

Estimação de Probabilidade de Perda para Tráfego Multifractal com Incrementos de Pareto e sua Aplicação em Controle de Admissão

Jeferson Wilian de Godoy Stênico e Lee Luan Ling

Resumo — Neste trabalho, nós propomos uma nova expressão analítica para a estimação de probabilidade de perda de bytes em um simples servidor de fila com chegadas de tráfego multifractal. A expressão obtida em comparação com [4][9][13] apresenta maior robustez, estabilidade e precisão. Nós também estendemos nossa investigação em uma potencial aplicação do método de avaliação em um mecanismo de controle de admissão. Extensivos testes foram realizados para validar a eficiência e a precisão da abordagem proposta na estimação de probabilidade de perda e seu desempenho mostrou-se superior ou comparável na aplicação de controle de admissão de redes em relação a algumas abordagens bem conhecidas na literatura [15][17][18].

Palavras-Chave—Modelo Multifractal de Tráfego, Probabilidade de Perda, Controle de Admissão.

Abstract — In this paper, we propose an new analytical expression for estimating byte loss probability at a single server queue with multifractal traffic arrivals. The expression obtained in comparison with [4][9][13] presents more robustness, stability and accuracy. We extend our investigation on the application potentiality of the estimation method and possible its quality in connection admission control mechanisms. Extensive tests were conducted to validate the efficiency and accuracy of the proposed loss probability estimation approach and its superior or comparable performance for admission control applications in network connection with respect to some well-known approaches suggested in the literature [15][17][18].

Index Terms— Multifractal Traffic Modeling, Loss Probability, Admission Control.

I. INTRODUÇÃO

As pesquisas sobre tráfego de redes envolvendo a teoria dos fractais se intensificaram a partir da publicação do trabalho de Leland et al [8], no qual constataram experimentalmente que o tráfego coletado na rede Ethernet do Bellcore Morristown Reaserch and Engineering Center exibia propriedades fractais tais como auto-similaridade e dependência de longa duração.

Após ter sido evidenciada por Leland et al., estudos posteriores constataram a presença de propriedades fractais também no tráfego gerado por transmissão de vídeo a taxa variável [2][6], tráfego em redes Wide Area Networks [12], tráfego World-Wide Web [3], dentre outros. Foi constatado que tais propriedades, com destaque para a dependência de longa duração, influenciam fortemente no desempenho das redes [14], não sendo adequadamente modeladas por processos estocásticos Markovianos. Inúmeros estudos abordaram a medida e a modelagem da característica de dependência de longo prazo existente nos dados. Constatou-se que a dependência de longo prazo é uma importante característica do tráfego, possuindo relevantes implicações em diversas áreas tais como teoria de filas e projeto de redes. A distribuição de cauda pesada (*heavy tail*) da duração ou tamanho das sessões

ou conexões que originam o tráfego agregado é apontada como causa da característica auto-similar observada [3] [11].

Mesmo tendo em conta a influência das características de longa dependência, o comportamento esperado da fila em um *buffer* ainda não pode ser adequadamente modelado sem considera a natureza multifractal do tráfego [13].

Modelagem de tráfego baseado em multifractal é mais geral que as modelagens baseada em monofractal, fornecendo uma descrição mais precisa e detalhada da série de tráfego de rede em diferentes escalas de tempo [16].

A probabilidade de perda e o atraso de pacotes são as medidas chaves de desempenho relacionados à qualidade de serviços (QoS) em redes de computadores, com TCP/IP e ATM. Diversos estudos tem sido realizados para caracterizar o tamanho médio da fila e da distribuição de número de pacotes no *buffer* [4][9][13][15].

Em [4], alguns limites inferiores da probabilidade de perda para os processos auto-similares foram obtidos. Em [13] uma análise não assintótica multi-escala em alguns modelos de filas como bases em conceitos de cascata multifractal foram realizadas. Interessante o suficiente, a análise é válida para qualquer tamanho de *buffer*, ou seja, a abordagem, chamada multi-escala, incorpora a distribuição do tráfego.

Em [9], os autores descrevem um modelo estatístico de tráfego multi-escala, obtendo uma equação para o cálculo de probabilidade de perda, enquanto o processo de entrada de tráfego tem distribuição lognormal e que apenas os dois primeiros momentos são suficientes para caracterizar o processo de tráfego. Porém a equação analítica derivada para a estimação de probabilidade de perda é relativamente complexa.

