

Transformação de Tráfego em Redes Ópticas em Rajadas

Gustavo B. Figueiredo¹, Nelson L. S. da Fonseca¹, Cesar A. V. Melo¹,
Marcos R. Salvador²

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Caixa Postal 6176 – 13.084-971 – Campinas – SP – Brasil

²Centro de pesquisa e desenvolvimento em telecomunicações
CPqD Telecom & IT Solutions

{gustavo, cavneto, nfonseca}@ic.unicamp.br, marcosrs@cpqd.com.br

Abstract. *This paper evaluates the impact of burst assembly mechanisms on statistical properties of the network traffic. It is shown that the change of traffic parameters depends on the burst assembling time scale as well as on the traffic cutoff time scale.*

Resumo. *Este artigo investiga o impacto das políticas de montagem de rajadas em redes ópticas de comutação de rajadas nas características de escala (scaling) do tráfego que entra na rede. Mostra-se que as características de escala são influenciadas pela escala tempo de montagem das rajadas bem como pela escala de corte do tráfego que entra na rede.*

1. Introdução

Em redes ópticas de comutação de rajadas (do inglês *Optical Burst Switch - OBS*), pacotes são agregados em unidades de transmissão denominadas rajadas. Os nós na borda da rede enviam pacotes especiais denominados pacotes de controle (PC) para reservar recursos para as rajadas a serem transmitidas. As rajadas são transmitidas após um período de tempo necessário para que o pacote de controle alcance o nó destino antes da rajada.

O processo de reserva de recursos em redes OBS é feito em uma via, ou seja, o nó da borda não precisa esperar nenhuma espécie de confirmação por parte do nó destino. Assim, se por alguma razão os recursos não puderem ser reservados em todos os nós do caminho, a rajada será descartada.

Devido ao processo de reserva de recursos em uma via, a rede deve estar sempre bem dimensionada, sob pena de apresentar alta probabilidade de bloqueio e, consequentemente, grande perdas de pacotes. Um dos aspectos fundamentais para o dimensionamento é a caracterização das estatísticas do tráfego a ser transportado e, em especial, caracterização da explosividade do tráfego em diferentes escalas de tempo. A explosividade do tráfego pode ser considerada um indicador da quantidade de recursos necessários para dar suporte ao tráfego. Por outro lado, quando o tráfego é encaminhado através de um nó da rede, suas propriedades estatísticas são modificadas, o que pode impactar no escalonamento de rajadas durante períodos de contenção; adicionalmente, dependências de longa duração (do inglês *Long Range Dependence - LRD*) influenciam na duração dos períodos de contenção.

Fluxos IP podem ser modelados tanto por processos monofractais quanto por processos multifractais, dependendo de cenários específicos de rede. Em outras palavras,

alguns fluxos IP podem ser caracterizados por processos monofractais enquanto outros necessitam de uma modelagem mais complexa proporcionada pelos processos multifractais. Entretanto, não existe conhecimento até então, sobre qual processo deve ser usado em função do cenário de rede apresentado; conseqüentemente, a determinação da natureza do tráfego só pode ser determinada através de medição e caracterização de um fluxo específico.

Trabalhos anteriores [Ge et al. 2000, Izal and Aracil 2002, Hu et al. 2003] investigaram a relação entre o tráfego monofractal e os mecanismos de montagem de rajadas. Este artigo investiga as transformações em fluxos multifractais causadas pelas políticas de montagem de rajadas usadas pelos nós de borda das redes OBS. Políticas baseadas em janelas de tempo e em volume de tráfego são utilizadas neste estudo. Simulações usando tráfego real foram realizadas e resultados indicam que a natureza de um fluxo depois da montagem das rajadas depende da escala de corte do tráfego original bem como da escala de tempo usada na montagem das rajadas. Resultados apresentados no presente artigo podem ser usados para o ajuste dinâmico das políticas de montagem de rajada frente ao tráfego ingresso oferecido.

Este artigo difere dos artigos anteriores dos mesmos autores [Figueiredo et al. 2005, Figueiredo et al. 2006] por incluir resultados relativos à política de agregação por volume, por avaliar o impacto das transformações de escala nos nós do núcleo da rede, bem como revisar resultados anteriores frente a sugestões recebidas.

O resto desse artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o processo de montagem de rajadas em redes OBS. A Seção 3 discorre sobre a natureza multifractal do tráfego IP. A Seção 4 apresenta as mudanças de escala ocorridas no tráfego entrante em um domínio OBS. A Seção 5 deriva algumas conclusões.

2. Montagem de Rajadas de Pacotes

Nos nós de borda em redes OBSs, existe um conjunto de filas para armazenar pacotes a serem montados em rajadas. O número de filas depende dos critérios adotados para a montagem de rajadas. O montador de rajadas localizado no nó de borda monitora cada fila quando o critério de montagem adotado é satisfeito, o montador monta a rajada correspondente e a transmite. Cada rajada é associada a um pacote de controle que especifica o nó de origem, o nó de destino e a duração da rajada. Uma vez que a rajada é selecionada para transmissão, o pacote de controle é transmitido e após certo intervalo de tempo, a rajada. A Figura 1 ilustra a arquitetura de um nó de borda OBS com duas filas de montagem.

Diferentes critérios podem ser utilizados para a montagem de rajadas. No entanto, a maioria deles é baseada em janelas de tempo [Ge et al. 2000] ou no volume de tráfego [Yu et al. 2002]. Nos algoritmos baseados em janelas de tempo, quando o primeiro pacote chega à fila de montagem, um temporizador é ligado. Se o temporizador alcança um limiar pré-definido (δ), uma rajada é criada contendo todos os pacotes residente na fila de montagem. Os algoritmos baseados em volume de tráfego controlam o volume de dados através de um contador de bytes (ou pacotes) em cada fila de entrada. O contador é atualizado à medida que novos pacotes vão sendo adicionados à fila e quando alcança o valor limiar pré-determinado, a rajada é montada e transmitida.

