

# Impacto da comutação OBS na probabilidade de bloqueio OCS em redes híbridas OCS/OBS

Igo Moura<sup>1</sup>, Felipe Mazullo<sup>1</sup>, José Maranhão<sup>2</sup>, André Soares<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Piauí – UFPI,  
Distributed Systems and Network Computers Laboratory - DiSNeL

<sup>2</sup> Universidade de Campinas – Unicamp

igo.moura@ufpi.edu.br, andre.soares@ufpi.edu.br

**Resumo.** *O problema do bloqueio por informação desatualizada em redes ópticas tem sido estudado basicamente no contexto das redes OCS. Este artigo apresenta um estudo de avaliação de desempenho considerando o problema da probabilidade de bloqueio por informação desatualizada nas redes ópticas híbridas OCS/OBS. Através de estudos de simulação de redes híbridas OCS/OBS, identificou-se que a comutação OBS aumenta de forma significativa a probabilidade de bloqueio por informação desatualizada na comutação OCS. Para mitigar esse problema é proposta a estratégia Resend Path Message (RPM). Os estudos de desempenho da estratégia RPM evidenciam uma redução significativa na probabilidade de bloqueio por informação desatualizada.*

**Abstract.** *The blocking probability in all-optical networks caused by imprecise Network State Information has been studied basically in the OCS paradigm. This paper presents a performance evaluate study that considers the problem of imprecise network state information in hybrid optical networks (OCS/OBS). With simulation studies of hybrid optical networks (OCS/OBS), we identified that the OBS traffic increases significantly the problem of imprecise network state information in the OCS paradigm. The Resend Path Message strategy (RPM) is proposed to mitigate this problem. In our simulations studies the RPM strategy presented a good reduction in the blocking probability caused by imprecise Network State Information.*

## 1. Introdução

O crescimento do número de usuários da Internet e o surgimento de aplicações mais sofisticadas tem provocado um aumento da demanda de banda passante nas redes de transporte [Szymanski et al. 2007].

Diante deste cenário, a tecnologia de redes ópticas é apontada como a principal candidata capaz de prover grande largura de banda com garantias de *Quality of Service* (QoS). Em uma rede óptica transparente o sinal óptico é transmitido ao longo de nós intermediários sem a realização de conversão para o domínio eletrônico. Desta forma, o custo associado de uma comutação de alta velocidade em meio eletrônico é eliminado. As redes ópticas transparentes tipicamente utilizam tecnologia *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) que realiza multiplexação por divisão de comprimentos de onda

---

\*Este trabalho foi parcialmente custeado pelo CNPq e FAPEPI (Edital FAPEPI/MCT/CNPq/CT-INFRA N° 10/2009)

[Ramaswami and Sivarajan 2002]. Dentro de uma única fibra são estabelecidos, simultaneamente, múltiplos canais ópticos que operam em diferentes comprimentos de onda.

Para que ocorra a transferência de dados em uma rede óptica transparente é necessário resolver o problema *Routing and Wavelength Assignment* - RWA [Durães et al. 2010], [Zang et al. 2000]. Esse problema consiste na escolha de uma rota e de um comprimento de onda (*wavelength*) para o envio dos dados através da rede. A solução deste problema visa aumentar a probabilidade de sucesso na transferência dos dados.

Mais recentemente, a literatura vem apontando o uso de redes ópticas com comutação híbrida (*Optical Circuit Switching* - OCS / *Optical Burst Switching* - OBS) como uma alternativa para atender um cenário heterogêneo em termos dos tamanhos dos fluxos de dados submetidos as redes ópticas [Khodashenas et al. 2011], [De Leenheer et al. 2008], [Menon et al. 2009], [Perelló and et al. 2010].

As redes híbridas OCS/OBS têm como objetivo utilizar o paradigma de comutação mais apropriado em função das características de tráfego.

Este artigo apresenta o agravamento do bloqueio por informação desatualizada na comutação OCS em redes híbridas OCS/OBS. Nos estudos realizados neste artigo, assume-se que o plano de controle da rede híbrida (OCS/OBS) é uma composição dos planos de controle da rede OCS e da rede OBS. Para mitigar esse problema é proposta a estratégia *Resend Path Message* (RPM).

As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma. As Seções 2 e 3 apresentam, respectivamente, os paradigmas de comutação OBS e OCS e o funcionamento dos seus planos de controle. A Seção 4 lista os trabalhos relacionados. O agravamento do problema do bloqueio por informação desatualizada da comutação OCS em redes híbridas OCS/OBS e a estratégia RPM são apresentados na Seção 5. Por fim, as conclusões são apresentadas na Seção 6.

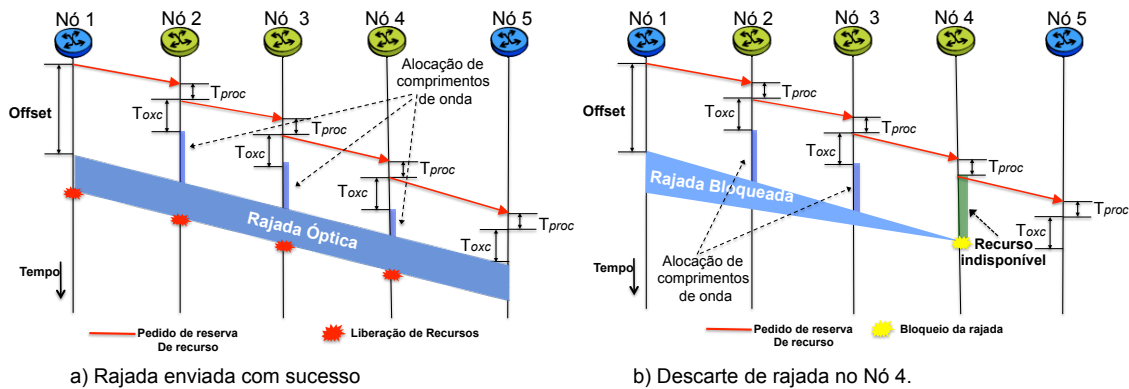
## 2. Comutação OBS

A tecnologia de comutação OBS trabalha com o envio de rajadas ópticas, uma espécie de *container* que agrupa pacotes de dados a serem encaminhados para um mesmo nó óptico de destino. Na comutação OBS um pacote de controle é enviado antes da rajada óptica na tentativa de reservar recursos e configurar as matrizes de comutação ao longo da rota. Tipicamente, a rajada óptica é enviada sem a confirmação da reserva dos recursos. Isto significa que a rajada óptica sempre será enviada sem a garantia do sucesso no seu encaminhamento [Qiao and Yoo 1999]. Caso a mensagem de controle não consiga reservar os recursos necessários, a rajada óptica será descartada [Maranhão et al. 2007].

