

Uma Arquitetura de Rede OBS com *Labels* de Códigos Ópticos Ortogonais

Fábio Renan Durand e Edson Moschim

Resumo— Neste trabalho ilustra-se uma arquitetura de rede óptica comutada por rajadas OBS (*Optical Burst Switching*) que emprega processamento de *labels* de controle da rede compostos por códigos ópticos ortogonais OOC (*Orthogonal Optical Codes*). Os resultados obtidos mostram um aumento na utilização da rede em função do aumento da velocidade de processamento dos *labels* OOC.

Palavras-Chave— Rede OBS (*Optical Burst Switching*), *Labels*, Códigos Ópticos Ortogonais OOC (*Orthogonal Optical Codes*).

Abstract— In this work, OBS (*Optical Burst Switching*) networks with optical processing of labels are presented. These labels utilize OOC (*Orthogonal Optical Codes*). The main results show an increase in the network utilization in function of the increase on OOC labels processing velocity.

Index Terms— OBS (*Optical Burst Switching*), labels, OOC (*Orthogonal Optical Codes*).

I. INTRODUÇÃO

O constante crescimento da Internet está resultando em um aumento de demanda por altas taxas de transmissão e tecnologias de comutação que apresentam elevada velocidade de chaveamento [1]. A promissora tecnologia da multiplexação por divisão de comprimentos de onda WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) tem fornecido uma elevadíssima largura de banda, porém as tecnologias utilizadas na comutação ainda não apresentam uma velocidade de comutação compatível [2]. Uma solução tem sido o emprego de redes que utilizam a tecnologia WDM como camada óptica de transporte. Assim, obtém-se uma elevada largura de banda que pode ser comutada no domínio óptico de forma transparente para vários protocolos evitando o gargalo imposto pela comutação eletrônica [1]. As redes ópticas que empregam esta tecnologia de transmissão e comutação no domínio óptico são denominadas redes totalmente ópticas AON (*All Optical Networks*) e estas redes podem ser divididas em três categorias: redes roteadas por

comprimento de onda WRN (*Wavelength-routed Network*), redes comutadas por rajadas OBS (*Optical Burst Switching*) e redes comutadas por pacotes OPS (*Optical Packet Switching*) [2]. As redes WRNs estabelecem caminhos ópticos virtuais que são denominados *lightpaths* entre os nós de origem e destino. Este tipo de rede apresenta granularidade limitada ao comprimento de onda que pode ser muito elevada para acomodar o tráfego de determinadas aplicações. Em redes OPS o tráfego é transportado em pacotes ópticos juntamente com as informações de controle transportadas no cabeçalho óptico [3]. O cabeçalho é extraído e processado eletronicamente em cada nó. Este tipo de arquitetura apresenta a vantagem de possuir elevada utilização dos enlaces em função da multiplexação estatística e grande capacidade de adaptação ao tipo de tráfego oferecido à rede. Porém, o custo e a tecnologia deste tipo de arquitetura ainda são proibitivos [2]. Um dos principais desafios tem sido a busca pelo acesso aleatório a memória RAM (*Random Access Memory*) no domínio óptico [3]. Nas redes OBS o cabeçalho e os dados são transportados em comprimentos de onda distintos [4]. Desta forma, o cabeçalho é processado eletronicamente nos *cross-connects* da rede para efetuar a reserva de recursos somente por um intervalo de tempo determinado. Assim, o caminho óptico estabelecido entre os nós de ingresso da rede é desconectado após o transporte da rajada de dados. Esta separação entre o cabeçalho e os dados fornece às redes OBS uma grande flexibilidade e facilidade de gerenciamento [4].

As redes ópticas OBS apresentam as vantagens inerentes da comutação por circuitos com a granularidade próxima das redes comutadas por pacotes, porém o processamento eletrônico dos pacotes de controle ainda torna a taxa de utilização deste tipo de rede limitada e pode ser considerado um gargalo para redes OBS com elevado tráfego [5]. No intuito de aumentar a taxa de utilização destas redes estão sendo implementados recursos como *grooming*, roteamento por deflexão e várias técnicas de montagem das rajadas [6], porém os resultados obtidos ainda não são satisfatórios [5]. Uma alternativa é o emprego do processamento óptico dos pacotes ópticos de controle nas redes OBS como uma forma de aumentar a velocidade de processamento e a taxa de utilização destas redes. Este tipo de processamento foi inicialmente proposto em [5] e consistiu da utilização de pacotes de controle baseados em códigos ópticos coerentes da tecnologia de multiplexação por divisão de código OCDM

Fábio Renan Durand e Edson Moschim, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, E-mails: durand@dsif.fee.unicamp.br, moschim@dsif.fee.unicamp.br.

