa em quadros por segundo do vídeo ($\frac{1}{T}$) e a distância D entre quadros I (tamanho do GOP). O fator η representa os impulsos (ou surtos) causados pela geração de intra-quadros, devendo ser adicionado à função de restrição de tráfego em intervalos múltiplos do tamanho do GOP. O fator ν modela o crescimento da curva devido aos quadros P e B, crescimento este na grande parte das vezes em taxa bastante inferior àquela observada na geração de quadros I.

A função de restrição de tráfego do modelo *GOP-B* é dada pela equação

$$FRT_{GOP-B}(t) = \lceil \frac{t+T}{T.D} \rceil \eta + \nu t, \qquad (6)$$

onde T é o inverso da taxa de amostragem do vídeo e D representa o tamanho do GOP.

Graficamente, o resultado obtido é o ilustrado na figura 3. A curva mostra que e função de restrição de tráfego do modelo *GOP-B* acompanha a forma de crescimento da curva exata $Ex(t)$.

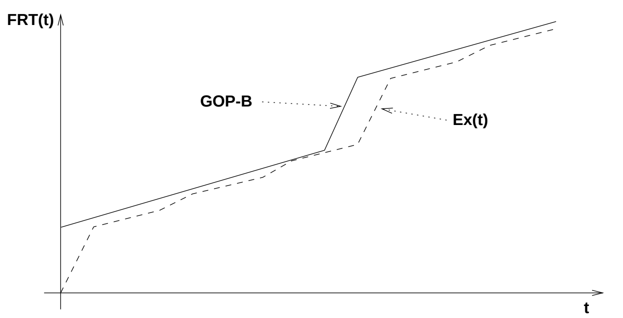

Figura 3: Função de Restrição de Tráfego para o modelo GOP-B.

4 Análise dos Resultados

Esta seção apresenta os resultados da aplicação do modelo proposto em diversas amostras de vídeo MPEG [13]. Foram utilizados 21 traços de vídeos com as seguintes características em comum:

- GOP: IBBPBBPBBPBB (tamanho = D = 12);
- Codificação: 384x288 pels, 12 bits para informação de cor;
- Número de quadros: 40.000 (aprox. 30 min);
- Taxa de amostragem: 22 quadros por segundo (T=45ms).

Os vídeos foram obtidos das mais diferentes fontes de forma a se trabalhar com amostras contendo as mais diversas características. A figura 4 ilustra dois exemplos de traços de vídeo MPEG: uma partida de tênis e um segmento de desenho animado.

A acurácia do modelo será obtida através do conceito de **Perda por Aproximação do Modelo** (PAM) [14],

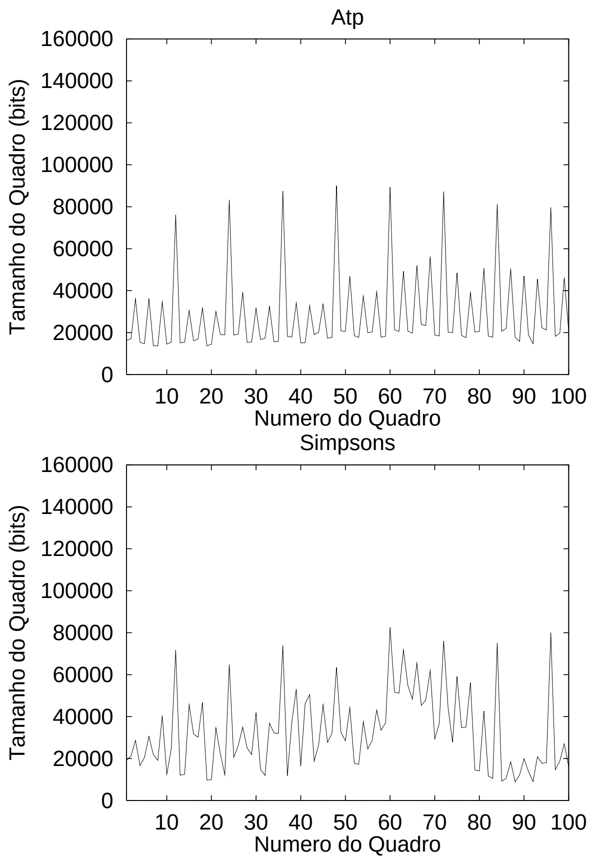

Figura 4: Exemplos de traços de vídeo MPEG.

