

Eficiência de Tráfego e Probabilidade de Bloqueio em Paradigmas de Comutação Ótica OPS e OBS-JIT

Alex Bernaz dos Santos, Matheus Borges dos Santos, Luiz Henrique Bonani

Resumo— Neste artigo são analisadas as eficiências de tráfego e a probabilidade de bloqueio em redes óticas metropolitanas utilizando os paradigmas da comutação OPS e OBS-JIT. Foi utilizado o software ONSim para a realização das simulações para análise de probabilidade de bloqueio na rede e individualmente nos nós e, posteriormente, a análise de carga oferecida. Embora semelhantes os valores de probabilidade de bloqueio na rede para ambos os paradigmas e a carga oferecida, há uma diferença considerando a probabilidade de bloqueio em cada nó da rede, indicando que o tempo de alocação de recursos é fator preponderante para explicação desta diferença.

Palavras-Chave— Eficiência de Tráfego, Probabilidade de bloqueio, OPS, OBS-JIT.

Abstract— In this article we analyze the efficiency of traffic and blocking probability in metro optical networks using the paradigms of switching OPS and OBS-JIT. ONSim software was used to perform the simulation for the analysis of blocking probability on the network and individually nodes and, subsequently, analysis offered load. Although the values of blocking probability on the network to both paradigms and the offered load in the network are similar, there is a difference considering individually the blocking probability on each network node, indicating that the time allocation of resources is more important factor to explain this difference.

Keywords— Efficiency of Traffic, Blocking Probability, OPS, OBS-JIT.

I. INTRODUÇÃO

O grande aumento da demanda por capacidade de transmissão visto nos últimos anos vem motivando o desenvolvimento de tecnologias que respondam de maneira efetiva a este aumento com um oferecimento cada vez maior de largura de banda para as transmissões.

Assim, as redes óticas se apresentam como a tecnologia mais propensa, a curto prazo, a suprir essa demanda crescente. É sabido que a Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda (WDM - *Wavelength Division Multiplexing*) fornece a alta capacidade de transmissão de dados, provendo vários canais óticos multiplexados em uma mesma fibra [1]. Entretanto, apesar da rede prover múltiplos canais em seu núcleo, onde o tráfego é sempre mais agregado, utilizando múltiplos comprimentos de onda, nas redes de acesso e nas redes metropolitanas, onde o tráfego é mais esparso, torna-se custoso manter uma grande quantidade de recursos de rede

Alex Bernaz dos Santos, Matheus Borges dos Santos, Luiz Henrique Bonani, CECS, Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, Brasil, E-mails: alex.santos@ufabc.edu.br, matheus.santos@ufabc.edu.br, luiz.bonani@ufabc.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPESP (2010/07382-8).

de forma a garantir a melhor qualidade de serviço para os usuários.

Além disso, é sabido que a comutação ótica de circuitos (OCS - *Optical Circuit Switching*), que tradicionalmente vem sendo utilizada no núcleo WDM, é menos adaptada a esse tráfego mais esparso que caracterizam as redes de acesso e metropolitanas. Portanto, novos paradigmas de comutação têm sido propostos para melhorar a eficiência de utilização das redes óticas [2]. O primeiro desses foi a tentativa óbvia de implementar multiplexação estatística na rede ótica, com a proposta de comutação ótica de pacotes (OPS - *Optical Packet Switching*) [3]. No entanto, a limitação tecnológica para a construção de memórias óticas de acesso aleatório tem se apresentado como o principal entrave para o desenvolvimento dessa tecnologia. Ainda, a comutação de pacotes óticos requer tempos de comutação muito pequenos, sendo necessários dispositivos com rápida resposta de comutação que ainda não alcançaram maturidade tecnológica suficiente.