(*Optical Code-Division Multiplexing*). Os códigos ópticos coerentes empregam a modulação de fase e intensidade e são mais complexos para implementar que os códigos ópticos incoerentes, que utilizam somente a modulação em intensidade [7]. Neste contexto o objetivo deste trabalho é propor e analisar uma arquitetura de rede óptica comutada por rajadas (OBS) que utilize *labels* baseados em códigos ópticos incoerentes como os códigos ópticos ortogonais OOC (*Orthogonal Optical Codes*). A vantagem da utilização de *labels* é a possibilidade de integração entre o plano de controle IP e a camada óptica WDM por meio do GMPLS [2]. O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção II ilustra-se a arquitetura da rede proposta. Na Seção III é apresentada a metodologia de análise de desempenho desta rede. Na Seção IV apresentam-se os principais resultados e finalmente, na Seção V discutem-se as principais conclusões obtidas neste trabalho.

II. ARQUITETURA DA REDE

A arquitetura de rede OBS proposta neste trabalho emprega *labels* de códigos ópticos ortogonais OOC (*Orthogonal Optical Codes*) que são transmitidos no comprimento de onda destinado para controle. As informações transmitidas nos demais comprimentos de onda não empregam multiplexação OCDM. A seguir ilustram-se algumas características de funcionamento das redes OBS com comutação eletrônica dos pacotes de controle e apresentam-se alguns detalhes dos códigos OOC utilizados, bem como se discute as principais características da arquitetura rede proposta neste trabalho.

A. Redes Comutadas por Rajadas (OBS)

Neste tipo de rede os dados são coletados nos nós de borda ou de ingresso da rede e agrupados em rajadas de acordo com características como destino, classe de serviço CoS (*Class of Service*) e qualidade de serviço QoS (*Quality of Service*) dependendo da arquitetura da rede [6]. Estes nós OBS são responsáveis por estabelecer os mecanismos de conexão que consistem em sinalização, roteamento e alocação de comprimento de onda [4]. A sinalização é utilizada para estabelecer e desconectar as *lighpaths* reservadas. O roteamento é empregado para definir a trajetória que a rajada terá ao longo da rede. A alocação de comprimento de onda determina o comprimento de onda que será utilizado para a transmissão da rajada. Uma forma de sinalização distribuída que apresenta um bom desempenho é a sinalização tipo JET (*Just Enough Time*) [4][6]. Neste tipo de sinalização existe a transmissão do pacote de controle pelo nó OBS de ingresso na rede, antes da transmissão da informação. O intervalo de tempo entre a transmissão do pacote de controle e da informação é denominada de *offset*. A Fig. 1(a) ilustra este processo de reserva de recursos da rede em função do tempo. O pacote de controle possui informações sobre a rajada e é processado no nó de ingresso e nos demais nós da rede.

B. Códigos Ópticos Ortogonais (OOC)

Em geral, os esquemas de codificação OCDM são

classificados em coerentes e não coerentes, dependendo do grau de coerência da fonte de luz empregada [8][9]. Porém, a principal diferença entre estes sistemas é que nos sistemas não coerentes empregam-se códigos ópticos unipolares que são obtidos por modulação em intensidade, já nos sistemas coerentes empregam-se códigos ópticos bipolares que são obtidos por modulação por mudança de fase. Assim, os códigos unipolares apresentam uma pseudo-ortogonalidade e possuem uma relação sinal/ruído de interferência SIR (*signal-to-interference noise ratio*) menor que os códigos bipolares empregados em sistemas coerentes. Esta característica fornece um ganho muito alto de processamento aos sistemas coerentes, porém as dificuldades de implementação ainda dificultam sua utilização [7]. Diversas formas de códigos incoerentes vêm sendo estudadas e empregadas, como códigos ópticos ortogonais OOC, códigos primos, seqüência M, entre outros [8]. Os códigos OOC são largamente empregados em função de seus valores de auto-correlação e correlação-cruzada [7]. Neste tipo de codificação os bits transmitidos são modulados por OOC no domínio do tempo, assim para cada bit "1" que é transmitido um código OOC é enviado e quando o bit "0" é transmitido nenhum código é enviado ou envia-se a forma complementar do código OOC. Assim, cada bit é dividido em n períodos de tempo denominados *chips* e uma seqüência de chips forma uma assinatura denominada *codeword*, desta forma todos os bits "1" a serem transmitidos são codificados no formato da assinatura e os bits "0" não são transmitidos. O sinal codificado é transmitido e o *crossstalk* entre os outros códigos ocorre principalmente pela interferência de acesso múltiplo MAI (*Multiple-Access Interference*) [8]. Os códigos OOCs utilizados neste trabalho podem ser definidos pelo seguinte conjunto de parâmetros ($L, w, \lambda_a, \lambda_c$), onde L ilustra o comprimento do código, ou seja, o número total de *chips*, w representa o peso do código que é dado pelo número de chips com bit "1" do código e λ_a, λ_c são respectivamente as restrições de auto-correlação e correlação-cruzada. Estas restrições são definidas abaixo.