Além disso, em [15] os autores utilizaram uma aproximação exponencial para modelar o momento de segunda ordem do processo de tráfego e derivam uma expressão analítica para a estimativa da probabilidade de perda em uma fila com um único servidor. Assumiram que a entrada do tráfego tem uma distribuição lognormal. A expressão analítica é computacionalmente atrativa e supera as deficiências da análise de probabilidade de perda obtida em [9], em termos de simplicidade, precisão e rápida convergência.

Neste artigo, nós apresentamos uma nova abordagem para estimar a probabilidade de perda em um único servidor. Nós consideramos que o tráfego de entrada tem uma distribuição de Pareto. Mostramos como obter as estimativas analiticamente, uma vez que assumimos que o tráfego de entrada é multifractal. Com base neste método de análise, podemos avaliar suas potenciais aplicações para o controle de admissão, especialmente quando o tráfego de rede possui características multifractal.

O trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II, apresentamos a definição do processo de tráfego multifractal, revendo alguns conceitos e analisando as principais características dos momentos de segunda ordem estatística. Na

Seção III, mostramos a derivação da expressão analítica para a estimativa de probabilidade de perda em uma fila com um único servidor e a nossa proposta para simplificar a expressão analítica. Na Seção IV, comparamos o método proposto com alguns modelos de tráfego conhecidos na literatura. Na Seção V, avaliamos o potencial de aplicação da proposta de estimativas de probabilidade de perda no controle de admissão e validamos nossa abordagem comparando com outras estratégias de controle de admissão. Finalmente na Seção VI, apresentamos nossas conclusões.

II. PROCESSOS DE TRÁFEGO MULTIFRACTAL E SUAS CARACTERÍSTICAS

Definição 1: Seja $X(t)$ a taxa de tráfego no instante t , e $W(t) = \int_0^t X(t)dt$ a carga de tráfego acumulado até o instante t e denotamos por $V(t) = W(t + \Delta t) - W(t)$. A taxa média do tráfego é dada por $\lambda = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} V(t)$.

Dado $T > 0$, um processo de tráfego acumulativo $W(t)$ é dito ser multifractal com escala de tempo T , se todas as condições seguintes forem satisfeitas:

- i. $W(t)$ tem incremento estacionário com escala de tempo T , isto é, $V(t, T) = V(t)$.
- ii. $V(t)$ tem distribuição Pareto, $f_{v(t)} = \frac{\alpha k^\alpha}{v^{\alpha+1}}$, onde os parâmetros α e k , são encontrados através da média μ e da variância σ^2 do processo $X(t)$.
- iii. μ e σ^2 satisfaz as seguintes condições:
 - iii a) $\mu = \lambda T$ onde λ é a taxa de entrada do tráfego;
 - iii b) Existe $0 < \alpha(t) < 1$ e uma constante $\varepsilon > 0$ tal que para qualquer $\tau \in \{\tau: T - \varepsilon < \tau < T + \varepsilon, \tau > 0\}$ temos que: $\sigma^2 \sim \tau^{2\alpha(t)}$.

A. Momentos de Segunda Ordem para Processos Multifractais

Os processos com comportamento multifractal depende fortemente dos momentos de primeira e segunda ordem, dados por (iii.a) e (iii.b), respectivamente. Nota-se pela Equação (iii.b) que a variância (momento de segunda ordem) de processos multifractais se relaciona com o expoente de Hölder $\alpha(t)$. Para simplificar os cálculos assume se que o expoente de Hölder de um processo apresenta uma distribuição normal $N(\tilde{\alpha}, \tilde{\sigma}^2)$ em escala de tempo T [9], onde $\tilde{\alpha}$ e $\tilde{\sigma}^2$ são, respectivamente, a média e a variância do expoente de Hölder. Assim, obtemos a seguinte equação para a variância do processo $X(t)$ em relação à escala de tempo T :

$$\sigma^2 \sim \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\tilde{\sigma}} \exp\left[-\frac{(\alpha - \tilde{\alpha})^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right] T^{2\alpha} d\alpha \quad (1)$$

Seja $z = T^{2\alpha}$, então $\alpha = \ln(z)/(2\ln(T))$ e $d\alpha/dz = dz/(2\ln(T)z)$. Então a equação (1) pode ser reescrita como:

$$\sigma^2 \sim \int_0^{\infty} z \frac{1}{\sqrt{2\pi}(2\ln(T)\tilde{\sigma})z} \exp\left[-\frac{(\ln(z) - (2\ln(T)\tilde{\alpha}))^2}{2(2\ln(T)\tilde{\sigma})^2}\right] dz \quad (2)$$