Assim, de forma a tentar alcançar uma maior eficiência da largura de banda utilizada e a minimizar os problemas com a implementação do OPS, surgiu a comutação ótica de rajadas (OBS - *Optical Burst Switching*), que resolve o problema da inexistência de memórias óticas e de comutadores ultrarrápidos através do retardamento da efetiva transmissão da informação, que é mantida no nó de origem até que haja um tempo mínimo para a alocação de recursos ao longo da rota seguida [4][5].

A topologia de rede influencia diretamente em seu desempenho, sendo necessária uma análise minuciosa da distribuição de carga para que a quantidade de recursos de rede e esquemas de resolução de contenda contribuam efetivamente para a melhora em seu desempenho.

Este trabalho foca na análise de redes óticas metropolitanas com paradigmas de comutação OPS e OBS-JIT considerando a carga escoada e oferecida, assim como as taxas de probabilidades de bloqueio por nó e na rede.

A organização deste trabalho está como segue: descrição dos paradigmas de comutação utilizados e seus respectivos esquemas de sinalização é feita na seção II. Na seção III a análise da distribuição de tráfego é apresentada e discutida, bem como os principais parâmetros de simulação. A seção IV apresenta os resultados obtidos nas simulações realizadas e a seção V apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

II. PARADIGMAS DE COMUTAÇÃO

O paradigma de comutação ótica por circuitos (OCS) é baseado em roteamento por comprimento de onda, pelo qual um "lightpath" (caminho de luz) precisa ser estabelecido usando um comprimento de onda dedicado em cada enlace entre origem e destino. É atribuído um comprimento de onda ao circuito, e este circuito só será desfeito quando todos os dados forem transmitidos [4][6]. O tempo para estabelecimento de conexão depende dos tempos de processamento em cada nó e dos tempos de propagação, em que a conexão se estabelece quando os recursos ao longo do caminho estiverem alocados. Os dados da conexão só começam a ser enviados quando chega a confirmação da reserva dos recursos.

Considerando a característica estática do OCS, é proposto o paradigma de comutação ótica por pacotes (OPS), ilustrado na Figura 1, através de um mecanismo de multiplexação estatística utilizando o método *store-and-forward*, armazenamento e alocação de recursos, em cada nó intermediário ao longo da rede, garantindo uma melhor flexibilidade. No paradigma OPS não há reserva de recurso, envolvendo somente os tempos de pacote (δ_{PACOTE}) e de setup (δ_{SETUP}).

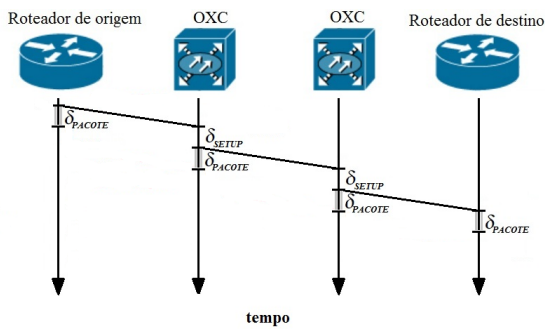


Fig. 1. Optical Packet Switching.

Nesse esquema de comutação, não há a necessidade de conversão eletrônica de todos os dados óticos, mas somente do cabeçalho dos pacotes [7]. Com a conversão apenas dos cabeçalhos dos pacotes, a largura de banda utilizada não é totalmente desperdiçada devido o tempo para conversão dos cabeçalhos ser bem menor que a conversão de todo pacote. Mas, para que essa conversão e processamento do cabeçalho aconteça, uma amostra do pacote deve ser retirada do pacote e processando-o usando uma FDL (*Fiber Delay Line*) para armazenamento ótico e sincronização de pacotes. O tempo que o pacote circula pela FDL define o tempo de setup (δ_{SETUP}), que é o tempo necessário para o processamento do cabeçalho e posicionamento dos comutadores.

A limitação tecnológica para a construção de memórias óticas de acesso aleatório tem se apresentado como o principal entrave para o desenvolvimento de tecnologia para o OPS. Além disso, a comutação de pacotes óticos requer tempos de comutação muito pequenos, sendo necessários dispositivos com rápida resposta de comutação que ainda não alcançaram maturidade tecnológica suficiente.