$$\sum_{l=0}^{L-1} x_l x_{l+\tau} = \begin{cases} w, & \text{para } \tau = 0 \\ \leq \lambda_a, & \text{para } 1 \leq \tau \leq L-1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\sum_{l=0}^{L-1} x_l y_{l+\tau} \leq \lambda_c, \quad \text{para } 0 \leq \tau \leq L-1 \quad (2)$$

onde τ é o atraso entre as seqüências x_l e $y_l \in \{1,0\}$. Idealmente seria preferível empregar códigos ortogonais, ou seja, ($\lambda_a = \lambda_c = 0$), entretanto estas correlações não podem ser obtidos em sistemas ópticos por serem sistemas não negativos. Esta característica ocorre pelo fato da utilização da detecção de intensidade dos sistemas ópticos e não da amplitude como nos sistemas CDMA (*Code Division Multiple Access*) utilizados em aplicações *wireless* [7].

C. Redes (OBS) Utilizando Códigos Ópticos Ortogonais (OOC)

Na Fig 1 ilustra-se o processo de reserva de recursos em função do tempo para redes OBS que utilizam o protocolo JET. A Fig. 1(a) representa o processo onde os labels são processados eletronicamente e na Fig. 1 (b) ilustra-se a situação onde os labels são processados no domínio óptico utilizando códigos OOC. Observe que um dos principais resultados obtidos consiste na diminuição do tempo de processamento em cada nó da rede.

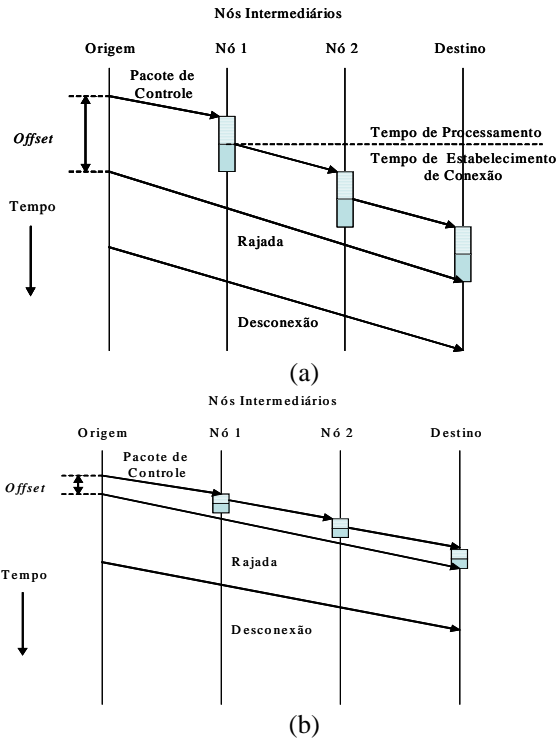


Fig. 1. Esquema de reserva de recursos e transmissão da rajada ao longo do tempo. (a) Processamento Eletrônico. (b) Processamento Óptico.

A Fig. 2 ilustra a arquitetura do comutador óptico utilizado nos nós da rede OBS. O processador óptico realiza a correlação óptica dos labels que chegam até o nó óptico e desta forma geram sinais de controle para o comutador óptico. Os sinais de controle realizam a reserva dos recursos da rede pelo tempo necessário para a transmissão da rajada, ou seja, reservam a posição de comutação e o enlace WDM solicitados pelo roteamento da rede. A Fig. 3 ilustra o processamento óptico dos labels que ocorre da seguinte forma. Os labels enviados no comprimento de onda de controle chegam no decodificador de códigos OOC onde é realizada a correlação dos códigos ópticos por meio de decodificadores de códigos ópticos.