A comutação OBS pode ser uma alternativa para prover uma infraestrutura de transporte flexível para o encaminhamento de pequenos volumes de tráfego quando os requisitos de QoS são menos rigorosos.

A Figura 1a representa o processo de sinalização OBS através do protocolo *Just In Time* (JIT) [Wei and Ray I. McFarland 2000] para o envio de uma rajada óptica do Nó 1 para o Nó 5.

Inicialmente chega um fluxo de dados no Nó 1 que deve ser encaminhado para o Nó 5 através da rede óptica. No nó de borda da rede OBS (Nó 1) é feita a montagem de uma rajada óptica. Em seguida o nó de origem envia uma mensagem de controle (seta



**Figura 1: Plano de Controle Distribuído OBS.**

vermelha) em direção ao nó de destino na tentativa de alocar recursos para o encaminhamento da rajada. Essa mensagem é processada em cada nó intermediário com o objetivo de configurar as matrizes de comutação. O tempo para o processamento da mensagem é  $T_{proc}$ . Um tempo  $T_{oxc}$  é necessário para a configuração das matrizes de comutação. Logo após a passagem da rajada em um enlace, os seus recursos são instantaneamente liberados.

No exemplo da Figura 1b, o Nó 4 ao processar a mensagem de controle identifica que seu enlace (4,5) não possui recursos disponíveis para encaminhar a rajada. Isso provoca o descarte da rajada no Nó 4.

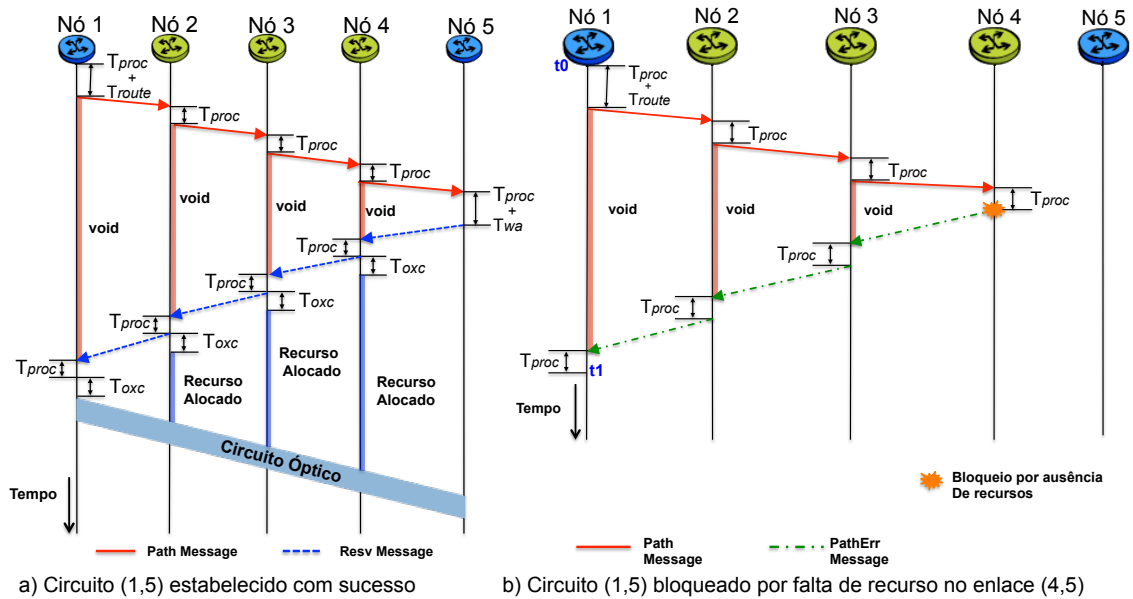
Por trabalhar com rajadas, que possuem um tamanho limite, é possível que um dado fluxo de dados tenha um tamanho maior que o tamanho máximo da rajada. Quando isso ocorre o fluxo de dados é fragmentado e enviado através de diferentes rajadas que são enviadas separadamente. Portanto, haverá uma mensagem de controle para cada rajada, o que causa um *overhead* de sinalização.

### 3. Comutação OCS

A comutação de circuitos ópticos OCS é caracterizada pela reserva de recursos (comprimentos de onda) e pela configuração das matrizes de comutação, dos nós envolvidos, na fase de estabelecimento do circuito óptico (*lightpath*). Apesar da baixa eficiência em comunicações de curta duração, a comutação OCS permite a reserva de recursos com garantia de QoS para comunicações no circuito óptico [Soares et al. 2011].

A Figura 2 ilustra o processo de sinalização do *Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering* (RSVP-TE) [Giorgetti et al. 2009] para o estabelecimento de um circuito óptico com origem no Nó 1 e destino no Nó 5. O RSVP-TE é o protocolo de sinalização utilizado no plano de controle distribuído das redes de circuitos ópticos com provisionamento dinâmico.

Inicialmente, chega no nó de origem (Nó 1) uma requisição para o estabelecimento de um circuito óptico, visando transferir um fluxo de dados do Nó 1 para o Nó 5. Na sequência, o nó de origem precisa identificar a rota que será utilizada (e.g. a rota Nó 1, Nó 2, Nó 3, Nó 4 e Nó 5). Esse processamento requer um tempo  $T_{route}$ . Assume-se que a rede utiliza roteamento fixo e que cada nó possui uma lista que indica a rota para cada um dos possíveis nós de destinos. Depois, o nó de origem envia uma mensagem de sinalização em direção aos próximos nós da rota. Cada nó da rota passa a mensagem de



**Figura 2: Plano de Controle Distribuído OCS.**

sinalização a frente informando quais os comprimentos de onda disponíveis no seu enlace. Essa mensagem é chamada *Path Message* e é ilustrada na Fig. 2 pela seta vermelha.