Em redes operacionais, os limiares adotados dependem dos requisitos temporais

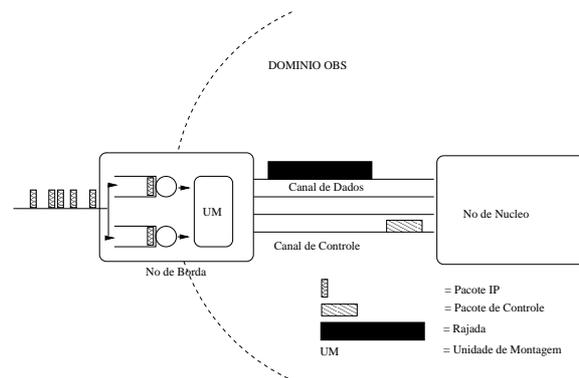


Figura 1. Exemplo de Arquitetura de Nó de Borda de Redes OBS.

Tabela 1. Valores sugeridos na literatura para limiares para montagem de rajadas [Long et al. 2003]

Classe de Serviço	Volume Mínimo	Volume Máximo	δ
EF	5KB	5KB	4.8ms
AF	30KB	50KB	55ms
BE	125KB	125KB	600ms

das classes de serviço. Quanto mais estritos os requisitos, menores são os limiares utilizados pelos montadores. Valores típicos podem variar de 1ms [Gowda et al. 2003] a 600ms [Long et al. 2003]. A Tabela 1 [Long et al. 2003] sugere valores tanto para temporizadores quanto para os contadores de bytes. Por exemplo, se a rajada contém pacotes pertencentes à classe de serviço EF (*Expedited Forwarding*), o volume de dados necessário para sua montagem é de 5KB e o tempo necessário para a montagem (δ) é de 4.8 ms. Se os pacotes pertencem à classe AF (*Assured Forwarding*) o volume de dados pode variar entre 30 e 50 KB e o tempo de montagem é de 55 ms. Finalmente, se os pacotes pertencem à classe BE (*Best Effort*) o volume é de 125 KB e o tempo de montagem de 600 ms.

3. A Natureza Multifractal do Tráfego IP

Nesta seção, são apresentados alguns conceitos sobre *traffic scaling*. Um processo auto-similar (monofractal) $X(t)$ de ordem q apresenta momentos estatísticos definidos por [Abry et al. 2002]: $E|X(t)|^q = E|X(1)|^q \cdot |t|^{qH}$, onde, H é o parâmetro de *Hurst*. Esta definição dos momentos estatísticos de um processo monofractal $X(t)$ impõe a restrição de uniformidade nas variações (explosividade) de $X(t)$ em diferentes instantes de tempo, ou seja, assume-se que o processo possui explosividade uniforme, medida por H , em diferentes instantes de tempo. Um processo multifractal não apresenta a restrição de uniformidade nas suas variações e tem seus momentos estatísticos definidos por [Abry et al. 2002]: $E|X(t)|^q = E|X(1)|^q \cdot |t|^{\zeta(q)}$, onde, $\zeta(q)$ é a função cascadeamento. Esta função apresenta um comportamento não-linear para os diferentes momentos q , o que caracteriza a ocorrência de multifractalidade.

No domínio wavelet, os momentos são expressos da seguinte forma: $E|d_X(j, k)|^q \approx 2^{j\zeta(q)}$ $j \rightarrow -\infty$, onde $d_X(j, k)$ é a série de incrementos (detalhes) obtidos pela decomposição do processo $X(t)$ usando a transformada wavelet discreta. A

função cascadeamento $\zeta(q)$ é definida por $\zeta(q) = \alpha_q - \frac{q}{2}$ onde, α_q é chamado de expoente de cascadeamento (do inglês *scaling exponent*). Este expoente tem o seu valor relacionado à explosividade do tráfego, que no caso de processos multifractais varia para os diferentes momentos estatísticos q .

Em [Abry et al. 2002], descreve-se um método, chamado de diagrama multiescala (do inglês *Multiscale Diagram-MD*), para se determinar a ocorrência de multifractalidade em um processo. Este método consiste em verificar o comportamento da função $\zeta(q)$ em relação aos momentos estatísticos q . Caso a função $\zeta(q)$ apresente um comportamento não-linear verifica-se a ocorrência de multifractalidade no processo avaliado.

A estimativa dos valores da função $\zeta(q)$ requer a determinação do expoente de cascadeamento α_q . A estimativa de α_q é realizada através do método diagrama logescala (do inglês *Logscale Diagram-LD*) do q -ésimo momento. Neste método, α_q é definido pela inclinação de uma reta que se aproxima da curva gerada pela relação entre μ_j e 2^j em uma escala logarítmica. O valor de μ_j é dado por:

$$\mu_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} |d_X(j, k)|^q \approx E|d_X(j, k)|^q$$

onde, n_j é número de detalhes $d_X(j, \cdot)$, na escala de tempo j , gerados pela decomposição de $X(t)$, usando-se uma transformada wavelet discreta.

Além do Diagrama Multiescala, o Diagrama Multiescala Linear (do inglês *Linear Multiscale Diagram*) também pode ser usado para detectar multifractalidade. Ele traça $h_q = \zeta_q/q$ versus q . Neste diagrama, a monofractalidade é revelada por uma curva horizontal, ao passo que a multifractalidade pode ser detectada por uma curva não horizontal.