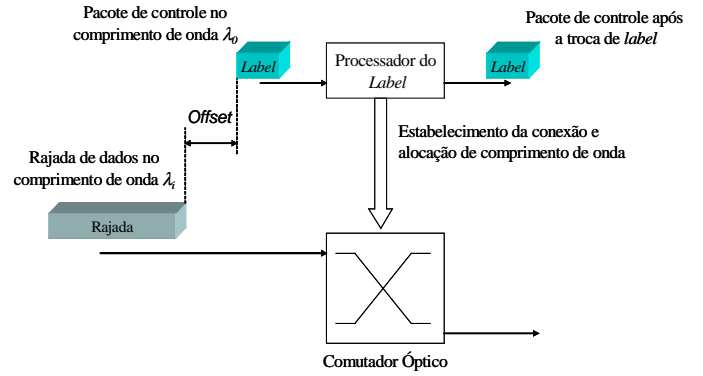


Fig. 2. Comutador óptico utilizado no nó OBS.

Outra função do processador óptico é a troca de labels se necessário. A Fig. 3 mostra o processo de leitura troca de labels baseado em códigos ópticos OOC.

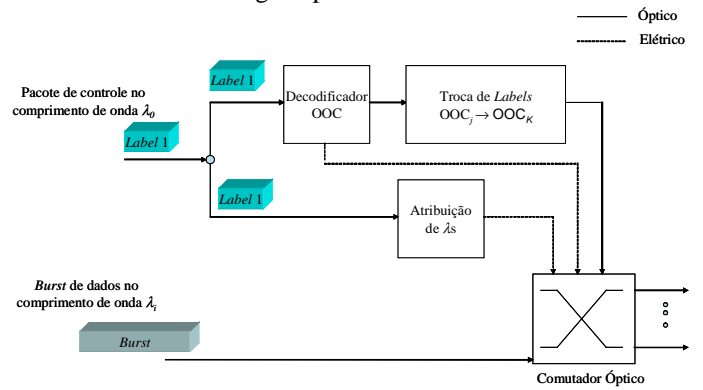


Fig. 3. Arquitetura interna de leitura e troca de labels.

Neste processo será extraído o sinal que apresentar a maior correlação com o decodificador e parte da potência do código será convertida em sinal elétrico por meio de conversão eletro-óptica e o restante do código será transmitido para o conversor óptico de códigos ópticos. Neste trabalho utilizam-se os conversores ópticos de códigos ópticos propostos em [10][14]. Esta conversão é realizada no domínio óptico e a velocidade de processamento é limitada somente pelo tempo de propagação no correlator óptico. A tecnologia fotônica atual proporciona uma taxa de processamento de $11,6 \times 10^9$ labels por segundo [5] contra $12,5 \times 10^6$ dos roteadores eletrônicos [11].

III. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Muitos métodos tem sido propostos para realizar o modelamento matemático de redes OBS, incluindo métodos analíticos e simulações [12][6]. Neste trabalho o nó OBS da arquitetura de rede proposta será analisado utilizando as aproximações analíticas comumente empregada na literatura [12][6]. Nesta análise serão consideradas duas arquiteturas de redes OBS, uma arquitetura consiste de uma rede OBS tradicional utilizando processamento eletrônico dos labels e a outra arquitetura emprega o processamento óptico dos labels proposto neste trabalho. Além disso, serão estudadas duas configurações distintas de nós OBS de borda ou ingresso na rede, na primeira configuração considera-se o perfil de

requisições do tipo Poisson sem *buffers* no nó OBS. Em função destas considerações as interfaces do comutador OBS de borda podem ser modeladas como um número finito de comprimentos de onda sem a formação de filas, ou seja, sem bufferização. Desta forma, as rajadas que não encontrarem comprimento de onda disponível serão bloqueados. Neste caso, a probabilidade de bloqueio das rajadas destinadas a cada interface do comutador OBS pode ser obtida por meio da fórmula de Erlang-B. Na segunda configuração considera-se o perfil de requisições do tipo Poisson também, porém são utilizados *buffers* eletrônicos para armazenar as rajadas que não encontrarem comprimentos de onda disponíveis. Neste caso, a probabilidade de bloqueio das rajadas destinadas a cada interface do nó OBS de borda pode ser obtida por meio da fórmula de Engeset e as interfaces de saída podem ser modeladas como um processo de filas $M/M/m/K$ [12], onde m representa os comprimentos de onda e $K - m$ representa a capacidade de cada *buffer*. Neste estudo será considerado um nó OBS que suporta $m+1$ comprimentos de onda, onde m comprimentos de onda são utilizados para transmissão de dados e um comprimento de onda é empregado para sinalização.

Nas implementações de redes OBS, independente da forma de processamento dos *labels*, ocorre uma ou mais das seguintes etapas [13]:

T_{OXC} - O T_{OXC} representa o tempo necessário para a configuração da conexão entre a entrada e a saída do comutador óptico para estabelecer o caminho óptico desejado.