O lado direito da expressão (2) nada mais é do que a distribuição log-normal $L(\varpi, \theta)$ com parâmetros $\varpi = 2\ln(T)\tilde{\alpha}$ e $\theta = (2\ln(T)\tilde{\sigma})^2$. Para a distribuição lognormal dada por (2), as seguintes equações para a média μ e variância σ^2 de um processo multifractal são válidas:

$$\mu = \exp(\varpi + \theta^2/2) \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \exp(2\varpi + \theta^2)[\exp(\theta^2) + 1] \quad (4)$$

Portanto

$$\varpi = \ln(\mu) - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right) \quad (5)$$

e

$$\theta = \sqrt{\ln\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right)} \quad (6)$$

De acordo com a distribuição lognormal σ^2 pode ser mostrar imediatamente que:

$$\sigma^2 \sim \exp[2\ln(T)\tilde{\alpha} + 2(\ln(T)\tilde{\sigma})^2] = T^{2\tilde{\alpha}} T^{2\tilde{\sigma}^2 \ln(T)} \quad (7)$$

III. ESTIMAÇÃO DE PROBABILIDADE DE PERDA PARA PROCESSO MULTIFRACTAL

Seja $X(t)$ um processo multifractal com distribuição de Pareto dada por:

$$f_{X(t)}(x) = \frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}} \text{ para } x > k \quad (8)$$

onde $\mu = \frac{\alpha k}{\alpha - 1}$ e $\sigma^2 = \left(\frac{k}{\alpha - 1}\right)^2 \left(\frac{\alpha}{\alpha - 2}\right)$ são a média e a variância, respectivamente.

A distribuição dos parâmetros α e k são determinados pelo conhecimento de μ e σ^2 do processo $X(t)$. Em outras palavras, os valores médios e a variância podem ser numericamente estimados diretamente a partir da entrada dos fluxos de tráfego de rede. Portanto

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (9)$$

$$k = \mu - \frac{\sigma^2 \mu}{\mu^2} \quad (10)$$

ou

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2} + 2 \quad (11)$$

$$k = \frac{\mu^3 + \sigma^2 \mu}{\mu^2 + 2\sigma^2} \quad (12)$$

Nesta seção derivamos uma expressão analítica para a probabilidade de perda em uma fila com um único servidor. Assumimos que a fila é estável com capacidade de *buffer* grande o suficiente para acomodar qualquer eventual rajada. Então a equação de equilíbrio pode ser estabelecida como:

$$Q(t_0) + V(t - t_0) = Q(t) + O(t - t_0) \quad (13)$$

onde $Q(t)$ é o comprimento da fila em servidor em um tempo t , $V(t - t_0) = W(t) - W(t - t_0)$ a carga de tráfego acumulado no período $[t - t_0]$ e $O(t - t_0)$, denota a carga de tráfego que sai em $(t - t_0)$. Aqui nós assumimos que:

$$O(t) = C(t - I(t)) \quad (14)$$

onde C é a constante de taxa de serviço da fila e $I(t)$ denota o total de servidores inativos até o tempo t . Seja $V(0) = 0$ e $Q(0) = 0$. Portanto $Q(t)$ pode ser escrito com:

$$Q(t) = \max(V(t) - O(t), 0) \quad (15)$$

Seja $Y(t) = V(t) - Ct$ e $\Delta t = C I(t)$, a Equação (15) pode ser expressa como:

$$Q(t) = \max(Y(t) + \Delta t, 0) \quad (16)$$

Esse resultado em conjunto com a lei de probabilidade nos permite escrever a probabilidade de perda na fila como:

$$P_{loss}(t) = P(Q(t) > q) = P(Y(t) + \Delta(t) > q, Y(t) > q) + P(Y(t) + \Delta(t) > q, Y(t) \leq q) = P(Y(t) > q) + P(Y(t) \leq q < Y(t) + \Delta(t)) \quad (17)$$

O primeiro termo $P(Y(t) > q)$ é chamado de probabilidade de perda absoluta (P_{abs}) e o segundo termo $P(Y(t) \leq q \leq \Delta(t))$ a probabilidade oportuna (P_{opp}). Assumindo $Q(T)$ estacionário, e seja $\rho = 1 - \eta = 1 - \lambda/C$, usando o resultado de Benes [1] o segundo termo (P_{opp}) pode ser escrito como:

$$P_{opp}(t) = P(Y(t) \leq q < Y(t) + \Delta(t)) = \rho \int_0^t f_V(u)(u)|_{v=Cu+q} du \quad (18)$$