4. Análise de Mudança de Escala

Para avaliar as mudanças das características estatísticas do tráfego, experimentos de simulação foram realizados usando o simulador NS-2. Os experimentos foram conduzidos de forma a avaliar as mudanças das propriedades estatísticas do tráfego decorrente do processo de montagem de rajadas. Nos experimentos, um nó OBS de borda é alimentado com tráfego IP multifractal. O tráfego de saída do montador é então coletado e analisado.

Os traços de tráfego real usados nos experimentos de simulação relatados neste artigo tiveram a ocorrência de multifractalidade verificada através dos métodos diagrama multiescala e diagrama multiescala linear. Os traços usados nessa avaliação são de domínio público e contêm o registro do tráfego de redes operacionais no período de 2003 a 2005. Esses traços registraram o tráfego em pontos de agregação das redes vBNS e Internet2 ABILENE e foram obtidos no sítio NLANR (www.nlanr.net). A Tabela 2 mostra as características desses traços tendo o registro do tráfego uma precisão de microsegundos.

O expoente de Holder para os traços foram calculados de acordo com o procedimento apresentado em [Cavanaugh et al. 2003]. A Tabela 4 mostra a média e a variância do expoente de Holder, bem como o intervalo de confiança usado para o cálculo da média. Estes valores serão usados como referência na comparação com os valores do expoente de Holder encontrados no tráfego de saída do montador.

Tabela 2. Características dos Traços usados no artigo

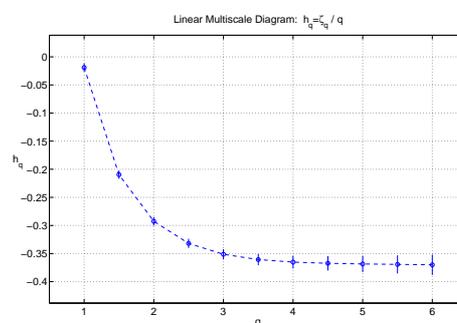
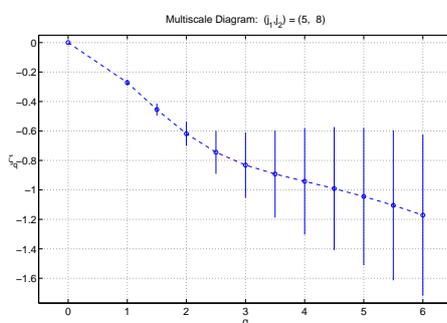
Traço	Data	Bytes	Ponto de Agregação
MEM-1053844177	05/24/2003 23:54	1220904	Univ. of Memphis
MEM-1054459191	06/01/2003 2:54	1266708	Univ. of Memphis
MEM-1111247410	03/19/2005 07:56	1677721.6	Univ. of Memphis
MEM-1111679715	03/22/2005 14:10	2306867.2	Univ. of Memphis
MEM-1112013766	03/28/2005 04:49	1572864	Univ. of Memphis
ANL-1111548257	03/22/2005 20:11	928768	Argone Nac. Lab.
TXS-1113503155	04/14/2005 2:54	360448	Univ. of Texas

Tabela 3. Escalas de Agregação e de Corte dos Traços usados nas Simulações

Traço	γ	Δ	$\delta > \Delta$	$\delta < \Delta$
MEM-1111247410	0.1ms	3.3ms	4ms	1ms
MEM-1111679715	0.1ms	5.4ms	6ms	3ms
MEM-1112013766	0.1ms	3.0 ms	4ms	1ms
ANL-1111548257	0.1ms	2.7ms	3ms	1ms
TXS-1113503155	0.02ms	1.3ms	2ms	1ms

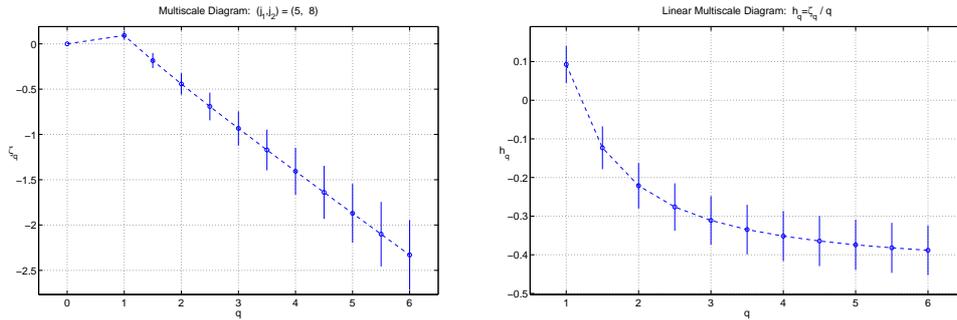
Tabela 4. Expoente de Holder do tráfego multifractal

Traço	Media	Var	C.I.
MEM-1111247410	0.695	0.0085	0.01
MEM-1111679715	0.758	0.008	0.031
MEM-1112013766	0.72	0.009	0.005
ANL-1111548257	0.726	0.03	0.007
TXS-1113503155	0.89	0.0408	0.03



(a) Diagrama Multiescala do Traço MEM-1111679715 (b) Diagrama Multiescala Linear do Traço MEM-1111679715

Figura 2. Diagramas Multiescala e Multiescala Linear do Traço MEM-1111679715



(a) Diagrama Multiescala do traço TXS-1113503155 (b) Diagrama Multiescala Linear do Traço TXS-1113503155

Figura 3. Diagramas Multiescala e Multiescala Linear do Traço TXS-1113503155

As Figuras 2 e 3 mostram o Diagrama Multiescala (MD) e o Diagrama Linear Multiescala (LMD) do tráfego que alimenta o nó de borda da rede OBS. É importante observar que o fenômeno da multifractalidade pode ser observado tanto no diagrama MD quanto no LMD.