De maneira geral, *Path Message* vai acumular quais os comprimentos de onda disponíveis de cada enlace da rota ao viajar em direção ao nó de destino (Nó 5). Por exemplo, o Nó 1 informa a disponibilidade do enlace (1,2), o Nó 3 informa a disponibilidade do enlace (2,3) e assim por diante.  $T_{proc}$  é o tempo gasto com essa verificação da disponibilidade dos comprimentos de onda mais o tempo para processamento. De maneira geral, depois do tempo  $T_{proc}$  a mensagem precisa ser transmitida e propagada até o próximo nó da rota.

O nó de destino (Nó 5) também processa a mensagem *Path Message*. Ele analisa quais são os comprimentos de onda livres em cada enlace da rota. Em seguida, o nó de destino executa o algoritmo de alocação de comprimento de onda gastando um tempo  $T_{wa}$ .

Feito isso, o nó de destino envia uma mensagem de sinalização, no sentido inverso, para alocar os comprimentos de onda ao longo de todos os enlaces que compõem a rota. Essa mensagem é chamada de *Resv Message* (seta azul). A mensagem *Resv Message* também necessita de um tempo  $T_{proc}$  para processamento. Por exemplo, após o processamento de *Resv Message*, o Nó 4 encaminha a mensagem para o nó anterior (Nó 3) e em seguida configura a sua matriz de comutação. Esse processo é feito até a mensagem *Resv Message* chegar ao nó de origem. Somente após a sinalização de ida e volta (*Path e Resv Messages*) é que o circuito óptico está estabelecido e pronto para transportar o fluxo de dados que chega a rede óptica através do seu nó de origem. Esse é o processo de sinalização quando o circuito é estabelecido com sucesso (Fig. 2a).

A Figura 2b ilustra um cenário onde o enlace (4,5) não possui comprimento de onda disponível para o estabelecimento do circuito óptico. Neste caso, o Nó 4 não encaminha *Path Message* para Nó 5. Em função da ausência de recursos no enlace (4,5), o Nó 4 deve sinalizar o bloqueio do circuito por falta de recurso. Portanto, o Nó 4 envia uma mensagem de bloqueio (seta verde) para o nó de origem (Nó 1) saber que não será

possível atender a requisição de circuito. Essa mensagem é chamada *PathErr Message*.

Vale ressaltar que no paradigma OBS o nó de origem sempre envia a rajada sem ter uma sinalização sobre o sucesso ou não da reserva de recursos (Fig. 1). Diferentemente, no paradigma OCS o envio dos dados ocorre somente depois de uma sinalização positiva das reservas de recursos (Fig. 2).

### 3.1. Bloqueio de circuitos por informação desatualizada da rede

Em um plano de controle distribuído, além do bloqueio de circuitos por falta de recurso disponível, existe também a possibilidade de bloqueios por informação desatualizada da rede. Esse problema ocorre tipicamente na comutação OCS que opera com uma sinalização de ida e volta.

É entre as mensagens de sinalização de ida (para verificação de disponibilidade) e volta (alocação de recursos) que ocorre o problema do bloqueio de circuitos por informações desatualizadas da rede. Note que entre tais sinalizações existe um intervalo de tempo em que os estados dos comprimentos de onda da rede podem mudar. É a mudança de estado entre as mensagens de sinalização de ida e volta que gera o bloqueio de circuitos por informação desatualizada.

A Figura 3a ilustra um exemplo de bloqueio por informação desatualizada da rede na tentativa de estabelecer o circuito (1,5).

Com a chegada de um fluxo de dados no Nó 1 (instante  $t_0$ ) é criada uma requisição de circuito com origem no Nó 1 e destino no Nó 5. Conforme apresentado anteriormente, isso gera uma mensagem de sinalização *Path Message*. Essa mensagem é processada por todos os nós da rota, no momento em que são identificados quais os respectivos comprimentos de onda disponíveis por enlace.

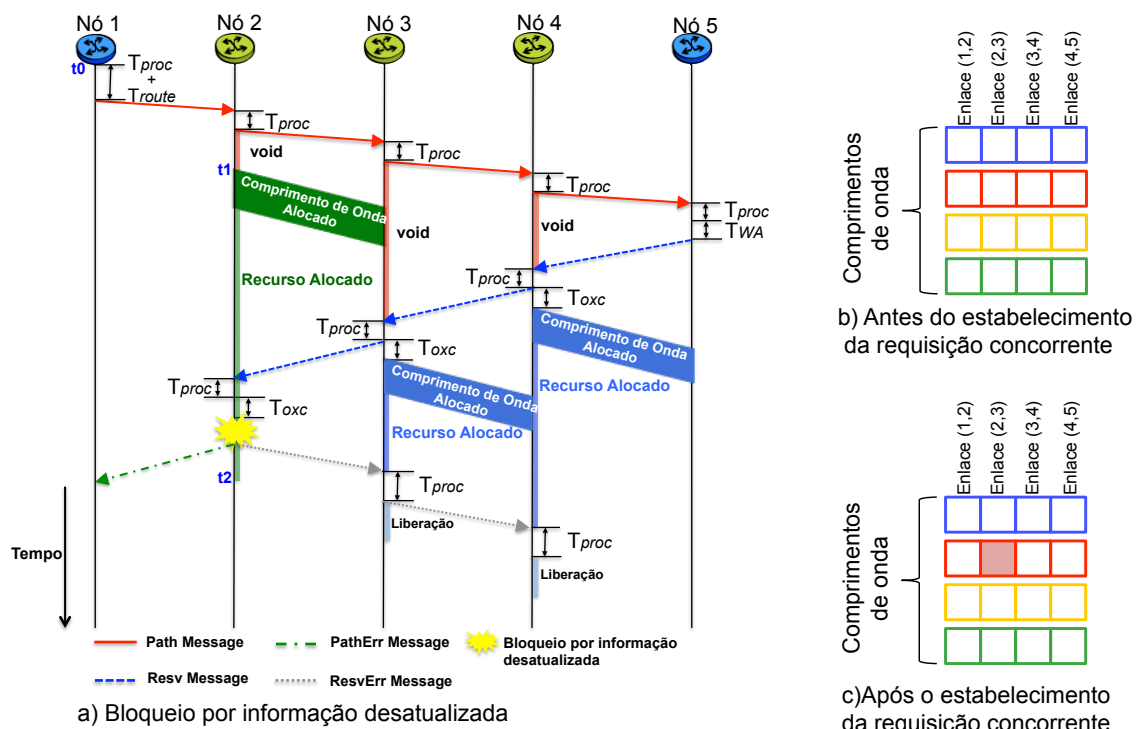


Figura 3: Bloqueio por informação desatualizada.