Também, a probabilidade de perda absoluta (P_{abs}) pode ser escrita como:

$$P_{abs}(t) = P(Y(t) > q) = P(V(t) > Ct + q) = \int_{Ct+q}^{\infty} f_V(t)(v)dv \quad (19)$$

Então, o comportamento exato da fila em qualquer tipo de tráfego é dado por:

$$P_{loss}(t) = \int_{Ct+q}^{\infty} f_V(t)(v)dv + \rho \int_0^t f_V(u)(u)|_{v=Cu+q} du \quad (20)$$

A primeira integral da Equação (20) pode ser escrita como:

$$P_{abs}(t) = \int_{Ct+q}^{\infty} f_V(t)(v)dv = \left(\frac{k}{x}\right)^\alpha \text{ para } x \geq k \quad (21)$$

Assim, a probabilidade de perda sob a suposição de estado estacionário é:

$$P_{steady}(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{loss}(t) = \rho \int_0^t f_V(u)(u)|_{v=Cu+q} du \quad (22)$$

ou

$$P_{steady}(t) = \left(1 - \frac{\lambda}{C}\right) \int_0^{\infty} \frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}} |_{x=Cu+q} du \quad (23)$$

Note que para séries de tráfego multifractais as variáveis α e k , podem ser calculadas usando as equações (9) e (10) ou (11) e (12) respectivamente. Substituindo as relações dadas pelas equações (9) e (10) em (23) a probabilidade de perda pode ser estimada por:

$$P_{steady}(t) = \left(1 - \frac{\lambda}{C}\right) \int_0^{\infty} \frac{\left(\frac{\mu^2}{\sigma^2}\right) \left(\frac{\mu - \sigma^2 \mu}{\mu^2}\right) \frac{\mu^2}{\sigma^2}}{(Ct+q)\frac{\mu^2}{\sigma^2} + 1} dt \quad (24)$$

Novamente, substituindo as relações dadas pelas equações (11) e (12) em (23), a probabilidade de perda pode ser estimada por:

$$P_{steady}(t) = \left(1 - \frac{\lambda}{C}\right) \int_0^{\infty} \frac{\left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} + 2\right) \left(\frac{\mu^3 + \sigma^2 \mu}{\mu^2 + \sigma^2}\right) \frac{\mu^2}{\sigma^2} + 2}{(Ct+q)\frac{\mu^2}{\sigma^2} + 3} dt \quad (25)$$

onde $\mu = \lambda T$ e $\sigma^2 = T^2 \alpha T^2 \delta \ln(T)$.

A. Abordagem para Estimativa da probabilidade de perda

Neste trabalho, propomos a uma abordagem para estimar a probabilidade de perda. A motivação principal da abordagem proposta é reduzir a complexidade da integração numérica a ser realizada pelas expressões (24) e (25). Em outras palavras, propomos a aproximação exponencial dada pela Equação (26) para descrever a relação entre a média ao quadrado e a variância em escala de tempo T , a fim de tornar a expressão analítica para a estimativa de probabilidade de perdas mais simples, eficiente, e sem perder a precisão.

$$\frac{\mu^2}{\sigma^2} \cong aexp(bx) \quad (26)$$

onde a e b são dois parâmetros do modelo exponencial usado. Em geral os parâmetros a e b da função exponencial podem ser determinados a partir da aplicação do método de mínimos quadrados.

Para efeito de ilustração, a curva de cor verde na Figura 1 é o melhor ajuste da função exponencial para uma série de tráfego real denominada `lbl_pkt_5`[7].

Baseado na aproximação usando a função exponencial dada pela equação (26), nós obtemos então duas expressões

para a probabilidade de perda em estado estacionário:

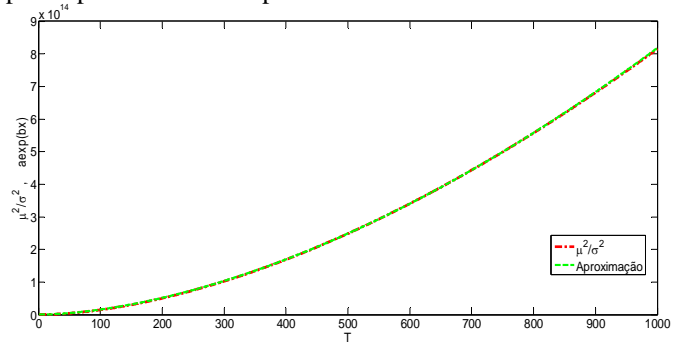


Fig 1: Aproximação

$$P_{steady}(t) = \left(1 - \frac{\lambda}{C}\right) \int_0^{\infty} \frac{(aexp(bx)) \left((\lambda x) - (aexp(bx))^{-1} (\lambda x) \right)^{aexp(bx)}}{(Cx + q)^{aexp(bx) + 1}} dx \quad (27)$$