A Tabela 3 mostra a escala de tempo usada para agregar os traços (γ), a escala de corte (Δ) e o valor máximo do temporizador usado na montagem das rajadas (δ). A escala de tempo usada para agregar os traços de tráfego foi de um décimo do valor do temporizador.

A próxima seção apresenta os resultados obtidos, avaliando a influência das políticas de montagem baseadas em janelas de tempo e em volume de tráfego nas propriedades do tráfego resultante do processo de montagem de rajadas. Devido a limitações de espaço, resultados são apresentados apenas para os traços MEM-1111679715 and TXS-1113503155.

5. Resultados obtidos

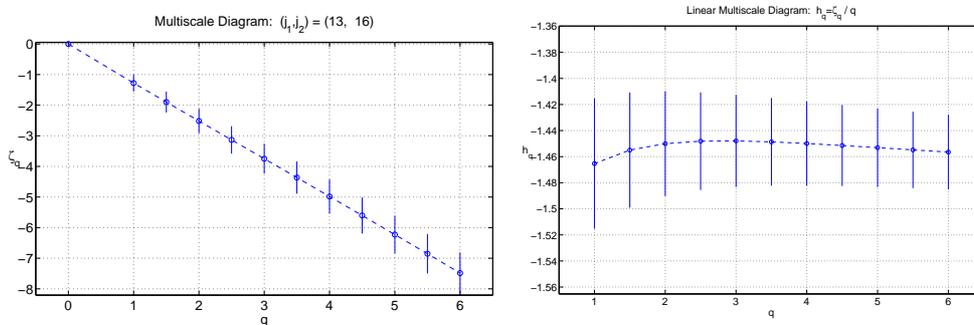
5.1. O impacto dos limiares de tempo na escala do tráfego de saída

No primeiro cenário, δ é maior que o valor da escala de corte (Δ) do tráfego de entrada. No segundo cenário, δ é menor que Δ . Com esses cenários, pretende-se verificar o relacionamento entre o valor do limiar usado e as propriedades estatísticas do tráfego resultante.

5.1.1. Cenário 1: $\delta > \Delta$

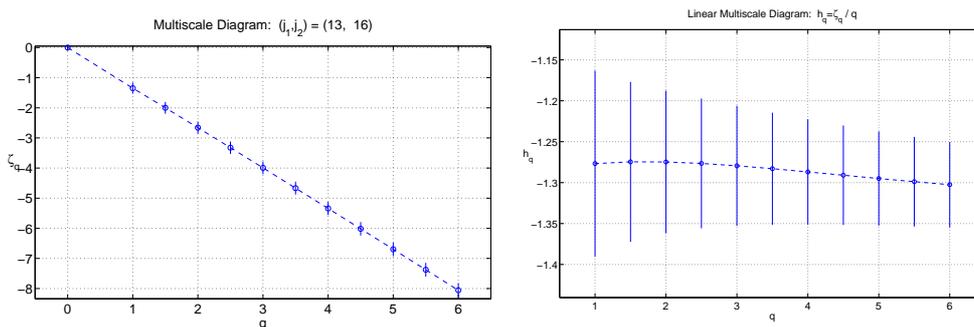
As Figuras 4 e 5 mostram os diagramas MD e LMD do tráfego de saída do montador de rajadas. Este tráfego é resultante das transformações do tráfego de entrada dos traços MEM-1111679715 and TXS-1113503155, respectivamente. O comportamento linear das curvas no diagrama MD indica a monofractalidade do tráfego de saída, dado que a função de cascadeamento $\zeta(q)$ apresenta comportamento linear nos vários momentos estatísticos q . Isto pode ser confirmado pelo diagrama LMD que mostra alinhamento horizontal para os dois traços. Assim, o processo de montagem de rajadas em escalas de tempo maiores que a escala de corte de um tráfego multifractal transforma as características do tráfego

de entrada de multifractal para monofractal. A segunda coluna da Tabela 6 mostra o parâmetro de Hurst (H_t) do tráfego monofractal resultante do processo de montagem usando janelas de tempo.



(a) Diagrama Multiescala do Tráfego de Saída (b) Diagrama Linear Multiescala Linear do Tráfego de Saída

Figura 4. Análise do Traço MEM-1111679715 para $\delta > \Delta$



(a) Diagrama Multiescala do Tráfego de Saída (b) Diagrama Multiescala Linear do Tráfego de Saída

Figura 5. Análise do Traço TXS-1113503155 para $\delta > \Delta$

5.1.2. Cenário 2: $\delta < \Delta$

As Figuras 6 e 7 mostram os resultados para $\delta < \Delta$. As curvas do diagrama MD tem um comportamento não linear que indica a multifractalidade. O padrão multiescala pode ser percebido pela ausência de alinhamento horizontal nas curvas do diagrama LMD. Assim, o processo de montagem de rajadas em escalas de tempo menores que a escala de corte do tráfego de entrada mantém as propriedades multifractais do tráfego.

5.2. O impacto do limiar do volume de tráfego na escala do tráfego de saída

Como ilustrado na seção anterior, a natureza das propriedades estatísticas do tráfego resultante do processo de montagem de rajadas depende do relacionamento entre o valor limite do temporizador (δ) usado na política de montagem e o valor da escala de corte do tráfego de entrada.