Considere que em todos os enlaces da rota (Nó 1, Nó 2, Nó 3, Nó 4 e Nó 5) estão disponíveis os comprimentos de onda azul, vermelho, amarelo e verde (Fig. 3b). Após a chegada da mensagem *Path Message* no nó de destino (Nó 5) é feita, por exemplo, a seleção do comprimento de onda vermelho para o estabelecimento do circuito (1,5). Essa escolha é realizada pelo algoritmo de alocação de comprimento de onda [Zang et al. 2000]. Logo após o processamento de *Path Message* no Nó 2, que identifica os comprimentos de onda livres no enlace (2,3) para o estabelecimento do circuito (1,5), uma requisição concorrente ocupa o comprimento de onda vermelho no enlace (2,3).

Em seguida, o nó de destino (Nó 5) inicia a sinalização de volta, enviando *Resv Message*. Quando *Resv Message* chega no Nó 2 para reservar o comprimento de onda vermelho, visando o estabelecimento do circuito (1,5), o comprimento de onda vermelho já foi ocupado por uma requisição concorrente. A Figura 3b ilustra o estado da rede no momento do processamento da sinalização *Path Message* na tentativa de estabelecer a requisição de circuito (1,5). A Figura 3c mostra o estado da rede no momento em que a *Resv Message* chega no Nó 2, ainda no processo de estabelecimento do circuito (1,5). Nesse exemplo a requisição de circuito (1,5) sofre um bloqueio por informação desatualizada da rede.

Após constatar o Bloqueio por informação desatualizada, o Nó 2 envia uma mensagem de sinalização *PathErr Message* para o nó origem informando que o circuito foi bloqueado. Em paralelo, é enviada uma mensagem de sinalização *ResvErr Message* para liberar os comprimentos de ondas já alocados nos enlaces anteriores na tentativa de estabelecer o circuito (1,5). Por exemplo, enlaces (3,4) e (4,5).

#### 4. Trabalhos Relacionados

Vários estudos que consideram redes ópticas com comutação híbrida OCS/OBS tem sido desenvolvidos [Khodashenas et al. 2011], [De Leenheer et al. 2008], [Menon et al. 2009], [Perelló and et al. 2010], [Vu et al. 2005], [Wong and Zukerman 2008], [Wang et al. 2009] [Zalesky 2009].

Em [Zalesky 2009] os autores propõem um modelo analítico para estudar um cenário considerando a formação de fila. Após analisar os paradigmas OCS e OBS quanto à probabilidade de bloqueio, atraso em fila e utilização da rede, os autores concluem que as futuras redes ópticas transparentes devem utilizar abordagens híbridas para alcançarem uma melhor utilização dos recursos da rede.

Em [Gauger et al. 2006] é realizada uma classificação de arquiteturas de redes híbridas baseada no grau de interação e integração entre os paradigmas. Segundos os autores, uma rede híbrida é classificada como integrada quando os dois paradigmas compartilham os recursos e qualquer paradigma pode ser utilizado a cada enlace das rotas da rede. Na arquitetura paralela os dois paradigmas possuem recursos independentes e uma vez estabelecido no nó de borda qual o paradigma a ser empregado, este não pode ser alterado ao longo dos enlaces que compõe a rota.

Em [Khodashenas et al. 2011] os autores destacam a importância do uso de uma rede híbrida OCS/OBS para compor a nova infraestrutura de redes de transporte. Os autores desenvolvem uma nova arquitetura de nó OCS/OBS e analisam com relação ao custo financeiro e a taxa de perda de rajada.

Em [Perelló and et al. 2010] os autores utilizam uma arquitetura paralela, definida em [Gauger et al. 2006], o objetivo do trabalho é investigar uma arquitetura híbrida com

comutação de circuitos e rajadas empregando diferenciação de serviços. De acordo com a característica de tráfego é realizada comutação OCS ou a comutação OBS.

Em [Menon et al. 2009] e [Wang et al. 2009] considera-se uma rede híbrida sem compartilhamento de recursos entre os paradigmas onde os dados são preferencialmente enviados por OCS, caso não haja recursos disponíveis, os dados podem ser enviados por meio de rajadas ópticas.

Em [Wong and Zukerman 2008] os autores estudaram uma rede híbrida com o emprego de uma estratégia de prioridade não preemptiva dada aos circuitos sob rajadas de acordo com regras estabelecidas pelos autores. Além disso, os recursos da rede são compartilhados entre os dois paradigmas.

Já em [Vu et al. 2005] admite-se uma arquitetura onde os paradigmas compartilham os mesmos recursos da rede e é realizada uma comparação de estratégias de preempção e não preempção. Nesse contexto, os autores fornecem um modelo analítico computacionalmente escalável de um nó da rede.

O trabalho em [Giorgetti et al. 2009] propõe as estratégias *Suggested Label (SL) Scheme* e *Suggested Vector (SV) Scheme* para minimizar a probabilidade de bloqueio por informação desatualizada em redes de circuitos ópticos. As estratégias SL e SV utilizam *Path Message* do protocolo RSVP-TE para fornecer ao destino uma sugestão de comprimento de onda a ser preferencialmente reservado. As estratégias SL e SV se mostraram eficazes na redução do bloqueio por informação desatualizada de redes puramente OCS. Entretanto, devido não existência da sinalização *Resv Message* no plano de controle OBS, as estratégias SL e SV não podem ser aplicadas diretamente em um cenário de rede óptica híbrida OCS/OBS.

Em [Perello et al. 2009] os autores propõem estratégias para otimizar o desempenho do paradigma OBS em uma rede com arquitetura híbrida através da redução da probabilidade de bloqueio. Com esse objetivo são apresentadas duas estratégias para disseminação de informação do estado dos recursos. Essas informações são usadas para a tomada de decisões de roteamento na camada OBS, diminuindo a ocorrência de bloqueios.

