

Qualidade de Serviço Absoluta em Redes OBS baseadas no GMPLS

Rafael Pereira Esteves¹, Fernando Nazareno Nascimento Farias^{1,2}, Decíola Fernandes de Sousa^{1,2}, Antonio Jorge Gomes Abelém¹

¹Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM)
Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém, PA – Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE)
Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém, PA – Brasil

{esteves, fernnf, deciola, abelem}@ufpa.br

Abstract. *This paper presents a proposal to provide absolute Quality of Service (QoS) to OBS networks based on a GMPLS control plane. In this approach, the traffic engineering mechanisms of GMPLS are used to obtain an efficient level of absolute QoS by optimizing resource utilization and decreasing the loss experienced by the lower priority classes. To validate the proposal simulations are carried out using the NS-2 (Network Simulator) platform.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma proposta para oferecer Qualidade de Serviço (QoS) absoluta em redes OBS baseadas no plano de controle GMPLS. Nessa proposta, as técnicas de engenharia de tráfego do GMPLS são usadas para proporcionar QoS absoluta de maneira eficiente através da otimização do uso dos recursos da rede e procurando minimizar o desfavorecimento das classes de menor prioridade. Para validar a proposta são realizadas simulações utilizando a plataforma NS-2 (Network Simulator).*

1. Introdução

A crescente demanda por novos serviços na Internet tem conduzido pesquisas com o objetivo de superar os limites impostos pela infra-estrutura de comunicação atual. Os recentes avanços nas tecnologias de transmissão óptica, especialmente no que se refere à multiplexação por divisão de comprimento de onda (*WDM – Wavelength Division Multiplexing*) permitiram um aumento na ordem de dezenas de gigabits por segundo na capacidade de transmissão dos enlaces de fibra óptica [Abelém e Stanton 2002].

Para ampliar os benefícios da comunicação óptica e minimizar as desvantagens da comutação eletrônica, como a necessidade de conversão do sinal do domínio óptico para o domínio eletrônico e vice-versa, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para reduzir essa quantidade de conversões e permitir que os dados sejam transmitidos totalmente no domínio óptico, resultando em uma comutação puramente óptica. Existem basicamente três abordagens para este novo paradigma: comutação óptica de circuitos (*Optical Circuit Switching – OCS*), comutação de pacotes ópticos (*Optical Packet Switching – OPS*) e a comutação de rajadas ópticas (*Optical Burst Switching – OBS*) [Dutta et al. 2004].

A comutação de circuitos ópticos é semelhante à comutação de circuitos eletrônica, onde um circuito (*lightpath*) precisa ser estabelecido utilizando um comprimento de onda (λ) dedicado em cada enlace óptico da origem ao destino do tráfego. Uma vez estabelecida esta conexão, os dados são enviados no domínio óptico através desse circuito. A principal desvantagem dessa abordagem é a baixa taxa de utilização do canal, uma vez que os recursos ficarão dedicados a uma conexão mesmo que não existam dados sendo transmitidos.

Na comutação de pacotes ópticos, que é análoga à comutação de pacotes eletrônica, a informação é fragmentada em pacotes ópticos com seus respectivos dados e cabeçalhos. Enquanto o cabeçalho do pacote é processado eletronicamente, os dados são atrasados temporariamente por meio de fibras de retardo (FDL - *Fiber Delay Lines*). Pelo fato de não existir uma tecnologia de armazenamento óptico consolidada o suficiente para dar suporte a esse tipo de comutação, a sua implementação ainda possui limitações práticas além de possuir um custo bastante elevado.

Para contornar as desvantagens apresentadas pelos modelos de comutação citados anteriormente (OCS e OPS), uma nova abordagem chamada de comutação de rajadas ópticas (OBS) foi proposta [Qiao e Yoo 1999]. A comutação de rajadas ópticas é considerada um modelo híbrido, que associa características do modelo OCS e do modelo OPS. Na comutação OBS os pacotes e os dados de controle (*BHP* - *Burst Header Packets*) são transmitidos separadamente em canais distintos sem o uso de FDLs. Neste caso, existe um tempo de ajuste chamado de *offset*, que é um intervalo de tempo estimado para que seja feita a alocação dos recursos. Após esse período, a rajada de dados, formada por um grupo de pacotes, é enviada sem que haja qualquer confirmação de que os recursos necessários foram alocados corretamente. O valor do tempo de ajuste é bastante discutido. Várias soluções são propostas para a estimativa desse tempo [Yoo et al. 2001] e de outros parâmetros que refletem diferentes níveis de qualidade de serviço (QoS) em redes OBS.