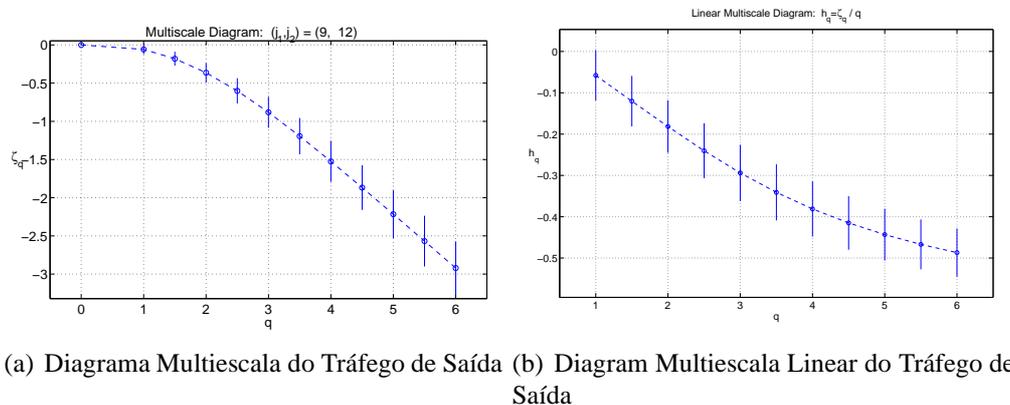


Figura 6. Trace MEM-1111679715 analysis with $\delta < \Delta$

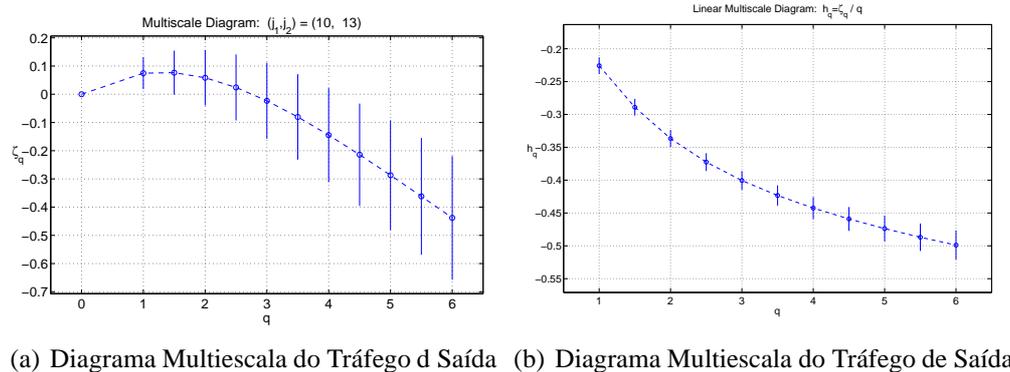


Figura 7. Análise do Traço TXS-1113503155 para $\delta < \Delta$

Para investigar o relacionamento entre a escala de tempo do processo de montagem e a escala de corte do tráfego de entrada, o volume de tráfego de entrada (β) foi dividido pela taxa média de chegadas (λ). Essa escala de tempo é então comparada à escala de corte do tráfego de entrada.

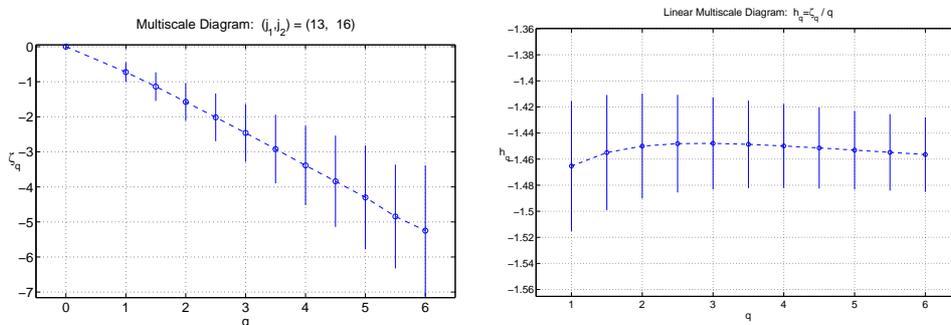
Os experimentos foram conduzidos usando limiares para o contador de bytes que implicassem em escalas de montagem abaixo da escala de corte do tráfego de entrada ou em escalas de montagem acima da escala de corte do tráfego de entrada. Os valores escolhidos foram, respectivamente, 1KB e 125KB. Estes valores foram obtidos em trabalhos publicados anteriormente [Gowda et al. 2003, Long et al. 2003].

Os traços MEM-1111679715 e TXS-1113503155 têm taxa média de chegadas (λ) de 4.4 e 6.8 Mbps, respectivamente. O contador de bytes de 1KB produz uma escala de tempo de montagem (δ) de 1,8 e 1,2 ms para os traços MEM-1111679715 e TXS-1113503155. Esses valores são menores que a escala de corte limite (Δ) do tráfego de entrada. Por outro lado, o contador de bytes de 125KB corresponde a escala do tempo de 0,22 e 0,15 segundos para os traços MEM-1111679715 e TXS-1113503155. Essas escalas são maiores que a escala de corte do tráfego de entrada.