ou

$$P_{steady}(t) = \left(1 - \frac{\lambda}{C}\right) \int_0^{\infty} \frac{(aexp(bx) + 2) \left((\lambda x) \left(\frac{aexp(bx) + 1}{aexp(bx) + 2} \right) \right)^{aexp(bx) + 2}}{(Cx + q)^{aexp(bx) + 3}} dx \quad (28)$$

A Figura 2 mostra as diferenças entre as probabilidades de perdas em termos de tamanho do *buffer* para as duas equações dadas por (27) e (28) para o tráfego `lbl_pkt_5`. E podemos observar que as duas curvas estão muito próximas uma da outra. Baseado nisso para efeito de comparação neste trabalho utilizaremos a Equação (27).

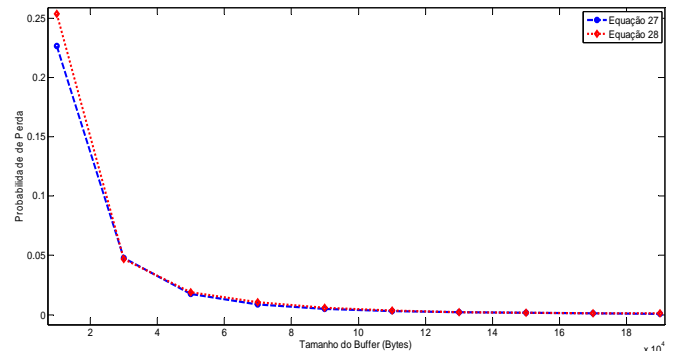


Fig 2: Diferenças entre as Equações 27 e 28

IV. TESTES EXPERIMENTAIS

Nesta seção, vamos avaliar a nossa abordagem na estimativa de probabilidade de perda e apresenta um método de controle de admissão de tráfego.

A. Estimativa de Probabilidade de Perda

A Tabela I resume a configuração do sistema de filas (a capacidade do servidor e o tamanho do *buffer*) de um único servidor na simulação.

TABELA I CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Série de Tráfego	Capacidade do Servidor (<i>bytes/s</i>)	Tamanho do Buffer (<i>Bytes</i>)
<code>lbl_pkt_5</code>	1.4×10^4	3×10^4
<code>dec_pkt_1</code>	12×10^5	3×10^5

A Tabela II compara as estimativas de probabilidade de perda (em número de bytes) para os traços de tráfegos definidos na Tabela I,

- Simulação
- Duffield: Método de Duffield[4];

- Lognormal: a proposta de aproximação exponencial para a variância com distribuição normal e a entrada do tráfego tendo distribuição lognormal [15];
- MSQ : Multi-Scale Queue [13]
- CDTSQ: Critical Dyadic Time-Scale Queue [13];
- Proposto: nossa aproximação proposta neste artigo.

Nota-se que o método de Duffield fornece um limite inferior para a probabilidade de perda $P(Q > b)$ para processos auto-similares. “Lognormal”, “MSQ” e “CDTSQ” são três análises multi-escala para tráfego de rede com dependência de longa duração [13]. Nossa proposta neste trabalho pode ser vista com uma alternativa e uma versão melhorada para o método Lognormal proposto em [15].

TABELA II ESTIMATIVAS DE PROBABILIDADE DE PERDAS

Séries de Tráfegos	lbl_pkt_5	dec_pkt_1
Simulação	8.14×10^{-4}	1.30×10^{-3}
Duffield	8.02×10^{-18}	5.61×10^{-19}
Lognormal	2.31×10^{-4}	4.39×10^{-5}
MSQ	2.05×10^{-6}	3.13×10^{-6}
CDTSQ	9.86×10^{-7}	1.45×10^{-6}
Proposto	4.92×10^{-4}	3.847×10^{-3}

As Figuras 3 e 4 comparam como a estimativas de probabilidade de perda varia em função do tamanho do *buffer* e para diferentes valores de capacidade do servidor respectivamente, para a série de tráfego *lbl_pkt_5*. E novamente podemos observar que a aproximação proposta obteve melhores desempenhos.