Em geral, pode-se prover qualidade de serviço em redes OBS pela diferenciação de parâmetros da rajada em função da classe de serviço associada à mesma. Tipicamente essas diferenciações incluem: diferenciação no tempo de ajuste, diferenciação por políticas, diferenciação na construção da rajada e diferenciação no escalonamento da rajada [Vokkarane e Jue 2005]. Existem dois modelos básicos para qualidade de serviço em redes OBS: QoS relativa e QoS absoluta [Zhang et al. 2004].

No modelo relativo o desempenho de cada classe não é definido quantitativamente a partir de níveis de QoS determinados, mas sim em função do desempenho da classe em relação às demais, ou seja, tem-se a garantia de que uma classe de maior prioridade terá melhor desempenho que uma classe de menor prioridade, mas não há certeza acerca do cumprimento de certas restrições de QoS em virtude da influência causada pela proporção do tráfego das diferentes classes. Já o modelo absoluto trabalha através do estabelecimento de níveis determinados de QoS que devem ser obedecidos. Por exemplo, pode-se definir um valor máximo de probabilidade de bloqueio para certa classe de rajadas de alta prioridade. No modelo relativo, não há a definição desse valor máximo, define-se apenas que o valor da probabilidade de bloqueio seja menor que o experimentado por rajadas de classes menos prioritárias. Na QoS absoluta o valor da probabilidade de bloqueio não deve ser maior que o definido para a classe.

A comutação baseada em rótulos representada pelo MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) [Rosen et al. 2001] e suas extensões para redes ópticas e MPLS (*Multiprotocol Lambda Switching*) [Awduche et al. 2000] e GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) [Mannie 2004] são consideradas a melhor solução de plano de controle para integrar o protocolo IP e a tecnologia WDM, uma vez que o rótulo pode ser representado pelo comprimento de onda da fibra (λ). Além disso, o GMPLS possibilita a integração de características de engenharia de tráfego ao protocolo IP sem aumento significativo de complexidade.

O plano de controle GMPLS oferece mecanismos para a otimização do uso dos recursos da rede, como balanceamento de carga, roteamento explícito, roteamento baseado em restrições e técnicas de proteção e restauração de enlaces, que definem um conjunto de práticas enquadradas no termo engenharia de tráfego [Perros 2005]. Um aspecto pouco explorado na literatura refere-se à avaliação do impacto da utilização dos mecanismos de engenharia de tráfego do GMPLS na melhoria da qualidade de serviço em redes OBS.

O objetivo deste trabalho é investigar o uso do plano de controle GMPLS para auxiliar, através da engenharia de tráfego, a diferenciação de serviços em redes OBS. Propõe-se que os mecanismos de engenharia de tráfego sejam utilizados na criação de caminhos alternativos para rajadas de classes de maior prioridade com o objetivo de prover QoS absoluta sem prejudicar de forma significativa às classes menos prioritárias. Para a validação da proposta foram desenvolvidas extensões para o popular simulador de eventos discretos para redes de computadores NS-2 (*Network Simulator*) [VINT 2006], como a integração das tecnologias WDM e MPLS, a criação de um nó de borda OBS e a implementação de um mecanismo de controle de admissão de rajadas.

Além desta introdução o artigo possui mais quatro seções. Na seção 2 são apresentados alguns dos principais trabalhos relacionados ao oferecimento de qualidade de serviço em redes OBS. A seção 3 descreve nossa proposta, detalhando como a engenharia de tráfego pode ser usada na diferenciação de serviços em redes OBS. Na seção 4 são apresentados os experimentos de simulação realizados para validar a proposta do trabalho. Finalmente, a seção 5 conclui o artigo e apresenta possíveis os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

[Yoo et al. 2001] propõem uma adaptação ao protocolo de reserva de recursos JET (Just Enough Time) [Qiao e Yoo 1999], onde um tempo de ajuste (*offset*) diferente é associado a cada classe de serviço. O *offset* é o intervalo de tempo entre o envio do pacote de controle e o envio da rajada. A idéia básica é, aumentar o valor do *offset* das rajadas das classes de maior prioridade. Com isso, os dispositivos possuem um maior intervalo de tempo para alocar os recursos necessários e, assim, a probabilidade de bloqueio de uma rajada das classes de maior prioridade tende a ser reduzida. Porém, como as rajadas de maior prioridade, em sua maioria, contêm pacotes de mídias com restrições de tempo, como voz e vídeo, o aumento do valor do *offset* provoca um acréscimo não desejável no atraso fim-a-fim.