5.2.1. Cenário 1: $\beta/\lambda > \Delta$

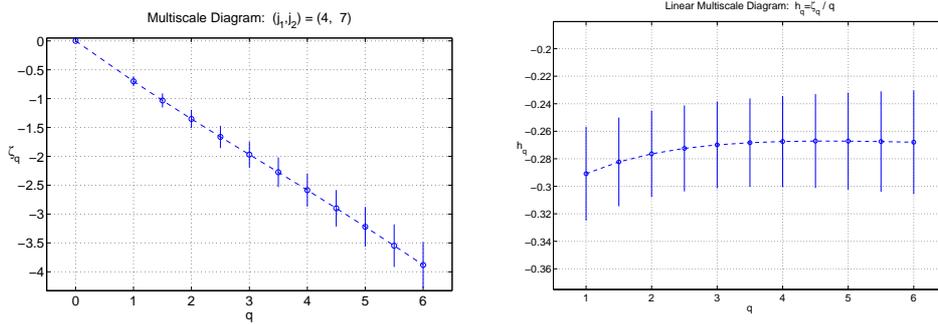
As Figuras 8 e 9 mostram os resultados da análise do tráfego resultante do processo de montagem de rajadas com $\beta/\lambda > \Delta$. Os diagramas MD mostram comportamentos similares. A função de cascadeamento $\zeta(q)$ apresenta comportamento linear. O comportamento monofractal é confirmado pelo alinhamento horizontal apresentado no diagrama LMD. Tal comportamento da função de cascadeamento caracteriza a ocorrência de monofractalidade.

Assim, o processo de montagem de rajadas usando limiares maiores que o produto entre a taxa média de chegadas e o valor da sua escala de corte transforma um tráfego com características multifractais em um tráfego com características monofractais. A terceira coluna da Tabela 6 mostra o parâmetro de Hurst (H_v) do tráfego resultante do processo de montagem quando a política de montagem de rajadas baseada em volume de tráfego é utilizada.



(a) Diagrama Multiescala do Tráfego de Saída (b) Diagrama Multiescala do Tráfego de Saída

Figura 8. Análise do Traço MEM-1111679715 para $\beta/\lambda > \Delta$



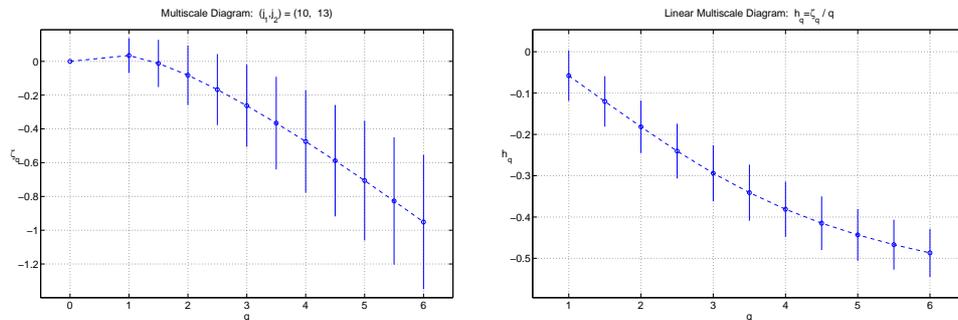
(a) Diagrama Multiescala do Tráfego de Saída (b) Diagrama Multiescala Linear do Tráfego de Saída

Figura 9. Análise do Traço TXS-1113503155 para $\beta/\lambda > \Delta$

Tabela 5. Exponente de Holder do Tráfego Multifractal de Saída

Traço	$Media_t$	Var_t	$I.C._t$	$Media_v$	Var_v	$I.C._v$
MEM-1111247410	0.601	0.006	0.009	0.653	0.002	0.001
MEM-1111679715	0.598	0.008	0.011	0.632	0.004	0.002
MEM-1112013766	0.601	0.009	0.003	0.622	0.004	0.002
ANL-1111548257	0.546	0.008	0.002	0.603	0.016	0.020
TXS-1113503155	0.655	0.010	0.013	0.732	0.008	0.015

5.2.2. Cenário 2: $\beta/\lambda < \Delta$



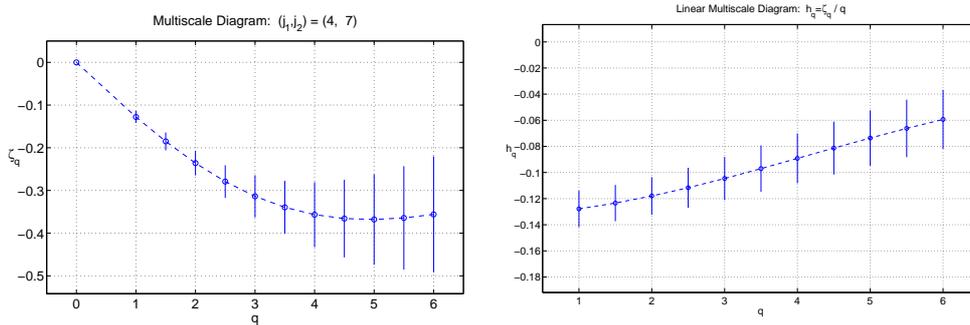
(a) Diagrama Multiescala do Tráfego de Saída (b) Diagrama Multiescala do Tráfego de Saída

Figura 10. Análise do Traço MEM-1111679715 para $\beta/\lambda < \Delta$

As Figuras 10 a 11 mostram a análise do tráfego resultante do processo de montagem e rajadas com $\beta/\lambda < \Delta$. No diagrama MD, as curvas não apresentam comportamento não linear o que indica a presença de multifractalidade no tráfego. Além disso, o diagrama LMD mostra alinhamento não horizontal.

5.3. O Efeito Suavizador das Políticas de Montagem de Rajadas

A fim de avaliar a suavização do tráfego causada por diferentes processos de montagem de rajadas, as propriedades estatísticas do tráfego produzido por essas políticas foram comparados.