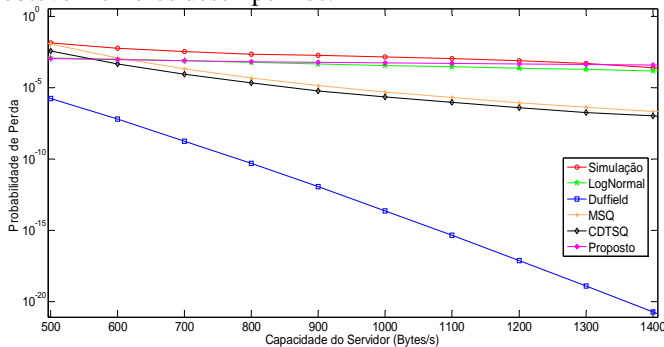


Fig.3. Probabilidade de Perda Versus Capacidades do Servidor para *lbl_pkt_5*

V. CONTROLE DE ADMISSÃO PARA TRÁFEGO DE REDES MULTIFRACTAL

Nesta seção, nós caracterizamos uma potencial aplicação do método proposto para a estimação de probabilidade de perda. Para este fim, nós comparamos seu desempenho com alguns algoritmos de controle de admissão amplamente utilizado, tendo em conta as características multifractais do tráfego.

Nosso método de controle de admissão consiste no cálculo da probabilidade de perda de dados estimadas em uma conexão através da equação (27) ou (28) e então tomando uma decisão de aceitação ou rejeição de uma requerida conexão.

Sendo assim para uma nova conexão alguns parâmetros do tráfego devem ser estimados, incluindo a taxa média do tráfego (λ), os coeficientes a e b da função exponencial usada na aproximação da relação da média ao quadrado pela variância do tráfego.

Para a proposta de controle de admissão, nós assumimos que alguns valores são conhecidos a priori, tais com a capacidade do servidor C e o tamanho do *buffer* q , assim um

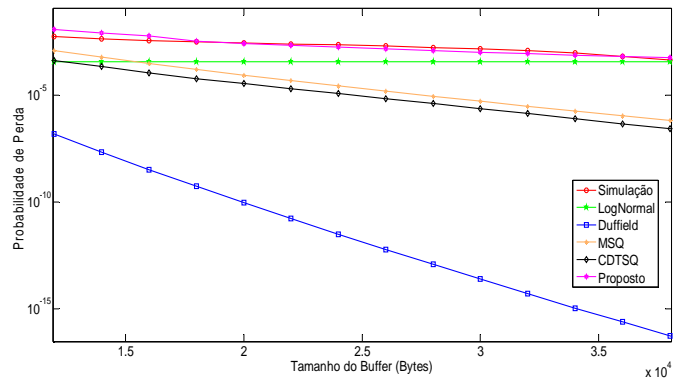


Fig. 4. Probabilidade de Perda versus tamanho do *Buffer* para *lbl_pkt_5*

fluxo de tráfego será aceito se a probabilidade de perda estimada P_{steady} não exceder um dado limite de valor desejado.

Em nossas simulações, diferentes tipos de séries de tráfegos foram usados, incluindo tráfegos TCP/IP, tráfegos de vídeo e tráfego sintético multifractal. Um conjunto de três simulações foram feitas. Para o primeiro experimento, apenas usamos tráfego TCP/IP denominado *dec_pkt_2_100ms*, este tráfego tem origem da série de tráfego *dec_pkt_2* [7], porém com escala de agregação de 100 milissegundos, possuindo um total de 18, 563 amostras. No segundo experimento, algumas séries de tráfego sintéticas que foram geradas usando o FRACLAB [19] uma ferramenta do Matlab. Cada série de tráfego sintética possui 16.384 amostras. Finalmente, para o terceiro experimento um conjunto de séries de tráfego de vídeos foram usadas, cada uma contendo 89.998 amostras [20].

A Tabela III mostra as definições das configurações do sistema utilizadas para cada experimento realizado. Em cada experimento, nós variamos o fluxo de entrada de tráfego através da agregação de certo número de traços de tráfego. O principal objetivo desta manipulação é a de determinar o grau de qualidade de serviço, em termos de probabilidade de perda. O número de séries de tráfego envolvido na agregação varia de 1 à 11.