Atualmente está em curso uma solução híbrida de OCS e OPS através do paradigma de comutação ótica por rajadas (OBS), ilustrada na Figura 2. No paradigma OBS, os pacotes,

que vão para um mesmo destino, são agregados em uma mesma rajada que será transmitida para seu destino. Para que essa rajada seja transmitida faz-se necessário estabelecer um caminho, mas diferentemente do OCS, antes de a rajada ser transmitida, um pacote de controle é enviado, para que seja feita uma reserva de recursos, seguindo o caminho reservado pelo pacote de controle até o seu destino [8].

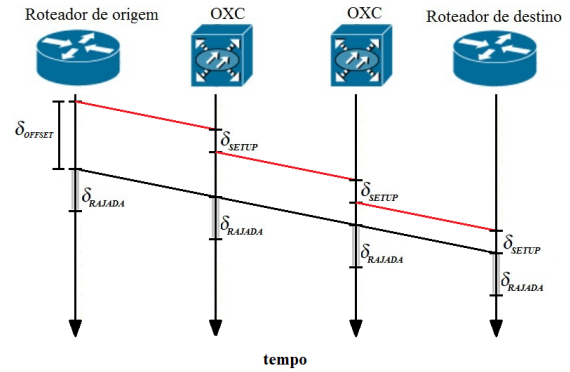


Fig. 2. Optical Burst Switching.

Para a reserva de recursos no OBS, é necessário um tempo de *offset* (δ_{OFFSET}) calculado com base no valor necessário para que quando a rajada chegar ao destino, já tenha sido realizada a reserva de recursos. Em cada nó é necessário um tempo de *setup* (δ_{SETUP}) para processamento da rajada de pacotes e retransmissão aos nós posteriores. Os protocolos de reserva de recurso mais utilizados são o JIT (*Just in Time*) [9][10], JET (*Just Enough Time*) [11][12] e *Horizon* [5], cujas implementações são cuidadosamente descritas em [8].

A sinalização de reserva de recursos é enviado pelo nó de origem, através de um pacote de controle, para uma dada rajada precedendo-a de um tempo de espera "offset" e de um tempo de processamento/configuração em cada nó intermediário entre origem e destino, ilustradas na Figura 3. Caso não seja possível efetuar a reserva de recursos o pacote de controle é descartado e a rajada é bloqueada.

Os protocolos JIT (*Just In Time*) e JET (*Just Enough Time*) se diferem quanto ao instante em que os recursos são reservados para uma determinada rajada, porém utilizam o mesmo tempo de processamento e configuração (δ_{SETUP}), que na ilustração da Figura 3 totalizam o valor de $3 \times \delta_{\text{SETUP}}$.

No JIT, os recursos requeridos por uma rajada são alocados desde o término do processamento do pacote de controle até a transmissão de toda a rajada. O pacote de controle é enviado e o canal é reservado imediatamente após chegar o pacote de controle. O canal ficará ocupado durante todo esse processo até a passagem do último bit da rajada.

Os protocolos de reserva JET e *Horizon*, diferentemente do JIT, utilizam a reserva atrasada (*Delayed Reservation*) [8], em que os recursos de um comprimento de onda são reservados somente a partir da chegada da rajada e não no término do processamento do pacote de controle. O pacote de controle é enviado e o canal é reservado somente a partir da chegada do primeiro bit da rajada.