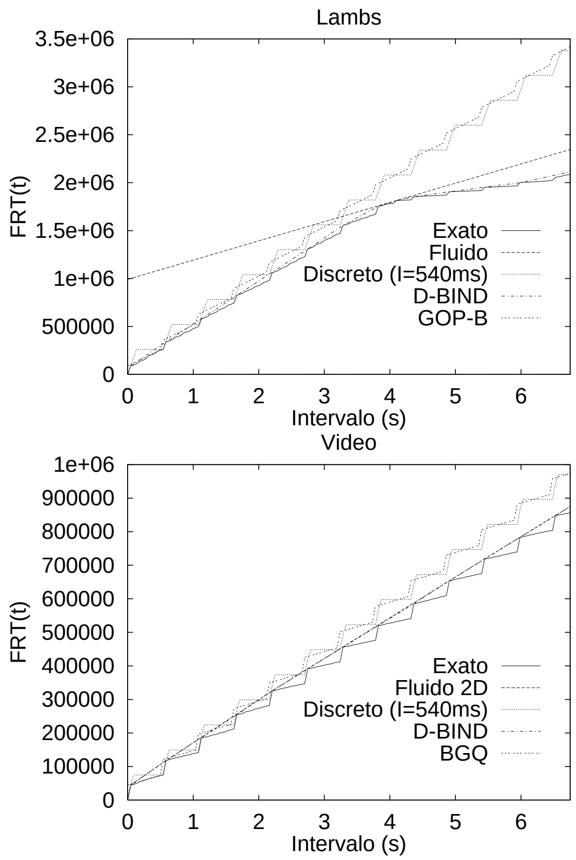

Figura 5: Exemplos de modelagem de dois traços de vídeo.

índice que quantifica a porcentagem de perda de precisão do modelo em comparação à função exata $Ex(t)$.

São apresentados na figura 5 as funções de restrição de tráfego dos modelos em dois vídeos diferentes. É interessante observar que o segundo vídeo apresenta um "ponto de quebra" acentuado na taxa de crescimento da função exata obtida.

Os modelos $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND* apresentam menores valores de PAM. Porém os cálculos necessários para obtenção dos parâmetros demandam muito processamento, além do seu uso requerer um grande número de parâmetros de tráfego, o que torna o policiamento deste mais complexo. Os modelos (σ, ρ) e *Discreto* demandam por mecanismos mais simples para monitoração do tráfego. No que se refere à acurácia, o modelo (σ, ρ) não alcança bons resultados para pequenos intervalos de tempo e o modelo *Discreto* deixa de capturar características importantes do vídeo MPEG, levando a uma modelagem com pouca precisão.

É importante ressaltar que os modelos (σ, ρ), $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND* exigem o cálculo da função exata $Ex(t)$ para a obtenção da função de restrição de tráfego. A determinação de $Ex(t)$ envolve bastante processamento ao percorrer todo o traço do vídeo realizando somatórios para os mais diferentes tamanhos de intervalo de tempo.

O modelo proposto neste trabalho procura conciliar acurácia com simplicidade. Para isso, se aproveita das características do tráfego MPEG e realiza a extração dos parâmetros em intervalos múltiplos do tamanho do GOP, o que resulta em um tempo de processamento bem menor que o exigido pelos modelos (σ, ρ), $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND*.

O gráfico da figura 6 mostra, para as 21 amostras de vídeo utilizadas, os resultados de PAM obtidos para os modelos *Discreto* com intervalo I=540ms e *GOP-B*.

O gráfico mostra que o modelo *GOP-B* é mais acurado na grande maioria das amostras analisadas. Os poucos traços para os quais o modelo *Discreto* mostrou melhores resultados são aqueles que não apresentam uma das principais características do vídeo MPEG: o fato dos intra-quadros serem regularmente maiores que os inter-quadros. Entretanto, para todos os trácos que apresentam a característica da diferença de tamanhos entre os intra e inter-quadros, o modelo *GOP-B* resultou em maior acurácia, alcançando valores de PAM de até 25%.

5 Conclusão

Este artigo propôs e analisou um novo modelo determinístico para caracterização de vídeo MPEG.

O modelo proposto se baseia no princípio do vídeo MPEG ter uma estrutura cíclica em torno do grupo de quadros (GOP) e no fato de no início de cada GOP existir um quadro do tipo I, geralmente muito maior que os demais (P e B). A presença deste quadro resulta em pequenas rajadas em instantes definidos de tempo. A função de restrição de tráfego do modelo *GOP-B* é subdividida então em duas parcelas. Uma responsável pelo crescimento monotônico da curva e outra responsável pela caracterização das rajadas

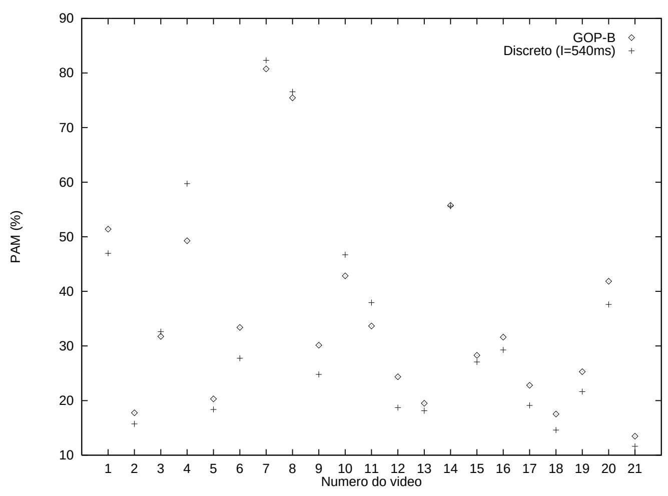

Figura 6: Perda por Aproximação do modelo GOP-B.

no início de cada GOP.