T_{Setup} - O T_{Setup} representa a quantidade de tempo necessário para realizar o processo de reserva dos recursos da rede e está relacionado com o processamento eletrônico ou óptico e a propagação da luz ao longo das fibras ópticas.

T_{Offset} - O T_{Offset} é dado pela diferença de tempo entre o envio dos pacotes de controle ou *labels* e as rajadas de dados.

Assim, o cálculo do T_{Offset} pode ser obtido por meio de:

$$T_{Offset} = NT_{Setup} + T_{OXC} \quad (3)$$

onde N é o número de nós da rede.

Agora será analisado o esquema de reserva de comprimentos empregando o JET. Neste esquema devem-se considerar dois pontos importantes, um destes pontos é a possibilidade de uma rajada se sobrepor sobre o tempo de *offset* de uma ou mais rajadas. O outro ponto diz respeito a disciplina empregada nos nós OBS que não prevem prioridade para a primeira rajada que chega ao nó. Desta forma estas características podem ser ilustradas na Fig. 4, onde se observa duas rajadas partindo sucessivamente num determinado comprimento de onda pré-definido.

Nesta figura verifica-se que o primeiro bit da rajada_{*i*} chega ao nó OBS no tempo t_1 e o último bit da mesma rajada deixa o comutador no instante t_2 . Assim, se for considerando que o comutador óptico necessita de um intervalo de tempo T_{OXC} para realizar a configuração da conexão entre outra porta de entrada e a esta porta de saída para o comprimento de onda determinado verifica-se que o comutador óptico não pode acomodar uma nova rajada neste mesmo comprimento de onda até o tempo t_3 que é dado por $t_3 = t_2 + T_{OXC}$.

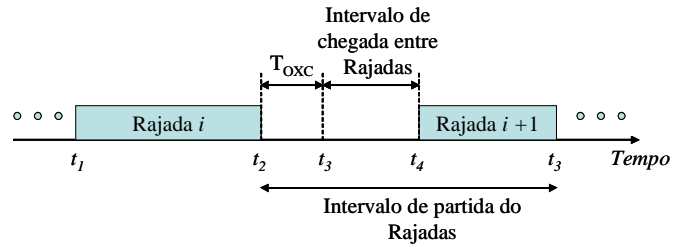


Fig. 4. Diagrama de tempo do processo de reserva empregando JET.

Desta forma, qualquer pacote de controle ou *label* que chegar ao nó óptico no intervalo entre $t_2 = t_3$ requerendo o mesmo comprimento de onda de saída será descartado. Portanto, a ocupação efetiva do canal será dada pelo comprimento da rajada adicionada ao tempo de comutação T_{OXC} , ou seja, com um comprimento médio dado por $1/\mu + T_{OXC}$. Baseado nas observações acima, a intensidade de tráfego é dada por:

$$\rho = \lambda \left(\frac{1}{\mu} + T_{OXC} \right) \quad (4)$$

Até o presente momento foi desenvolvida uma metodologia para a análise de desempenho do nó OBS com processamento óptico considerando o esquema de reserva de recursos e o tempo de processamento dos *labels*. Para verificar a viabilidade desta configuração de processamento de *labels* deve-se analisar o mecanismo de troca de *labels*. O conversor de *labels* óptico considerado nesta arquitetura de rede foi desenvolvido em [14] e seu mecanismo consiste de uma chave lógica XOR baseada na configuração TOAD (*TeraHertz Optical Asymmetric Demultiplexer*). Este tipo de conversor de *labels* apresenta erro de conversão de *labels* quando o MAI excede o limiar do dispositivo de chaveamento no estágio de regeneração do *label* que foi convertido. Assim, os parâmetros do *label*, que é um código OOC, como comprimento e peso influenciam na taxa de erro de conversão de *labels*. Esta análise pode ser realizada considerando as limitações em função do MAI definidas em [10], assim a taxa de erro de conversão de *labels* é dada por:

$$P_{ERROR} = \frac{1}{2} \left[\int_{Th}^{\infty} P_Z(Z|d^{(1)}=0) dZ + \int_{-\infty}^{-Th} P_Z(Z|d^{(1)}=1) dZ \right] \quad (5)$$

O valor de limiar (*threshold*) otimizado é obtido de forma que $P_0(Th) = P_1(Th)$, onde a função densidade de probabilidade (PDF) de Z é definida por:

$$P_Z(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_Z^2}} \exp\left(\frac{-(Z - \mu_Z)^2}{2\sigma_Z^2} \right) \quad (6)$$

Para evitar cálculos exaustivos de todas as correlações cruzadas do grupo de *labels* utiliza-se o limite inferior que

corresponde ao caso assíncrono de *chip*. Esta aproximação corresponde ao pior caso.