TABELA III: TIPOS DE TRÁFEGO DE ENTRADA E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Série de Tráfego	Capacidade do Servidor (<i>bytes/s</i>)	Tamanho do <i>Buffer</i> (<i>bytes/s</i>)
<i>dec_pkt_2</i>	5×10^4	7×10^5
Multifractal	1×10^4	4×10^4
Vídeo	3×10^4	4×10^4

As Figuras 5, 6 e 7 resumem os resultados dos nossos experimentos, comparando a propostas de controle de admissão (denotada por “Proposto”) com alguns métodos conhecido na literatura (“MVA”, Perda Virtual”, “Log Normal”) . O método MVA é um algoritmo de controle de admissão baseado na aproximação da máxima variância, assumindo que o tráfego tem características gaussianas[17]. A Perda Virtual descrito em [18] é uma estratégia de controle de admissão baseada na razão do excesso de tráfego, pela utilização do tráfego, para maiores detalhes ver [18]. Log Normal descrito em [15] usa um modelo exponencial para aproximar o momento de segunda ordem e assume que a entrada de tráfego tem distribuição lognormal

Cada figura mostra como a probabilidade de perda muda em função do número de séries de tráfego agregado, ou seja, o número de série de tráfego (i) denota que o fluxo de entrada

foi obtido a partir de agregações de séries de tráfego distintas, exceto para o primeiro experimento. Notavelmente as probabilidades de perda estimada a partir do cálculo proposto estão muito próximas dos obtidos a partir da simulação, e consideravelmente muito mais precisos do que os obtidos pela aplicação dos métodos MVA e Perda Virtual, e para o modelo lognormal a abordagem proposta é igual, ou melhor, na análise feita. Estes resultados são observados para todos os experimentos que envolveram os diferentes tipos de tráfegos.

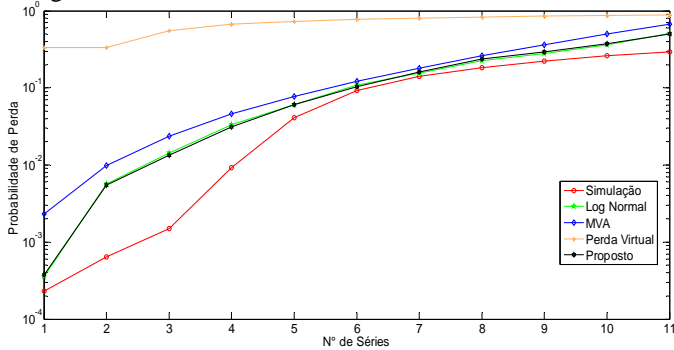


Fig. 5. Comparação do desempenho para agregações de uma série de tráfego TCP/IP com as mesmas características estatísticas.

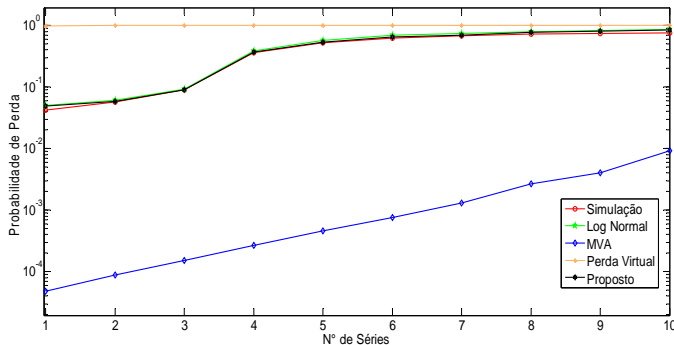


Fig. 6. Comparação do desempenho para agregações de várias séries de tráfego sintéticas multifractal com diferentes características estatísticas.

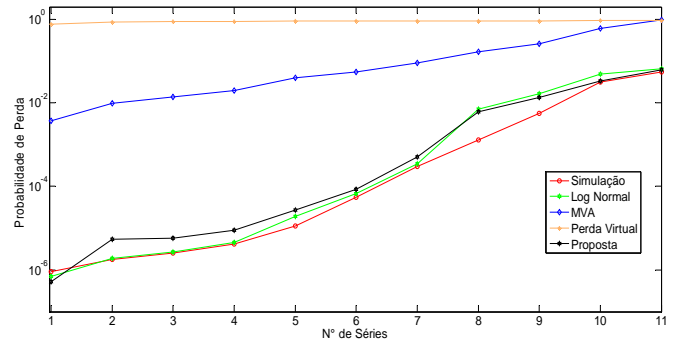


Fig. 7. Comparação do desempenho para agregações de várias séries de tráfego de vídeos com diferentes características estatísticas