Os mecanismos de controle de admissão estático e dinâmico de rajadas são propostos por [Zhang et al. 2004]. O princípio dos dois mecanismos é o mesmo, ou seja,

reservar um determinado número de comprimento de onda em um enlace para cada classe de serviço. Ambos se baseiam na ocupação do enlace para admitir as rajadas de uma determinada classe de serviço e, desta forma, diferenciar a probabilidade de bloqueio experimentada por cada classe. Os dois mecanismos usam o protocolo JET e a implementação é feita em todos os nós da rede OBS, onde cada rajada ocupa um comprimento de onda durante a sua transmissão e cada nó OBS tem capacidade total de conversão de comprimentos de onda.

[Long et al. 2003] propõem a utilização da arquitetura de serviços diferenciados (*Diffserv*) para oferecer qualidade de serviço em redes OBS. Os pacotes de controle de rajada são processados eletronicamente para prover tratamento diferenciado às rajadas correspondentes através de diferentes PHBs (*Per Hop Behavior*) referentes aos serviços suportados: EF (*Expedited Forwarding*), AF (*Assured Forwarding*) e BE (*Best Effort*). A definição desses PHBs tem impacto no processo de montagem de rajadas que varia de acordo com a classe de serviço das mesmas.

[Vokkarane et al. 2002] propõem a diferenciação nos serviços experimentados por cada classe, através da variação dos parâmetros de construção das rajadas. Onde o temporizador, o limite para o tamanho mínimo e o limite para o tamanho máximo, podem ser ajustados para reduzir o atraso e a probabilidade de bloqueio das rajadas de uma dada classe de serviço. O objetivo é determinar como os pacotes serão agregados para garantir os requisitos de QoS de cada um.

Com o estudo dos trabalhos citados acima e de outros encontrados na literatura, observa-se pouca preocupação com o uso do plano de controle GMPLS para proporcionar QoS em redes de comutação de rajadas ópticas de modo que se tenha um gerenciamento otimizado dos recursos da rede além do já oferecido pela técnica OBS.

Esse artigo contribui com os estudos de integração do plano de controle GMPLS com redes ópticas OBS [Qiao 2000], propondo uma forma de aperfeiçoar os mecanismos de QoS em redes OBS com o uso do GMPLS no intuito de oferecer garantias absolutas de desempenho às classes de rajadas prioritárias sem prejudicar as classes de menor prioridade.

3. QoS em redes OBS baseadas no GMPLS

Como apresentado na introdução, a arquitetura GMPLS é a melhor forma de integrar o protocolo IP com a tecnologia WDM e a comutação de rajadas ópticas tem como objetivo otimizar a utilização dos recursos da rede óptica dentro das possibilidades oferecidas pelo cenário tecnológico atual. Além disso, faz-se necessário o emprego de técnicas de QoS para que as aplicações tenham o mínimo de garantias de desempenho. Nesta seção é apresentada a proposta do artigo de usar a capacidade de engenharia de tráfego do GMPLS na melhoria de qualidade de serviço em redes OBS.

3.1. Modelo Referência Adotado

O modelo de referência adotado neste trabalho consiste de roteadores IP/MPLS conectados via inter-redes ópticas, através de caminhos de luz comutados dinamicamente (Figura 1). As redes ópticas que compõem estas inter-redes são baseadas nos paradigmas OBS e GMPLS. A opção pela comutação de rajadas ópticas (OBS) deve-se tanto à sua maior eficiência, já que ela não necessita que lambdas fiquem

dedicados a cada fluxo, como à sua maior adequação ao ambiente IP sobre WDM, uma vez que ela simplifica o processo de provisionamento dos recursos, aumentando a eficiência desses tipos de redes. Já a adoção do GMPLS, como mencionado anteriormente, se justifica pela sua flexibilidade e capacidade de engenharia de tráfego, além da facilidade de adequação à tecnologia WDM, usando lambdas como rótulos.