Entre o tempo de *offset* e a chegada do primeiro bit da rajada há um espaço (*void*) que poderá ser preenchido ou

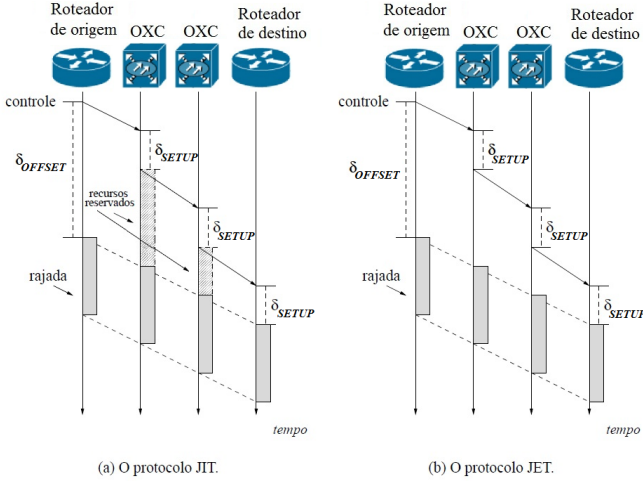


Fig. 3. O funcionamento dos protocolos de sinalização JIT e JET.

não, a depender do protocolo de reservas que será utilizado. O JIT, diferentemente do JET, não utiliza o preenchimento desse espaço (*void filling*), ou seja, este espaço poderá ser reservado porém não utilizado para outra rajada de comprimento menor ao do espaço. Por ser mais próximo do funcionamento do OCS, foi escolhido para a comparação com o paradigma de comutação OPS.

III. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE TRÁFEGO

Este trabalho foca na análise de redes óticas metropolitanas com paradigmas de comutação OPS e OBS-JIT, considerando a carga escoada e oferecida, assim como as taxas de probabilidade de bloqueio por nó e na rede. As redes são geralmente caracterizadas por suas topologias lógicas e enlaces físicos. Para este estudo foi adotado um esqueleto da topologia ArpaNet, mostrada na Figura 4, composta por 20 nós e 32 enlaces bidirecionais com distância média de 63,125 km por enlace e com diâmetro de 372 km [2].

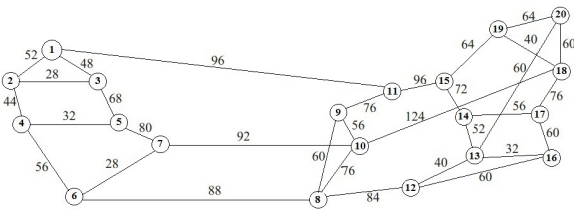


Fig. 4. Topologia ArpaNet parametrizado para simulação. Adaptada de [2]

Como primeira abordagem, partiu-se para a simulação de uma rede usando os paradigmas de comutação óticas OPS e OBS-JIT, tentando identificar gargalos de tráfego. Foram realizadas algumas simulações usando o software ONSim, em desenvolvimento na UFABC, e os paradigmas da comutação ótica OPS e OBS com protocolo de reserva de recursos JIT.

Em ambas abordagens, foi utilizado 1 comprimento de onda para cada enlace, carga variando entre 1 a 20 Erlang e um milhão de requisições de tráfego, que eram rajadas para OBS e pacotes para OPS. O comprimento médio dos pacotes e

rajadas foi de 500 Bytes. Também foi usada uma distribuição poissoniana para as chegadas dos pacotes/rajadas, com duração regida por uma distribuição exponencial negativa. O tempo de *setup* foi de a 5,0 μ s. Para o caso específico do OBS-JIT foram utilizados o tempo de *offset* de 1,0 ms e tempo de *switch* de 2,0 ns.

Utilizando a topologia da Figura 4, foi estabelecido um cenário em que todos os nós da rede geram tráfego para todos os outros nós. Nesse caso, considerando roteamento por caminho mínimo, as $N.(N - 1)$ rotas (chamadas aqui de conexões lógicas, apesar de nem OPS nem OBS serem orientados a conexão) se distribuem por todos os enlaces e nós da rede. Esse resultado teórico foi então utilizado para parametrizar uma análise de carga máxima na rede.

Para exemplificar o processo de escolha de rota por caminho mínimo pode-se utilizar a Figura 4, escolhendo o nó 1 como origem e 11 como destino. Neste caso, a rota escolhida será $1 \rightarrow 11$, que totaliza 96 Km, ao invés da rota $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 11$, que totalizaria 420 Km.