VI. CONCLUSÃO

Neste artigo, nós apresentamos uma expressão analítica para estimar a probabilidade de perda em um simples servidor com chegada de tráfego possuindo características multifractais. Inicialmente, nós tratamos da teoria concernente a processos multifractais, especialmente o expoente de Hölder. Em seguida, nós focamos nossa atenção para o momento de segunda ordem estatística de um processo multifractal, mais especificamente, nós assumimos que um modelo exponencial

é adequado para representar a relação da média ao quando pela variância em diferentes escala de agregação. Então nós comparamos o desempenho da aproximação proposta usando séries de tráfego real com alguns outros modelos relevantes na literatura, isto é, um método monofractal, e três métodos multifractais, MSQ (Multi-Scale Queue) e CDTSQ (Critical Dyadic Time-Scale Queue), Lognormal. Posteriormente nós analisamos uma potencial aplicação do método proposto comparando com outros métodos de controle de admissão, MVA, Perda Virtual, e LogNormal. Os resultados das simulações mostraram que a estimativa proposta para o cálculo de probabilidade de perda é simples e exata, e a estratégia de controle de admissão é robusta e eficiente.

REFERENCIAS

- [1] Benes V., General Stochastic Processes in theory of Queues”, Reading, MA: Addison Wesley, 1963.
- [2] Beran, J. et al. Long range dependence in VBR video traffic. IEEE Transactions on Communications, v.43, p.1566-1579, 1995.
- [3] Crovella, M. E. and Bestavros, A. Self-similarity in world wide web traffic - evidence and possible causes. Proceedings of ACM Sigmetrics, p.160-169, 1996.
- [4] Duffield, N.G. and O’Connell, N. Large deviations and overflow probabilities for the general single server queue, with applications. N.G. Duffield & Neil O’Connell. Math. Proc. Cam. Phil. Soc., 118, 363-374 1995.
- [5] Feldmann, A. Gilbert, A.; Willinger, W. and Kurtz, T. G. The changing nature of network traffic: Scaling phenomena. ACM Computer Communication Review, v.28, p.5-29. Group, Tech.1 Rep. Disas-STP-93-30, 1998.
- [6] Garret, M., Willinger, W. Analysis, modeling and generation of self-similar VBR vide traffic. Proceedings of ACM Sigcomm, p.269-280, 1994.
- [7] <http://ita.ee.lbl.gov/html/traces.html>
- [8] Leland W., Taquq M., Willinger W., and Wilson D., On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version), IEEE/ACM Transactions on Networking, v.2, n.1, pp 1-15, Feb 1994.
- [9] Liu N. X. and Baras J. S., Statistical Modeling and Performance Analysis of Multi-Scale Traffic, Proceedings of Twenty – Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM 2003, pp.1837-1847, San Francisco, CA, USA, March/April 2003.
- [10] Norros, I. A storage model with self-similar input, queueing Systems, 16, 1994, pp. 387--396.
- [11] Park, K.; Willinger, W. Self-similar network traffic and performance evaluation. New York: Wiley, (Eds), 2000.
- [12] Paxson, V. and Floyd S. Wide area traffic: The failure of poisson modeling. IEEE/ACM Transactions on Networking, v.3, n.3, p.226-244, 1995.
- [13] Ribeiro V. J., Riedi R. H., Crouse M. S., and Baraniuk R. G. Multiscale Queueing Analysis of Long-Range-Dependent Network Traffic, IEEE INFOCOM 2000, pp. 1026-1035., Tel Aviv, Israel.
- [14] Riedi R. H. and Véhel J. L., Multifractal Properties of TCP Traffic: A Numerical Study”, Technical Report 3129, INRIA Rocquencourt, March 1997.
- [15] Stenico, J.W.G, Lee.L.L. A Multifractal Based Dynamic Bandwidth Allocation Approach for Network Traffic Flows, IEEE ICC2010 – International Conference on Communications 23-27 may 2010 – Cape Town, South Africa.
- [16] Taquq M. S., Teverovsky V., and Willinger W., Is Network Traffic Self-Similar or Multifractal?, Fractals, vol. 5, pp. 63-74, 1997.
- [17] Knightly, E. and Shroff, N., Admission Control for Statistical QoS: Theory and Practice. IEEE Network, 13(2), pp. 20–29, 1999.
- [18] Tutomu M., H. Suzuki, S. Sato, & T. Takeuchi, “A Call Admission Control Scheme for ATM Networks Using a Simple Quality Estimate” IEEE JSAC, vol. 9, n°9, pp.1461-1470, December 1991.
- [19] <http://complex.futurs.inria.fr/FracLab/>
- [20] <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/internet/traces.html>