$$P_{inf} = \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left(\frac{Th - (C-1) \frac{w^2}{2L}}{\sqrt{2 \left[\sigma_T^2 + (C-1) \frac{w^2}{2L} \left(\frac{1}{3} - \frac{w^2}{4L} \right) \right]}} \right) + \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left(\frac{w + (C-1) \frac{w^2}{2L} - Th}{\sqrt{2 \left[\sigma_T^2 + (C-1) \frac{w^2}{2L} \left(\frac{1}{3} - \frac{w^2}{4L} \right) \right]}} \right) \quad (7)$$

onde σ_T^2 representa o ruído quântico e adotou-se 0,01 [14] e C representa a quantidade de *labels* entrando simultaneamente no conversor de *labels*.

IV. RESULTADOS

A análise de resultados tem início com o estudo da probabilidade de bloqueio em função do número de comprimentos de onda para duas configurações distintas de processamento de *labels*. Uma configuração utiliza o processamento eletrônico e a outra configuração utiliza o processamento óptico proposto neste trabalho. Além disso, também se considera para ambos os casos o emprego de nós OBS de ingresso com *buffers* e sem *buffers*. Para o caso de nós OBS com *buffers* foi considerada uma diferença $K - m$ de 20 %. Na obtenção dos resultados foi considerado que as rajadas transmitidas possuem um tamanho médio ($1/\mu$) de 50 ms. Nestas simulações empregou-se um T_{OXC} de 10 ms para o processamento eletrônico [13] e um T_{OXC} de 1 ms para o processamento óptico dos *labels* [14]. A Fig. 5 ilustra a probabilidade de bloqueio em função do número de comprimentos de onda para uma intensidade de tráfego de $\lambda/\mu = 16$.

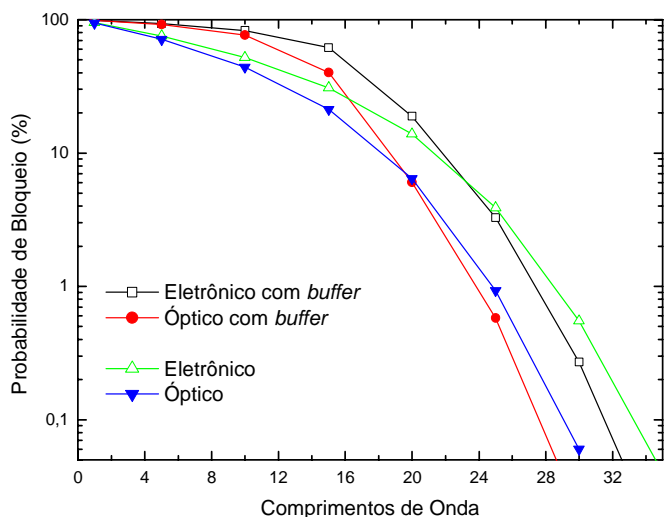


Fig. 5. Probabilidade de bloqueio em função do número de comprimentos de onda.

Observe na Fig. 5 que a probabilidade de bloqueio do nó OBS que emprega o processamento óptico é menor que a probabilidade de bloqueio do nó OBS que emprega o processamento eletrônico para a mesma quantidade de comprimentos de onda disponíveis. Assim, verifica-se que

ocorre uma liberação de utilização de comprimentos de onda utilizando o processamento óptico proposto neste trabalho. Por exemplo, para manter a probabilidade de bloqueio em 0,1% seriam necessários aproximadamente 34 comprimentos de onda para o processamento eletrônico e 29 comprimentos de onda para o processamento óptico, ou seja, uma economia de 14,7 %, considerando os nós de ingresso na rede sem *buffers*. Neste trabalho a métrica da economia de comprimentos de onda para uma mesma probabilidade de bloqueio é dada por:

$$Economia(\%) = \frac{\lambda_{Maior} - \lambda_{Menor}}{\lambda_{Maior}} \times 100 \quad (8)$$

onde λ_{Maior} e λ_{Menor} representam o maior e o menor número de comprimentos de onda utilizados. Por outro lado, considerando os nós de ingresso na rede com *buffers* seriam necessários aproximadamente 31 comprimentos de onda para o processamento eletrônico e 27 comprimentos de onda para o processamento óptico, ou seja, uma economia de 13,9 %. Também nesta figura, verifica-se que a probabilidade de bloqueio da rede empregando nós OBS com *buffers* é menor do que sem *buffers*, porém a diferença não é muito alta. Empregando a métrica de economia de comprimentos de onda verifica-se que ocorre uma economia de 6,1 %. Para verificar o impacto da utilização de nós OBS com processamento óptico em redes com uma intensidade de tráfego maior a Fig. 6 ilustra a probabilidade de bloqueio em função do número de comprimentos de onda para uma intensidade de tráfego de $\lambda/\mu = 32$.