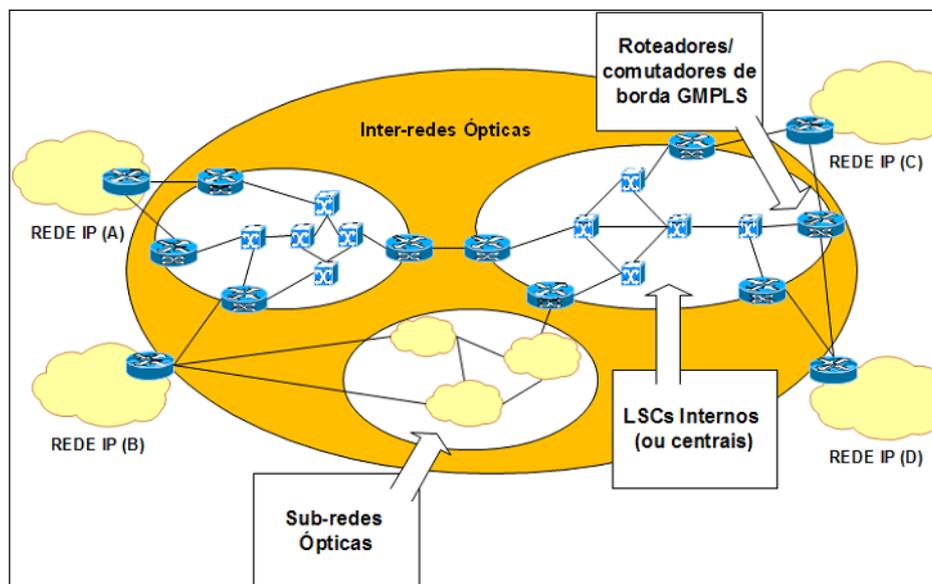


Figura 1. Modelo de rede adotado para a proposta, composto de múltiplos dispositivos de comutação óptica (LSC) interconectados através de uma malha óptica.

Supõe-se que as inter-redes ópticas consistam de múltiplas redes ópticas, que possam ser administradas por diferentes entidades. Cada rede óptica pode ser formada por sub-redes compostas de múltiplos dispositivos de comutação óptica, aptos a realizar comutação por rótulos (*LSCs – Lambda Switching Crossconnects*) e interconectados por enlaces ópticos em uma topologia geral. Esses LSCs podem ser equipamentos de diferentes fabricantes. Por questões de simplicidade, supõe-se também que existe um mapeamento um para um entre os controladores IP e os comutadores WDM.

A sinalização nas inter-redes ópticas é realizada fora de banda, existindo apenas um canal/lambda para sinalização de alta capacidade por fibra. As mensagens de sinalização são processadas eletronicamente por todos os nós, inclusive os internos. Os dados não sofrem qualquer tipo de processamento nos nós intermediários, assim como nenhuma suposição precisa ser feita sobre qual a taxa de transmissão dos dados. A inteligência da rede fica concentrada essencialmente nas bordas, e nenhum tipo de sincronização global é necessária.

Nesta estrutura, os nós da rede são classificados em dois grupos: nós internos (ou centrais) e nós de borda. Os nós internos comutam as rajadas com base em rótulos, e possuem funcionalidades semelhantes aos nós centrais LSR (*Label Switched Router*) da arquitetura GMPLS. Cada pacote de controle (BHP) pode ser considerado um “rótulo jumbo”, já que este deve conter, além dos rótulos, outras informações, tais como o tamanho da rajada e o tempo de ajuste entre o BHP e a rajada de dados.

Na integração do GMPLS com redes OBS são utilizadas novas adaptações na sinalização do GMPLS propostas em [Esteves et al. 2004], onde o tempo de ajuste está relacionado à confirmação do estabelecimento da parte do caminho (*LSP – Label Switched Path*) referente ao primeiro enlace da rota, através do uso de rótulos sugeridos. Assim, espera-se obter a menor latência fim-a-fim possível para que uma rajada possa ser enviada sempre que uma quantidade mínima de recursos estiver disponível e, dessa maneira, aproveitar melhor as características do paradigma OBS no que diz respeito à ausência de confirmação.

3.2. Proposta de Diferenciação de Serviços em Redes OBS baseadas no GMPLS

A proposta deste trabalho resulta do fato de que o plano de controle GMPLS oferece funcionalidades interessantes que podem auxiliar os mecanismos de diferenciação de serviços já existentes para redes OBS, aumentando a possibilidade de se atingir níveis de QoS mais precisos, o que pode ser de importância fundamental para algumas aplicações.

Essa proposta utiliza como ponto de partida um mecanismo de controle de admissão dinâmico de rajadas associado ao agrupamento de comprimento ondas por classe, proposto em [Zhang et al. 2004]. Esse mecanismo define que uma classe de rajadas possui um número determinado de comprimentos de onda associados a ela. Quando uma rajada chega ao nó, verifica-se a quantidade de comprimentos de onda da classe ocupados no momento. Se existir um comprimento de onda livre dentre os reservados para a classe, a rajada é admitida, caso contrário ocorre bloqueio.