Segundo a nossa revisão da literatura, os trabalhos [Khodashenas et al. 2011], [Perelló and et al. 2010], [Wong and Zukerman 2008], [Perello et al. 2009] assumem um plano de controle distribuído para redes híbridas OCS/OBS. Já os trabalhos [Menon et al. 2009], [Vu et al. 2005], [Wang et al. 2009] não afirmam explicitamente se utilizam um plano de controle centralizado ou distribuído para redes híbridas OCS/OBS.

Apesar desses trabalhos [Khodashenas et al. 2011], [Perelló and et al. 2010], [Wong and Zukerman 2008], [Perello et al. 2009] contemplarem redes híbridas OCS/OBS com plano de controle distribuído, nenhum deles estuda o problema do bloqueio de circuitos por informação desatualizada. Em uma arquitetura híbrida (OCS/OBS) onde há compartilhamento de recursos entre os dois paradigmas, a freqüente mudança dos estados da rede gerada pelo maior dinamismo do tráfego OBS agrava significativamente o problema do bloqueio por informação desatualizada no paradigma OCS.

A principal contribuição deste trabalho é a identificação do agravamento do problema do bloqueio por informação desatualizada em redes híbridas OCS/OBS com compartilhamento de recursos entre os paradigmas de computação. Além disso, este artigo propõe e avalia o desempenho da estratégia *Resend Path Message*, proposta para mitigar

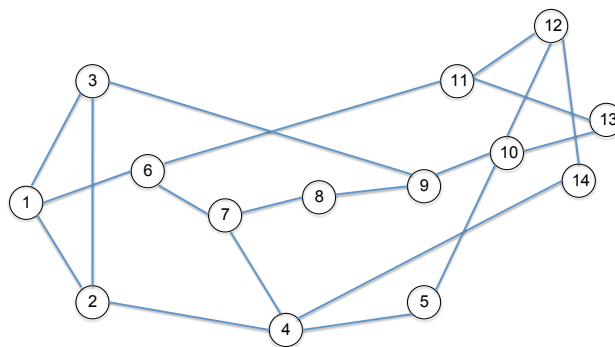
o problema do bloqueio por informação desatualizada em redes híbridas OCS/OBS.

## 5. Bloqueio por informação desatualizada da comutação OCS em função da comutação OBS em redes híbridas OCS/OBS

O bloqueio por informação desatualizada na comutação OCS se agrava quando é considerado um cenário de rede híbrida com comutação OCS/OBS. Isso ocorre porque, tipicamente, as rajadas ópticas são de curta duração. Isso representa uma frequente alteração dos estados dos recursos da rede (alocação e liberação em um curto período de tempo). A consequência disso é a geração de informações desatualizadas no estabelecimento de circuitos ópticos.

Esta seção apresenta um estudo de avaliação de desempenho considerando o problema do bloqueio por informação desatualizada em redes híbridas OCS/OBS.

Considera-se a topologia de rede NSFnet (Fig. 4) com conversão total de comprimento de onda, enlaces bidirecionais e 40 comprimentos de onda por fibra, cada um operando a 40 Gbps. O tamanho médio dos enlaces é de 1124 km.



**Figura 4: Topologia da rede NSFnet.**

A geração dos fluxos de dados proveniente das redes clientes segue um processo Poisson com taxa média  $\lambda$  e a duração é distribuída exponencialmente com média  $1/\mu$ . A carga na rede é equivalente a  $\lambda/\mu$ . Para a rede híbrida são gerados no mínimo 50.000 fluxos de dados com tamanhos médios de 50 GB (duração de 10 segundos,  $1/\mu = 10s$ ) e no mínimo 50.000 fluxos de 50 MB (duração de 10 segundos,  $1/\mu = 0,01s$ ).

Assume-se que os fluxos de 50 GB são de longa duração e são enviados exclusivamente pelo paradigma OCS. Já os fluxos de 50 MB são considerados como fluxos de curta duração e são enviados unicamente por meio do paradigma OBS. Para cada experimento são realizadas 10 replicações. Considera-se que o tamanho máximo da rajada OBS é de 250 MB. A carga de tráfego é distribuída uniformemente entre todos os  $N(N - 1)$  pares de nós origem-destino. O algoritmo Random é utilizado para realizar a alocação de comprimentos de onda. O roteamento é fixo definido previamente com algoritmo de menor caminho de Dijkstra. Neste trabalho assume-se  $T_{oxc} = 10ms$ ,  $T_{proc} = 12,5\mu s$ ,  $T_{Route} = 1\mu s$  e  $T_{wa} = 1\mu s$ . O atraso de propagação do sinal óptico foi definido em  $5\mu seg/Km$ . A razoabilidade desses valores é discutida em [Teng and Rouskas 2005].

Os experimentos foram realizados com o simulador TONetS, proposto inicialmente para estudar o desempenho de circuitos ópticos transparentes [Soares et al. 2007]. Para viabilizar o estudo de redes ópticas híbridas (OCS/OBS) o simulador TONetS foi integrado ao OB2S [Maranhão et al. 2007]. Além disso, foi desenvolvido no simulador



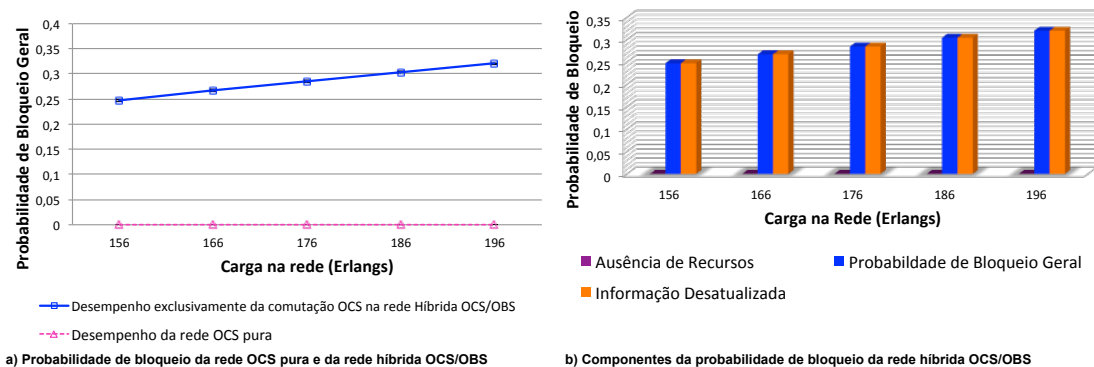
TONetS um plano de controle distribuído baseado no protocolo RSVP-TE. Os resultados de simulação obtidos foram plotados com intervalos de confiança calculados com nível de confiança de 95%.