(a) Diagrama Multiescala do Tráfego de Saída (b) Diagrama Multiescala Linear do Tráfego de Saída

Figura 11. Análise do Traço Trace TXS-1113503155 para $\beta/\lambda < \Delta$

Tabela 6. Parâmetro de Hurst do Tráfego Monofractal de Saída

Traço	H_t	H_v
MEM-1111247410	0.669	0.682
MEM-1111679715	0.595	0.687
MEM-1112013766	0.629	0.675
ANL-1111548257	0.598	0.639
TXS-1113503155	0.672	0.797

A Tabela 5 apresenta a média e a variância dos valores assumidos pelo expoente de Holder do tráfego multifractal resultante do processo de montagem, bem como o intervalo de confiança do valor médio. Os sub-índices t e v denotam, respectivamente, as políticas baseadas em janelas de tempo e em volume de tráfego. A Figura 12 apresenta os resultados para comparação visual.

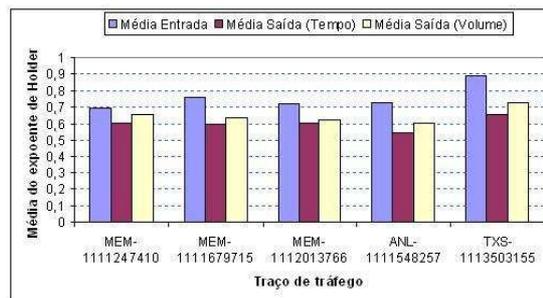


Figura 12. Média do expoente de Holder dos tráfegos de entrada e saída do montador de rajadas.

Quando comparados à média e à variância do tráfego de entrada, fica claro que o processo de montagem suaviza o tráfego de entrada. Isto é evidenciado pela redução da média e da variância do expoente de *Holder*. A redução da média do expoente de *Holder* indica que a explosividade do tráfego em escalas de tempo menores foi reduzida. Além disso, a redução da variância indica que a variabilidade da explosividade do tráfego nessas escalas de tempo também foi reduzida. Comparando as duas políticas, pode-se notar que a média do expoente de *Holder* produzida pela política de montagem de rajadas baseada

em janelas de tempo é menor que o valor produzido pela política baseada em volume de tráfego, o que indica uma suavização do tráfego em pequenas escalas de tempo.

A Tabela 6 apresenta o parâmetro de *Hurst* do tráfego resultante do processo de montagem, quando as políticas baseadas em janelas de tempo e em volume de tráfego foram utilizadas. O parâmetro de Hurst foi calculado usando o estimador A-V disponível em [Veitch 2003]. Pode-se notar que as políticas baseadas em volume de tráfego produzem tráfego monofractal com parâmetro de Hurst mais alto que o parâmetro de Hurst produzido pela política baseada em janelas de tempo. Uma explicação para esse fenômeno é que a política baseada em volume de tráfego, produz rajadas maiores que a política baseada em janelas de tempo (Tabela 7). Na política baseada em janelas de tempo alguns pacotes pertencente ao mesmo fluxo são transmitidos em rajadas diferentes enquanto que na política baseada em volume de tráfego esses mesmos pacotes são transmitidos em uma única rajada. Conseqüentemente, períodos maiores de atividade e de silêncio são produzidos nas políticas baseadas em volume de tráfego levando a maiores dependências de longa duração.

5.4. O impacto das mudanças do tráfego no dimensionamento da rede

Para avaliar o impacto causado pelas transformações das propriedades estatísticas do tráfego no dimensionamento da rede OBS, o cenário descrito na Figura 13 foi utilizado nas simulações. A figura apresenta uma rede composta por 3 nós de borda (2 de ingresso e 1 de egresso) e um nó de núcleo. Os nós de borda de ingresso são alimentados com tráfego multifractal gerados a partir dos traços de tráfego citados na Tabela 2. Cada enlace possui uma única fibra com 16 canais de dados e 2 canais de controle.

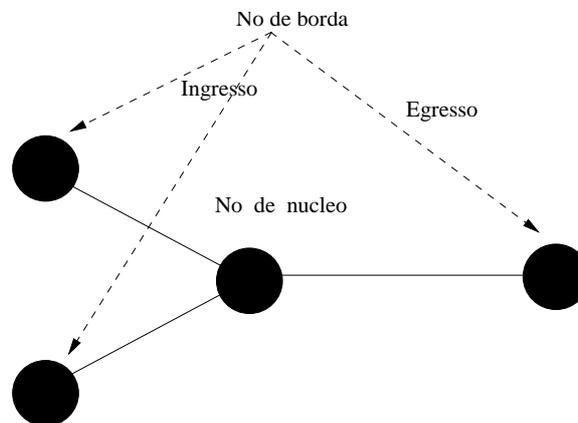


Figura 13. Cenário utilizado na avaliação do impacto do tráfego dimensionamento da rede.

A idéia é avaliar se as transformações ocorridas no tráfego têm impacto significativo no dimensionamento da rede. Para tal, foi medida a probabilidade de bloqueio (PB), a quantidade de canais adicionais (em relação ao dimensionamento usado para medir a probabilidade de bloqueio) para que a rede experimente probabilidade de bloqueio igual a zero (C) e o número médio de pacotes em cada rajada (NP).