Na Equação 1, é descrito como é calculado a carga para o paradigma OPS em que λ é a taxa média de chegadas, $1/\mu_P$ é o tempo médio de serviço de cada pacote e δ_{SETUP} é o tempo fixo de duração do processamento em cada nó.

$$\rho_{OPS} = \lambda \left(\frac{1}{\mu_P} + \delta_{SETUP} \right) \quad (1)$$

Na Equação 2, é descrito como é calculado a carga para o paradigma OBS com o protocolo de sinalização JIT, em que λ é a taxa média de chegadas, $1/\mu_B$ é o tempo médio de serviço de cada rajada e $\bar{\delta}_{OFFSET}$ é o tempo médio em que os recursos ficam reservados na rede sem sua efetiva utilização.

$$\rho_{OBS-JIT} = \lambda \left(\frac{1}{\mu_B} + \bar{\delta}_{OFFSET} \right) \quad (2)$$

O cálculo de $\bar{\delta}_{OFFSET}$ pode ser obtido através da Equação 3, em que N é o número de nós na rede, i e j são os nós de origem e de destino, respectivamente, e $H(i, j)$ é o número de *hops* na rota entre os nós i e j .

$$\bar{\delta}_{OFFSET} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \sum_{k=1}^{H(i,j)} \delta_{OFFSET} - (k-1)\delta_{SETUP}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N H(i, j)} \quad (3)$$

A Equação 4 descreve o valor mínimo necessário para o tempo de *offset*, na rota entre i e j , em que $H(i, j)$ é a quantidade de saltos nessa rota e δ_{OXC} é o tempo necessário para que o comutador mude suas configurações, que geralmente é muito menor que δ_{SETUP} .

$$\delta_{OFFSET}^{MIN}(i, j) = H(i, j) \delta_{SETUP} + \delta_{OXC} \quad (4)$$

Deve-se ressaltar que esse modelo de comparação parametriza todos os paradigmas de comutação e protocolos de reserva de recursos pela carga na rede que são iguais para OPS e OBS-JIT. Isso quer dizer que na prática, a intensidade de tráfego para cada paradigma de comutação estudado é diferente.

IV. ANÁLISE E RESULTADOS

Através de uma primeira abordagem, considerando como parâmetro de análise o valor médio do número de conexões lógicas por nó somado ao desvio padrão, é possível observar na Figura 5, em que os nós que apresentam maior carga são: 6, 8, 11 e 12.

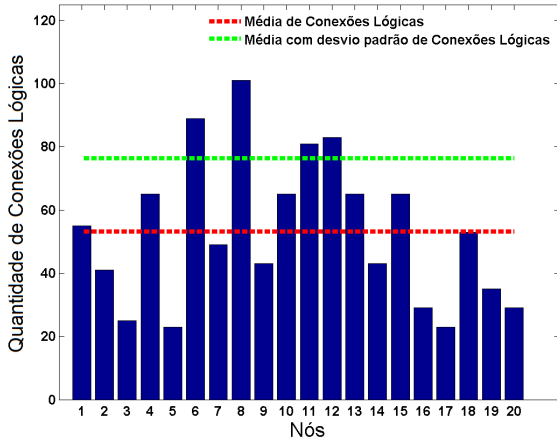


Fig. 5. Quantidade de Conexões Lógicas por nó.

A Figura 6 mostra os valores de probabilidade de bloqueio obtidos na simulação, com carga de $1E$, utilizando OPS e os nós que apresentaram maiores valores de probabilidade de bloqueio foram os nós 6, 8, 11 e 12. Conforme previsto, estes mesmos nós também apresentam maiores quantidades de conexões fim a fim como verificado na Figura 5. Esse resultado é importante, pois mostra que a análise de roteamento estático teórico pode servir como parâmetro para a distribuição de recursos de rede.