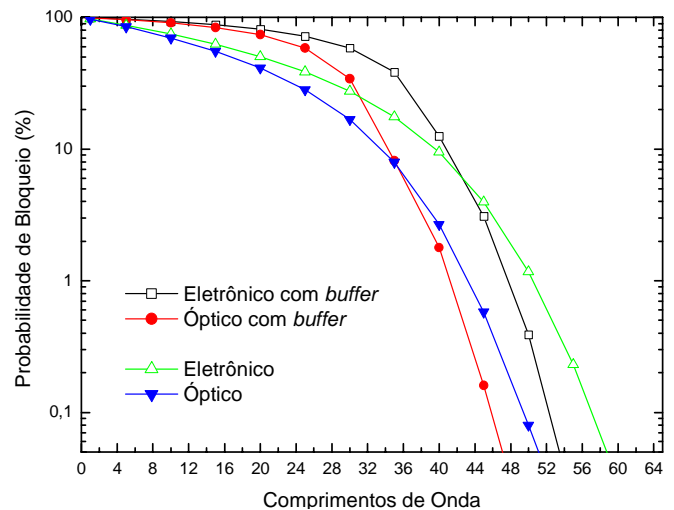


Fig. 6. Probabilidade de bloqueio em função do número de comprimentos de onda.

Observe na Fig. 6 que a probabilidade de bloqueio dos nós OBS que utilizam o processamento óptico também foi menor do que os nós OBS que utilizam o processamento eletrônico. Por exemplo, para manter a probabilidade de bloqueio em 0,1% seriam necessários aproximadamente 57 comprimentos de onda para o processamento eletrônico e 49 comprimentos de onda para o processamento óptico, ou seja, uma economia de 14,0 %, considerando os nós de ingresso na rede sem *buffers*. Por outro lado, considerando os nós de ingresso na rede com *buffers* seriam necessários aproximadamente 52

comprimentos de onda para o processamento eletrônico e 46 comprimentos de onda para o processamento óptico, ou seja, uma economia de 11,5 %. Por meio desta análise verifica-se que o processamento óptico dos *labels* pode gerar uma liberação média de 14 % de comprimentos de onda para serem utilizados, isto gera um aumento da utilização da rede. Apesar dos nós OBS com *buffers*, tanto com processamento óptico como eletrônico, apresentarem um desempenho melhor do que os nós sem *buffers*, é preciso realizar um estudo dos efeitos de QoS em função do armazenamento nos *buffers* das informações transmitidas.

A taxa de erro de troca de *labels* pode limitar o desempenho da rede OBS com processamento óptico. Assim, será analisada a taxa de erro de troca de *labels* em função do número de *labels* que chegam simultaneamente no nó OBS. A Fig. 7 ilustra este estudo para *labels* com peso 4, 6 e 8. O comprimento do código óptico é calculado em cada caso de forma a manter a cardinalidade [8], assim quanto maior o número de *labels* maior deverá ser o comprimento dos códigos OOC.

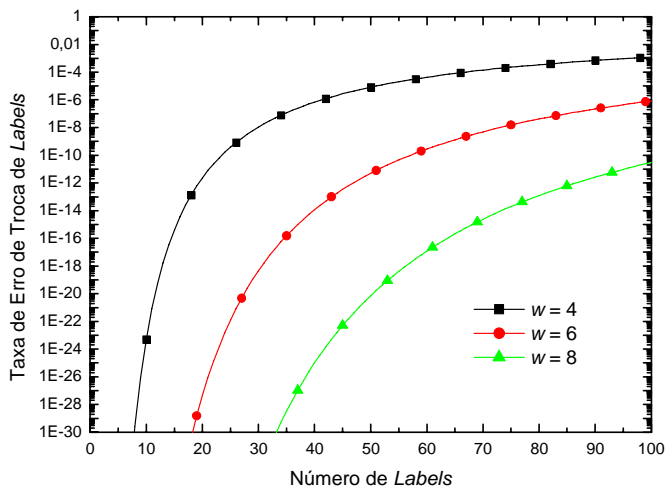


Fig. 7. Taxa de erro de troca de *labels* em função do número de *labels*.