A Tabela 7 apresenta os resultados da simulação. Pode-se perceber que tanto na política de montagem baseada em volume de tráfego, quanto na política baseada em janelas de tempo, a rede OBS experimenta maior probabilidade de bloqueio quando o tráfego resultante do processo de montagem de rajadas possui características multifractais. Isto acontece devido a alta frequência

Tabela 7. Probabilidade de Bloqueio e Demanda de Canais Adicionais

Política	Volume de tráfego						Janelas de tempo					
	Multifractal			Monofractal			Multifractal			Monofractal		
Tráfego	PB	C	NP	PB	C	NP	PB	C	NP	PB	C	NP
Trace												
ANL57	4%	1	3,1	0%	0	255	2%	1	3,0	0%	0	258
MEM10	2%	1	4,7	0%	0	351,8	1%	1	2,4	0%	0	351,5
MEM15	1%	1	5,6	0%	0	289,1	2%	1	1,8	0%	0	267,2
MEM66	3%	1	2,8	0%	0	711,4	1,3%	1	2,7	0%	0	451,2
TXS55	0%	0	7,4	0%	0	451,2	0.1%	1	1,4	0%	0	306,5
Média	2%	1	4,7	0%	0	411,7	1,3%	1	2,0	0%	0	326,9

de rajadas e pacotes de controle gerados. Como pode ser visto na Tabela 7, a quantidade de pacotes por rajadas (NP) é de 4,7 quando a política de montagem baseada em volume de tráfego é utilizada e de 2,0 quando a política baseada em janelas de tempo é utilizada. Isto gera um número elevado de pacotes de controle na rede (no caso da política baseada em janelas de tempo a razão é de 1 pacote de controle para 2 pacotes IP) e conseqüentemente uma quantidade maior de canais é necessária para realizar o escalonamento de todas as rajadas e pacotes de controle. Obviamente, a ausência temporária desses recursos faz com que a probabilidade de bloqueio seja maior.

Comparando as políticas de montagem, percebe-se que a política baseada em volume de tráfego produz probabilidades de bloqueios mais altas que a política baseada em janelas de tempo. Isto acontece pois, como explicado na Seção 4, a política baseada em volume de tráfego produz tráfego com maior explosividade e demanda de recursos mais elevadas que a política baseada em janelas de tempo.

6. Conclusões

Investigou-se, neste artigo, o efeito de políticas de montagem de rajada nas características *scaling* do tráfego IP que adentra um domínio OBS. Resultados obtidos via simulações revelaram que os mecanismos de montagem de rajadas causam o efeito de suavização da explosividade do tráfego de entrada da rede. A média e variância do expoente de Holder do tráfego multifractal resultante do processo de montagem de rajadas são menores do que aquelas encontradas no tráfego que adentra o domínio OBS. Além disso, resultados mostraram também que a escolha dos valores usados no temporizador (em caso de políticas baseadas em janelas de tempo) ou no contador de bytes (no caso das políticas baseadas em volume de tráfego) têm impacto significativo nas propriedades estatísticas do tráfego.

Mostrou-se que se o limiar do temporizador (no caso da política de montagem baseada em janelas de tempo) ou do produto entre a taxa média do tráfego de entrada e o valor da escala de corte (no caso específico de políticas baseadas em volume de tráfego) for maior que o valor da escala de corte do tráfego original, a montagem de rajadas produz tráfego com características monofractais enquanto que o uso de valores menores que o valor da referida escala produz tráfego com características multifractais.

As políticas baseadas em volume de tráfego produzem tráfego monofractais com parâmetro de Hurst mais alto que as políticas baseadas em janelas de tempo. Além disso, políticas baseadas no volume de tráfego produzem tráfego multifractal cujo expoente de Holder possui valores mais altos que os produzidos por políticas baseadas em janelas de tempo.

Indica-se, portanto, o uso de políticas de montagem de rajadas baseadas em janelas de

tempo. Além disso, para diminuir a demanda de recursos da rede sejam demandados, recomenda-se que os valores dos limiares usados nas políticas de montagem de rajadas sejam escolhidos de forma a produzir tráfego com características monofractais. Recomenda-se, portanto, que limiares para políticas de montagem sejam adotados em função da escala de corte (cutoff scale) do tráfego que adentra um domínio OBS.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e Funttel

Referências

- Abry, P., Baraniuk, R., Flandrin, P., Riedi, R., and Veitch, D. (2002). The multiscale nature of network traffic discovery. *IEEE Signal Processing Magazine*, 19:28–46.
- Cavanaugh, J. E., Wang, Y., and Davis, J. W. (2003). Self-similar processes and their wavelet analysis. *Handbook of Statistics 21: Stochastic Processes: Modeling and Simulation*, Elsevier, Amsterdam.
- Figueiredo, G. B., Melo, C. A. V., Fonseca, N. L. S., and Salvador, M. R. (2005). O impacto do algoritmo de montagem de rajadas baseado em janelas de tempo no tráfego multifractal. In *Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT)*, pages 47–52.
- Figueiredo, G. B., Melo, C. A. V., Fonseca, N. L. S., and Salvador, M. R. (2006). On the transformation of multifractal traffic at ingress optical burst switches. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*.
- Ge, A., Callegati, F., and Tamil, L. S. (2000). On optical burst switching and self-similar traffic. *IEEE Communications Letters*, 4:98–100.
- Gowda, S., Shenai, R. K., Sivalingam, K. M., and Cankaya, H. C. (2003). Performance evaluation of tcp over optical burst-switched (obs) wdm networks. In *ICC*, volume 2, pages 1433–1437.
- Hu, G., Dolzer, K., and Gauger, C. (2003). Does burst assembly really reduce the self-similarity? In *OFC*.
- Izal, M. and Aracil, J. (2002). On the influence of self-similarity on optical burst switching traffic. In *GLOBECOM*, volume 3, pages 2308–2312.
- Long, K., Tucker, R. S., and Wang, C. (2003). A new framework and burst assembly for ip diffserv over optical burst switching networks. In *GLOBECOM*, pages 3159–3164.
- Veitch, D. (2003). D. veitch home page, july 2003. available from <http://www.cubinlab.ee.mu.oz.au/darryl/>.
- Yu, X., Chen, Y., and Qiao, C. (2002). Study of traffic statistics of assembled burst traffic in optical burst switched networks. In *Opticomm*, pages 149–159.