É importante destacar que, apesar dos estudos a seguir contemplarem uma rede óptica híbrida OCS/OBS, o desempenho de cada paradigma será avaliado isoladamente. Isso é feito para facilitar a análise de cada um dos paradigmas de comutação no cenário de rede híbrida (OCS/OBS) com compartilhamento de recursos.

Inicialmente, foi realizado um experimento para identificar que o problema do bloqueio por informação desatualizada da rede é mais grave no cenário de rede híbrida OCS/OBS do que na rede OCS pura. Para isso foram simulados dois cenários: i) uma rede OCS pura, submetida a um tráfego de fluxo de dados longos, compatível com a tecnologia de comutação OCS e ii) uma rede híbrida OCS/OBS submetida ao tráfego de dois fluxos de dados, fluxo longo para OCS e fluxo curto para OBS.

A Figura 5a ilustra a probabilidade de bloqueio em uma rede puramente OCS. Além disso, a Figura 5a também mostra desempenho da comutação OCS em uma rede híbrida OCS/OBS.

Para a rede OCS pura são gerados 100.000 fluxos de dados com tamanhos médios de 50 GB (duração de 10 segundos,  $1/\mu = 10s$ ). Essa carga de tráfego também é distribuída uniformemente entre todos os  $N(N - 1)$  pares de nós origem-destino. A Figura 5b evidencia as componentes da probabilidade de bloqueio da comutação OCS em uma rede híbrida OCS/OBS (probabilidade de bloqueio por ausência de recursos e probabilidade de bloqueio por informação desatualizada).



**Figura 5: Problema do bloqueio por informação desatualizada em redes ópticas híbridas OCS/OBS.**

Observa-se que o desempenho da comutação OCS na rede híbrida OCS/OBS, em termos de probabilidade de bloqueio, é muito inferior ao da rede puramente OCS. O pior desempenho da comutação OCS na rede híbrida OCS/OBS é justificado pelos bloqueios ocorridos por informação desatualizada da rede, conforme ilustra Figura 5b.

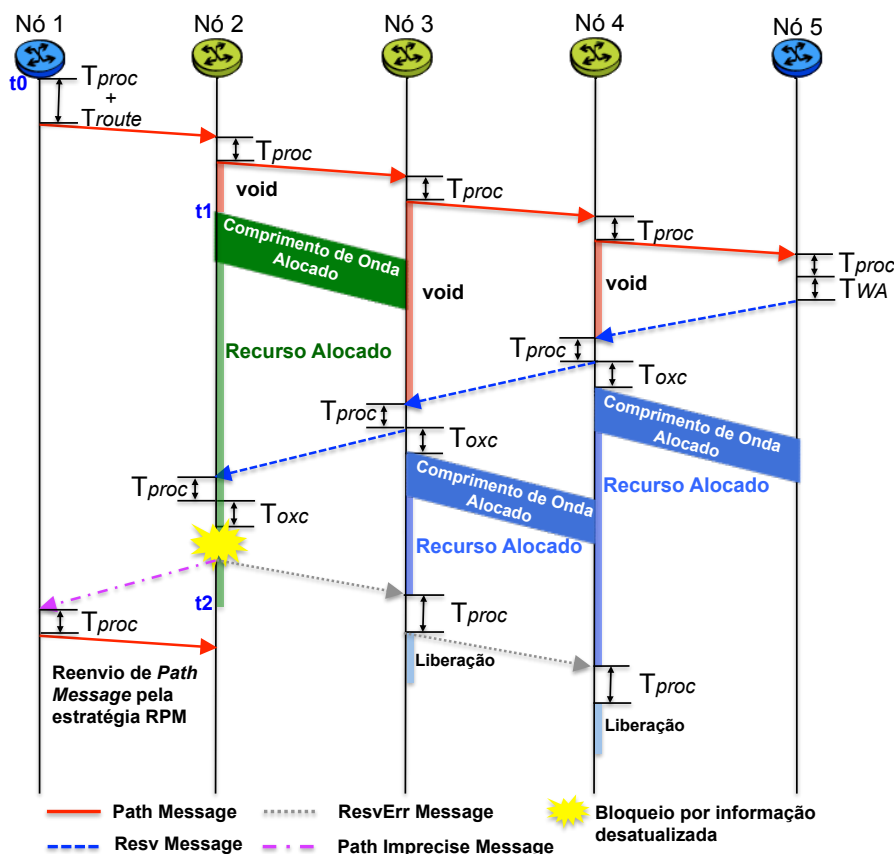
Ainda observando a Figura 5b, nota-se que praticamente todos os bloqueios de circuitos na rede híbrida OCS/OBS são por informação desatualizada da rede. Esse comportamento diferenciado da comutação OCS na rede híbrida OCS/OBS ocorre por conta da frequente alteração dos estados da rede promovida pela comutação OBS. A comutação OBS aloca comprimentos de onda por um período relativamente pequeno, se comparado com a alocação da comutação OCS. Portanto, a frequente alteração dos estados da rede promovida pela comutação OBS acaba gerando um alto nível de probabilidade de blo-

queio por desatualização dos estados da rede.

Conforme discutido na Seção 3.1, o bloqueio de um circuito óptico por desatualização dos estados da rede pode ocorrer quando os estados dos comprimentos de onda da rota utilizada são alterados entre as mensagens *Path Message* e *Resv Message*. É importante destacar que esse comportamento é esperado em redes híbridas OCS/OBS, uma vez que o paradigma OCS é mais indicado para fluxo de dados longos, enquanto o paradigma OBS é mais indicado para fluxo de dados curtos.

### 5.1. A estratégia *Resend Path Message* (RPM)

Para mitigar o problema do bloqueio de circuitos por informação desatualizada da rede em redes híbridas OCS/OBS é proposta a estratégia *Resend Path Message* (RPM). A estratégia RPM simplesmente reenvia a mensagem *Path Message* logo após o recebimento da mensagem *Path Imprecise Message* pelo Nó de origem. Isto é, quando o nó de origem receber a sinalização de que houve um bloqueio do circuito por informação desatualizada, o nó origem tenta novamente o estabelecimento do circuito. Para isso o protocolo RSVP-TE foi estendido. Foi criada a mensagem *Path Imprecise Message* (seta rosa) que sinaliza especificamente um bloqueio por informação desatualizada da rede, conforme ilustra a Figura 6.