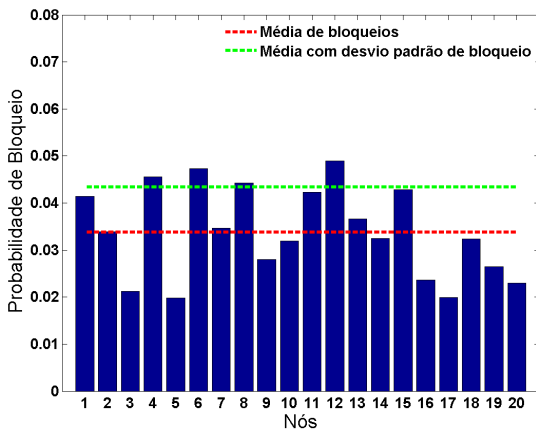


Fig. 6. Probabilidade de Bloqueio por nós utilizando OPS.

Através desta abordagem é possível observar uma correlação entre a probabilidade de bloqueio em cada nó e a média de conexões por nó, logo, quanto maior a quantidade de requisições maiores são as probabilidades de bloqueio.

Entretanto, para os resultados obtidos com a mesma metodologia e OBS-JIT, ilustrados na Figura 7, os nós com maiores

valores de probabilidade de bloqueio são: 3, 5, 16 e 17.

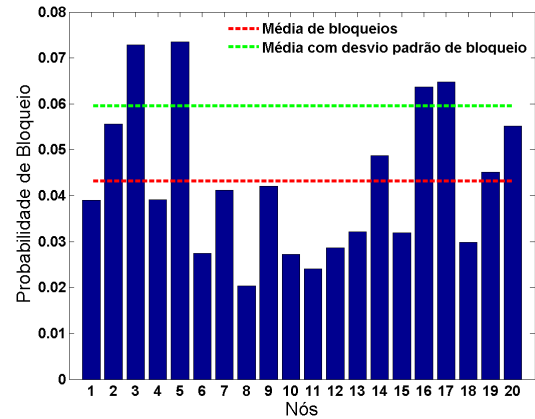


Fig. 7. Probabilidade de Bloqueio por nós utilizando OBS-JIT.

Esta abordagem não apresenta a mesma correlação em comparação com os valores obtidos através da simulação com OPS. Esse resultado primeiramente levantou dúvidas sobre a exatidão da simulação, mas uma análise global de desempenho, mostrou que, como era esperado, as redes OPS e OBS submetidas à mesma carga (e não intensidade de tráfego), apresentam o mesmo desempenho, conforme mostrado na Figura 8. Pode ser observado que os valores de probabilidade de bloqueio da rede são aproximadamente os mesmos para ambos os paradigmas, portanto apresentam a mesma carga escoada (eficiência de tráfego).

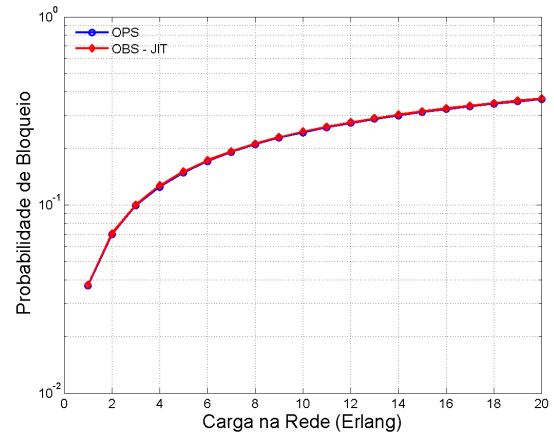


Fig. 8. Probabilidade de Bloqueio utilizando OPS e OBS-JIT.

Como através do ONSim é possível estudar individualmente cada enlace e cada nó para verificar a carga escoada, a análise comparativa entre os dois paradigmas de comutação ótica OPS e OBS-JIT foram realizados, chegando à conclusão de que a carga oferecida (ou quantidade de recursos utilizados) são similares para ambos os paradigmas, mesmo esses apresentando valores de probabilidades de bloqueio por nós diferentes como pode ser visualizado na Figura 9.