Os resultados obtidos mostram que os modelos (σ, ρ), $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND* alcançam melhores índices de acurácia. Contudo, na fase de extração dos parâmetros do tráfego, exigem o cálculo da função exata $Ex(t)$, demandando grande processamento. Os modelos $(\vec{\sigma}, \vec{\rho})$ e *D-BIND*, para obterem boa acurácia, caracterizam os tráfegos com um grande número de parâmetros, tornando o algoritmo de policiamento de tráfego muito complexo.

O modelo *Discreto*, por não capturar características importantes do vídeo MPEG, assim como os demais modelos, resulta em valores de PAM maiores. Os índices de PAM para o modelo *GOP-B* chegam a valores 25% inferiores ao modelo *Discreto*. O modelo *GOP-B* ainda tem as vantagens de demandar pouco processamento na extração dos parâmetros de tráfego, realizando os cálculos diretamente a nível de GOP, e de requerer mecanismos de policiamento mais simples, por modelar o tráfego com poucos parâmetros.

Os mais recentes estudos do Grupo de Teleinformática e Automação (GTA) da COPPE/UFRJ mostram que grande parte das amostras de vídeo MPEG apresentam um "ponto de quebra", muitas vezes bastante significativos, na taxa de crescimento da curva de restrição de tráfego. Uma extensão ao modelo *GOP-B* já está sendo desenvolvida no intuito de alcançar maior acurácia incorporando ao modelo um parâmetro extra que identifique este "ponto de quebra".

Referências

[1] H. Zhang e D. Ferrari, "Improving utilization for deterministic service in multimedia communication", *1994 International Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp. 295–304, maio 1994.

[2] E. W. Knightly, "H-BIND: A new approach to providing statistical performance guarantees to VBR traffic", in *IEEE INFOCOM'96*, San Francisco, CA, março 1996.

[3] M. F. Abdalla, "Análise de mecanismos de controle de admissão de conexão para redes ATM", Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, PEE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, setembro 1996.

[4] M. Faerman, "Monitoração e policiamento de tráfego em sistemas de comunicação multimídia", Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, PEE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, agosto 1995.

[5] J. Liebeherr, D. E. Wrege e D. Ferrari, "Exact admission control for networks with a bounded delay service", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp. 885–901, dezembro 1996.

[6] R. L. Cruz, "A calculus for network delay, part I: Network elements in isolation", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 114–121, janeiro 1991.

[7] E. W. Knightly, D. E. Wrege, J. Liebeherrand e H. Zhang, "Fundamental limits and tradeoffs of providing deterministic guarantees to VBR video traffic", in *ACM Sigmetrics*, Ottawa, Canada, maio 1995.

[8] D. Ferrari e D. Verma, "A scheme for real-time channel stablishment in wide-area networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 368–379, abril 1990.

[9] E. W. Knightly e H. Zhang, "Traffic characterization and switch utilization using a deterministic bounding interval dependent traffic model", in *IEEE INFOCOM'95*, Boston, MA, abril 1995.

[10] D. E. Wrege, E. W. Knightly, H. Zhang e J. Liebeherr, "Deterministic delay bounds for VBR video in packet-switching networks: Fundamental limits and practical tradeoffs", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp. 352–362, junho 1996.

[11] E. W. Knightly e H. Zhang, "D-BIND: An acurate traffic model for providing QoS guarantees to VBR traffic". IEEE/ACM Transactions on Networking, a ser publicado.

[12] P. Pancha e M. E. Zarki, "A look at the MPEG video coding standard for variable bit rate video transmission", *IEEE INFOCOM'92*, maio 1992.

[13] O. Rose, "Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modelling in ATM systems", *Institute of Computer Science, Univ. of Wurzburg, Germany, Tech. Rep. 101*, fevereiro 1995.

[14] M. D. de Amorim e O. C. M. B. Duarte, "Eficiência de modelos determinísticos de tráfego na representação de fontes de vídeo MPEG", *Submetido ao XXIV Seminário Integrado de Software e Hardware*, março 1997.

[15] D. L. Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications", *Communications of the ACM*, pp. 305–313, abril 1991.