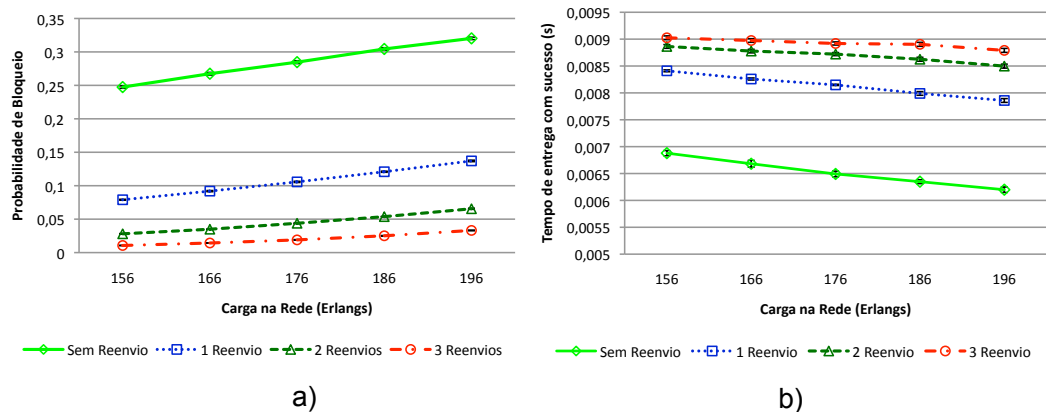


**Figura 6: Modificação do RSVP-TE para sinalização de bloqueio por informação desatualizada.**

A Figura 6 ilustra o mesmo cenário da Figura 3. A única diferença é que o nó de origem é sinalizado com *Path Imprecise Message* para que ele saiba diferenciar um bloqueio por informação desatualizada da rede de um simples bloqueio por ausência de

recursos. Depois do recebimento da mensagem *Path Imprecise Message* a estratégia RPM reenvia a mensagem *Path Message* na tentativa de estabelecer o circuito requisitado.

A Figura 7a ilustra o desempenho da comutação OCS na rede híbrida OCS/OBS utilizando estratégia RPM. A Figura 7a mostra o desempenho da estratégia RPM com 1, 2 e 3 reenvios. Considerando RPM com  $n$  reenvios, se ocorrer bloqueio por informação desatualizada nos  $n$  reenvios (1, 2 ou 3 reenvios) para uma mesma requisição de circuito o plano de controle desiste de reenviar *Path Message* e será contabilizado bloqueio do circuito. A Figura 7b apresenta o impacto da estratégia RPM no tempo de entrega com sucesso dos fluxos quando é utilizada a comutação OCS.



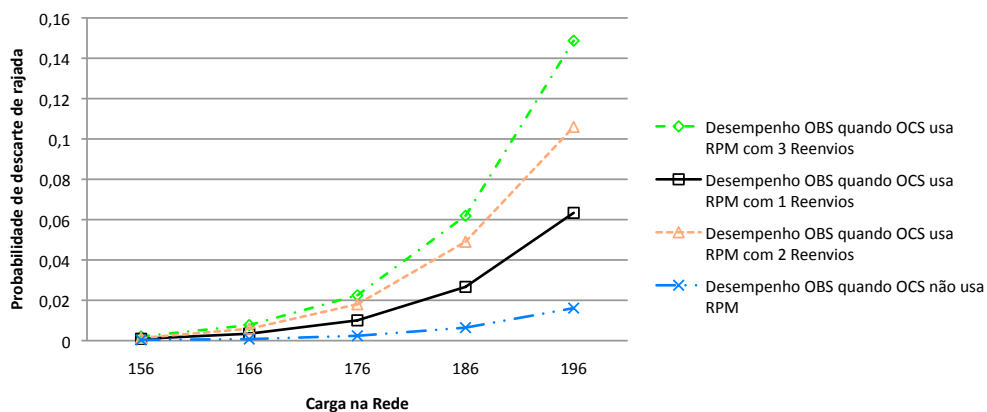
**Figura 7: Desempenho da comutação OCS na redes ópticas híbridas OCS/OBS utilizando a estratégia RPM.**

Observa-se na Figura 7a uma melhora significativa de desempenho com o uso da estratégia RPM. Por exemplo, sob uma intensidade de tráfego de 196 Erlangs, a estratégia RPM considerando no máximo 3 reenvios para uma mesma requisição de circuito obteve uma probabilidade de bloqueio abaixo de 0,04. Para a mesma intensidade de tráfego, a rede híbrida OCS/OBS sem a utilização da estratégia RPM obteve probabilidade de bloqueio acima de 0,3. Portanto, sob uma intensidade de tráfego de 196 Erlangs, RPM obteve um desempenho 10 vezes melhor. Em média, o custo desses reenvios representou um aumento de 3 ms no tempo de entrega com sucesso dos fluxos de 50 GB (Fig. 7b). Esse tempo é desprezível frente aos benefícios da estratégia RPM.

É importante destacar que esse reenvio não pode ser deixado a cargo do usuário da rede óptica, pois isso representa uma alta taxa de bloqueio e conseqüentemente uma queda do QoS. É mais interessante para o provedor da rede óptica considerar a baixa complexidade do RPM no seu plano de controle do que deixar seus usuários perceberem esses bloqueios de circuitos por informação desatualizada da rede.

A Figura 8 mostra o desempenho da comutação OBS na rede híbrida OCS/OBS quando a estratégia RPM é utilizada.

Nota-se que o uso da estratégia RPM na comutação OCS impacta negativamente no desempenho da comutação OBS. Este comportamento é esperado e não representa uma desvantagem da estratégia RPM. Quando a estratégia RPM não é utilizada os bloqueios de circuitos ópticos por informação desatualizada impedem que esses circuitos utilizem recursos da rede. Como o uso da estratégia RPM os circuitos anteriormente bloqueados por informação desatualizada são estabelecidos e mais recursos são utilizados. Por isso,



**Figura 8: Desempenho da comutação OBS na rede óptica híbridas OCS/OBS com e sem o uso da estratégia RPM.**

a comutação OBS passa a operar com um número menor de recursos disponíveis, o que incrementa a probabilidade de descarte das rajadas ópticas.