Esses resultados foram obtidos através da Equação 5, com a utilização dos valores de carga escoada C_{e_i} e probabilidades

de bloqueio por nó P_{b_i} verificados pela simulação. Assim, os valores de carga oferecida C_{o_i} em cada nó i puderam ser comparados para ambos os paradigmas.

$$C_{e_i} = C_{o_i}(1 - P_{b_i}), \text{ em que } i = \{1, 2, 3, \dots, 20\} \quad (5)$$

Devido a esta nova constatação, foi realizado uma análise através da contabilização dos tempo médios de alocação de recursos por nó sem que sejam efetivamente utilizados (*idletime*). O *idletime* em cada nó, é ocasionado em todo estabelecimento de rota no caso OBS-JIT, dependendo de qual *hop* (salto) o nó faz parte da rota, devido a alocação *hop-to-hop* de recursos do protocolo JIT em OBS.

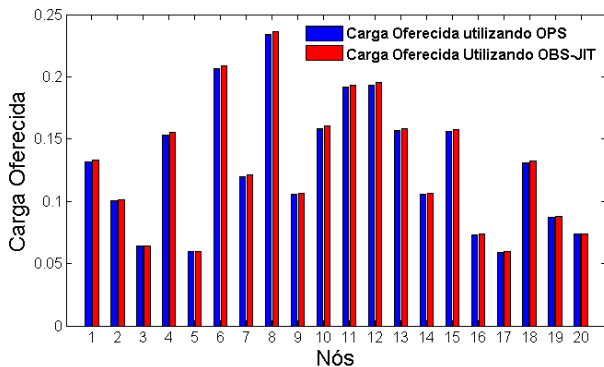


Fig. 9. Comparativo entre carga oferecida em OPS e OBS-JIT.

Considerando a Figura 3, pode-se observar que o último nó anterior ao Roteador de Destino, devido ser o último *hop* da rota estabelecida, terá seu tempo de *idletime* menor que o nó imediatamente posterior ao Roteador de Origem, ficando os recursos neste nó alocados por menores tempos.

Através do cálculo desses valores, que são ilustrados na Figura 10, é possível verificar que os nós 3, 5, 16 e 17, apresentam valores acima do tempo médio de alocação de recursos por nós. Este comportamento possui uma correlação com os valores de probabilidade de bloqueio por nó mostrada na Figura 7. Este fato deixa claro que quanto maior o tempo médio de alocação de recursos por nó (*idletime*) em comparação com a média (que é utilizada para parametrizar a carga), maiores serão as probabilidade de bloqueio, mesmo que estes nós apresentem números menores de conexões lógicas, conforme a Figura 5. Uma causa desse comportamento é a utilização de um único valor de δ_{OFFSET} independentemente do número de *hops* da rota.

V. CONCLUSÕES

Através da abordagem proposta neste artigo, foi simulado um modelo de rede ótica constituída por 20 nós e 32 enlaces bidirecionais envolvendo os paradigmas de comutação ótica OPS e OBS-JIT, com cada enlace possuindo 1 comprimento de onda. Em ambos os paradigmas os valores de carga oferecida se apresentaram similares, mesmo com seus valores de probabilidade de bloqueio por nó diferentes.