Observe na Fig. 7 que a taxa de erro de troca de *labels* é pequena mesmo com o aumento do número de *labels*, assim estabelecendo uma taxa de erro de troca de *label* máxima admissível de 10^{-12} o número de *labels* disponíveis seria 20, 46 e 85 para *labels* com peso 4, 6 e 8, respectivamente. Desta forma, se verifica que os *labels* com maior peso apresentam uma menor taxa de erro. Este comportamento é explicado pelo maior valor de auto-correlação apresentado por *labels* com maior peso. Em função destes resultados verifica-se que o desempenho do nó OBS não será limitado pelo dispositivo óptico de troca de *labels*.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposta e analisada uma arquitetura de rede óptica de comutação de rajadas OBS que utiliza o processamento de *labels* compostos por códigos ópticos ortogonais (OOC). Esta arquitetura apresentou um desempenho superior quando comparada à arquitetura que utiliza processamento puramente eletrônico dos *labels*. Nas

análises realizadas se considerou a possibilidade de utilizar *buffers* eletrônicos nos nós OBS de ingresso na rede. Esta opção apresentou um melhor desempenho comparado com nós OBS sem *buffers*, porém uma análise de QoS deve ser realizada para verificar o tempo de atraso máximo que ocorre em função do armazenamento das informações nos *buffers*. Outra característica analisada foi a taxa de erro de troca de *labels*, onde se verificou que a utilização de conversão óptica de códigos ópticos OOC não compromete o desempenho da rede. Em função dos resultados apresentados pela arquitetura OBS proposta neste trabalho verifica-se a sua adequação para utilizações em redes OBS onde se necessita de um desempenho superior ao das redes OBS utilizadas atualmente.

REFERÊNCIAS

- [1] Daniel J. Blumenthal, "All-Optical Label Swapping Networks and Technologies", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 18, n. 12, pp. 2058 – 2075, dezembro de 2000
- [2] C. S. Ram Murthy and M. Gurusamy, *WDM Optical Networks: Concepts, Design, and Algorithms*, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002.
- [3] S. YAO and B. Mukherjee, "Advance in photonic packet switching: An Overview", *IEEE Communications Magazine*, pp. 84 – 93, fevereiro de 2000.
- [4] T. Battestilli and H. Perros, "An Introduction to Optical Burst Switching", *IEEE Optical Communications*, pp. 510 – 515, agosto de 2003.
- [5] K. Kitayama and M. Murata, "Versatile Optical Code-Based MPLS for Circuit, Burst and Packet Switchings", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 21, n. 11, pp. 2573 – 2764, novembro de 2003.
- [6] W. Vokkarane and J. Jue, "Prioritized Burst Segmentation and Composite Burst-Assembly Techniques for QoS in Optical Burst-Switched Networks", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, vol. 21, n. 7, pp. 2062 – 2071, setembro de 2003.
- [7] E. Mutafulungwa and S. Halme, "Analysis of The Blocking Performance of Híbrido OCDM-WDM Transport Networks", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 34, n. 1, pp. 61 – 68, julho de 2002.
- [8] K. Kitayama, H. Sotobayashi and N. Wada, "Optical Code Division Multiplexing (OCDM) and its applications to Photonic Networks", *IEICE Transactions Fundamentals*, Vol. E82 A, n. 12, pp. 2616 – 2626, dezembro de 1999.
- [9] K Kitayama, "Code Division Multiplexing Lightwave Networks Based upon Optical Code Conversion", *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, Vol. 16, n. 7, pp. 1309 – 1319, setembro de 1998.
- [10] Y. G. Wen, Y. Zhang and L. K. Chen, "On Architecture and Limitation of Optical Multiprotocol Label Switching (MPLS) Networks Using Optical-Orthogonal-Code (OOC)/Wavelength Label", *Optical Fiber Technology*, vol. 8, pp. 43 – 70, 2002.
- [11] M. Murata and K. Kitayama, "A Perspective on Photonic Multiprotocol Label Switching", *IEEE Network*, Vol. 15, no. 4, pp. 56 – 63, julho-agosto 2001.
- [12] M. Yoo, C. Qiao and S. Dixit, "Qos Performance of Optical Burst Switching in IP-Over-WDM Networks", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, vol. 18, n. 10, pp. 2062 – 2071, outubro de 2000.
- [13] J. Teng and G. Rouskas, "A Comparison of the JIT, JET and Horizon Wavelength Reservation Schemes on A Single OBS Node", *Proceedings of The First International Workshop on Optical Burst Switching (WOBS)*, Dallas, USA, 13 – 18 de outubro de 2003.
- [14] Y. G. Wen, L. K. Chen, K. P. Ho and F. Tong, "All-Optical Code Converter Scheme for OCDM Routing Networks", *ECOC'2000*, paper P4.5, pp. 1088 – 1090, 2000.