## 6. Conclusão

Este artigo apresentou o agravamento do bloqueio por informação desatualizada em redes híbridas OCS/OBS. Para mitigar esse problema foi proposta a estratégia RPM que viabiliza o reenvio da mensagem *Path Message* na tentativa de estabelecer um circuito óptico anteriormente bloqueado por informação desatualizada da rede.

A estratégia RPM não permite que seus usuários (e.g. redes clientes ou aplicações de *e-science*) percebam o bloqueio por informação desatualizada. Essa é uma estratégia útil para os provedores de rede óptica, pois o plano de controle da rede simplesmente reenvia *Path Message* após a sinalização de um bloqueio por informação desatualizada da rede. A estratégia RPM apresentou um pequeno impacto no tempo de entrega com sucesso dos fluxo de dados, aproximadamente 3 ms, conforme apresentado na Figura 7b.

Este trabalho considerou uma rede óptica transparente em que todos os comprimentos de onda apresentam um *Quality of Transmission* - QoT aceitável. Entretanto, acredita-se que o problema do bloqueio por informação desatualizada em redes híbridas (OCS/OBS) também está presente em cenários em que os comprimentos de onda possui diferentes níveis de QoT.

Como trabalho futuro, o problema do bloqueio por informação desatualizada em redes com comutação híbrida OCS/OBS será estudado em um cenário sujeito a limitações de camada física.

## Referências

- De Leenheer, M., Develder, C., Vermeir, J., Buysse, J., De Turck, F., Dhoedt, B., and Demeester, P. (2008). Performance analysis of a hybrid optical switch. In *Optical Network Design and Modeling, 2008. ONDM 2008. International Conference on*, pages 1–6.
- Durães, G. M., Soares, A., Amazonas, J. R., and Giozza, W. (2010). The choice of the best among the shortest routes in transparent optical networks. *Computer Networks*, 54(14):2400–2409.

- Gauger, C., Kuhn, P., Breusegem, E., Pickavet, M., and Demeester, P. (2006). Hybrid optical network architectures: bringing packets and circuits together. *Communications Magazine, IEEE*, 44(8):36–42.
- Giorgetti, A., Sambo, N., Cerutti, I., Andriolli, N., and Castoldi, P. (2009). Label preference schemes for lightpath provisioning and restoration in distributed gmpls networks. *Lightwave Technology, Journal of*, 27(6):688–697.
- Khodashenas, P., Perelló and, J., Spadaro, S., Comellas, J., and Junyent, G. (2011). A feedback-based hybrid obs/ocs architecture with fast-over-slow capability. In *Optical Network Design and Modeling (ONDM), 2011 15th International Conference on*, pages 1–6.
- Maranhão, J., Soares, A., and Giozza, W. (2007). Estudo das arquiteturas de conversão de comprimento de onda em redes wdm com comutação de rajadas Ópticas. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC*.
- Menon, P., Cerroni, W., and Reimer, N. (2009). Overflow traffic modeling in hybrid optical circuit/burst switching nodes with service differentiation. In *Optical Fiber Communication - includes post deadline papers, 2009. OFC 2009. Conference on*, pages 1–3.
- Perello, J., Spadaro, S., Comellas, J., and Junyent, G. (2009). Burst contention avoidance schemes in hybrid gmpls-enabled obs/ocs optical networks. In *Optical Network Design and Modeling, 2009. ONDM 2009. International Conference on*, pages 1–6.
- Perelló and, J., de Guinea, N., Spadaro, S., Junyent, G., and Comellas, J. (2010). Performance evaluation of a hybrid obs/ocs network with qos differentiation based on packet loss/delay requirements. In *Transparent Optical Networks (ICTON), 2010 12th International Conference on*, pages 1–4.
- Qiao, C. and Yoo, M. (1999). Optical burst switching (OBS) - a new paradigm for an optical internet. *Journal of High Speed Networks*, pages 69–84.
- Ramaswami, R. and Sivarajan, K. N. (2002). *Optical Network - A Practical Perspective*. Morgan Kaufmann Publishers, 2th edition.
- Soares, A., Durães, G., Giozza, W., and Cunha, P. (2007). Tonets: Simulador para avaliação de desempenho de redes Ópticas transparentes. In *SBC - Wperformance 2007*.
- Soares, A., Durães, G., Maranhão, J., Giozza, W., and Cunha, P. (2011). Uma metodologia para planejamento de redes de circuitos Ópticos transparentes com qos no nível do usuário. In *XXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC 2011)*, pages 1–14.
- Szymanski, A., Lason, A., Rzasa, J., and Jajszczyk, A. (2007). Grade-of-service-based routing in optical networks. *IEEE Communications Magazine*, pages 82–87.
- Teng, J. and Rouskas, G. N. (2005). A detailed analysis and performance comparison of wavelength reservation schemes for optical burst switched networks. *Photonic Network Communications*, 9:311–335. 10.1007/s11107-004-6435-0.
- Vu, H. L., Zalesky, A., Wong, E., Rosberg, Z., Bilgrami, S., Zukerman, M., and Tucker, R. (2005). Scalable performance evaluation of a hybrid optical switch. *Lightwave Technology, Journal of*, 23(10):2961–2973.

- Wang, Y., Wang, S., Xu, S., and Wu, X. (2009). A new hybrid optical network design consisting of lightpath and burst switching. In *Advanced Communication Technology, 2009. ICACT 2009. 11th International Conference on*, volume 03, pages 1873 –1876.
- Wei, J. Y. and Ray I. McFarland, J. (2000). Just-in-time signaling for wdm optical burst switching networks. *Journal of Lightwave Technology*, pages 2019 – 2037.
- Wong, E. and Zukerman, M. (2008). An optical hybrid switch with circuit queueing for burst clearing. *Lightwave Technology, Journal of*, 26(21):3509 –3527.
- Zalesky, A. (2009). To burst or circuit switch? *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 17(1):305 –318.
- Zang, H., Jue, J. P., and Mukherjee, B. (2000). A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM network. *SPIE Optical Networks Magazine*.