Os resultados indicam que o tempo de alocação de recursos é fator preponderante para explicação desta diferença. Os

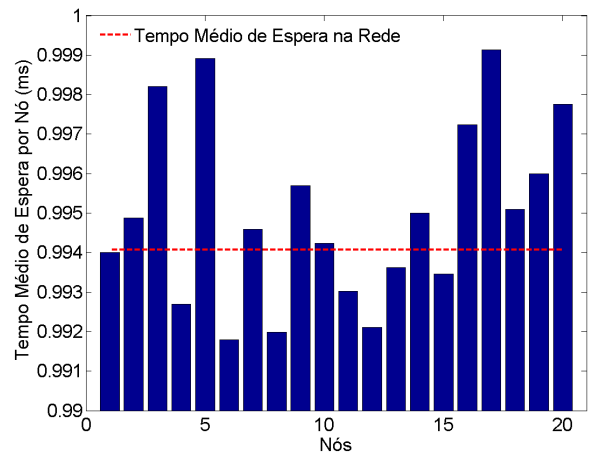


Fig. 10. Média de tempo de alocação de recursos por nó.

valores de probabilidade de bloqueio por nós utilizando OBS-JIT são diferentes em cada nó, comparados com os valores obtidos com utilização do OPS, devido aos valores de *idletime* característico do OBS-JIT. Os resultados indicam que o uso de um mesmo tempo de *offset* para todas as rotas é a causa dessa variação no comportamento previsto.

REFERÊNCIAS

- [1] QIAN, D. et al. High Capacity/Spectral Efficiency 101.7-Tb/s WDM Transmission Using PDM-128QAM-OFDM Over 165-km SSMF Within C- and L-Bands. *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, v. 30, n. 10, p. 1540–1548, Mai. 2012. ISSN 0733-8724.
- [2] RAMASWAMI, R.; SIVARAJAN, K. N.; SASAKI, G. H. *Optical Networks - A Practical Perspective*. 3ª. ed. Burlington, USA: Morgan Kaufmann, 2010.
- [3] HUNTER, D.; ANDONOVIC, I. Approaches to optical Internet packet switching. *Communications Magazine, IEEE*, v. 38, n. 9, p. 116–122, Set. 2000. ISSN 0163-6804.
- [4] DHAVARUDHA, E.; CHAROENLARNOPPARUT, C.; RUNGGERATIGUL, S. Performance and Cost Comparison for Optical Burst Switching and Optical Circuit Switching. *Communications and Information Technologies, 2006. ISCIT '06. International Symposium on*, p. 807–811, Set. 2006.
- [5] TURNER, J. S. Terabit Burst Switching. *Journal of High Speed Networks*, v. 8, n. 1, p. 3–16, Jan. 1999.
- [6] BARKER, K. et al. On the Feasibility of Optical Circuit Switching for High Performance Computing Systems. *Supercomputing, 2005. Proceedings of the ACM/IEEE SC 2005 Conference*, p. 16, Nov. 2005.
- [7] BENGI, K. *Optical Packet Access Protocols for WDM Networks*. Vienna University of Technology, Austria: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [8] TENG, J.; ROUSKAS, G. N. A Detailed Analysis and Performance Comparison of Wavelength Reservation Schemes for Optical Burst Switched Networks. *Photonic Network Communications*, v. 9, n. 3, p. 311–335, Jul. 2005.
- [9] WEI, J.; MCFARLAND R.I., J. Just-in-time signaling for WDM optical burst switching networks. *Lightwave Technology, Journal of*, v. 18, n. 12, p. 2019–2037, Dez. 2000. ISSN 0733-8724.
- [10] BALDINE, I. et al. Jumpstart: a just-in-time signaling architecture for WDM burst-switched networks. *Communications Magazine, IEEE*, v. 40, n. 2, p. 82–89, Fev. 2002. ISSN 0163-6804.
- [11] QIAO, C.; YOO, M. Optical burst switching (OBS) - A new paradigm for an optical Internet. *Journal of High Speed Networks*, v. 8, n. 1, p. 69–84, Jan. 1999.
- [12] YOO, M.; QIAO, C. Just-Enough-Time (JET): a high speed protocol for bursty traffic in optical networks. *Vertical-Cavity Lasers, Technologies for a Global Information Infrastructure, WDM Components Technology, Advanced Semiconductor Lasers and Applications, Gallium Nitride Materials, Processing, and Devi*, p. 26–27, Ago. 1997.