O roteamento explícito oferecido pelo GMPLS possibilita a definição de rotas alternativas às determinadas por técnicas baseadas na escolha do melhor caminho, que são comumente usadas na Internet, já que muitas vezes essas rotas não são suficientes para atender uma alta demanda de tráfego sem degradar o desempenho das classes de serviço como um todo. Isso geralmente ocorre em cenários de intensidade de tráfego elevada onde nem sempre a diferenciação na admissão das rajadas será suficiente para garantir níveis de serviço adequados, principalmente quando se deseja QoS absoluta.

Desta forma, para se atingir um nível de desempenho absoluto em cenários de alta intensidade de tráfego, propõe-se a utilização do roteamento explícito para desviar fluxos de rajadas que pertençam a classes de alta prioridade com requisitos estritos de qualidade. Dessa forma, espera-se que o aumento da quantidade de recursos disponíveis para uma classe resulte em um melhor serviço para as suas rajadas. Dependendo do nível de serviço desejado, é possível determinar quantos e quais fluxos de rajadas deverão adotar uma nova rota e, assim, obter o melhor desempenho para as classes prioritárias.

Vale ressaltar que fluxos de rajadas de menor prioridade também podem ser encaminhados por outras rotas sem prejudicar as demais classes, já que existe um isolamento entre as classes de serviço proporcionado pelo mecanismo de controle de admissão adotado. Logo, também é possível diminuir a probabilidade de bloqueio de rajadas de classe de baixa prioridade sem causar dano às classes prioritárias.

4. Análise da Proposta

4.1. Ferramentas Utilizadas

Para validar a proposta foram realizadas simulações utilizando a plataforma NS-2 (*Network Simulator*) [VINT 2006]. O NS-2 apresenta extensões para redes ópticas WDM [Wen et al. 2001] e redes MPLS [Ahn e Chun 2000], que foram fundamentais para o contexto de simulação desejado.

A comutação de rajadas ópticas pode ser caracterizada através de uma extensão do simulador (um novo agente), que foi desenvolvida e descrita em [Esteves et al. 2004]. Um agente é um componente do NS-2 que é responsável pela simulação de protocolos de rede de uma maneira geral. Esse agente simula as funcionalidades de um nó de borda OBS, tais como a geração de pacotes de controle, o controle de tempos de ajuste, a montagem/desmontagem de rajadas e bloqueio. O agente agrupa pacotes que chegam ao nó até que se atinja o tamanho da rajada que foi determinado pelo usuário. Em seguida, é gerado um pacote de controle com seu respectivo tempo de ajuste, após o qual a rajada será enviada.

Adicionalmente surgiu a necessidade de implementação de um mecanismo de bloqueio de rajadas que representasse de forma mais precisa a utilização dos comprimentos de onda da fibra de acordo com o controle de admissão dinâmico de rajadas que determina um número fixo de comprimentos de onda para cada classe de serviço.

O desenvolvimento dessas extensões tornou possível a simulação de redes ópticas OBS baseadas no plano de controle GMPLS que utilizam o mecanismo de controle de admissão dinâmico de rajadas, as técnicas de engenharia de tráfego do GMPLS, além de dar suporte à diversas classes de serviço.

4.2. Cenários Avaliados

Este trabalho faz uso de duas topologias de simulação para a validação da proposta. A primeira é elaborada para que se tenham dois caminhos redundantes em que se possa utilizar a engenharia de tráfego, enquanto a segunda topologia é baseada em um cenário real desenvolvido pela rede nacional de pesquisa (RNP) para a interligação de instituições de pesquisa no Brasil.

Na primeira topologia, ilustrada na Figura 2, tem-se uma rede WDM utilizando comutação por rajadas ópticas e plano de controle GMPLS. Cada enlace óptico possui oito comprimentos de onda e capacidade de 10Gbps. Esses valores foram definidos uma vez que ainda existem redes reais que trabalham com essas características [Abilene 2006] [RNP 2006]. O núcleo da rede possui oito nós, sendo dois destes nós de borda OBS: LER A e LER B. A chegada de rajadas na rede OBS é caracterizada como um processo de Poisson. Ao chegar ao nó de borda os dados são classificados de acordo com três classes de rajadas, com prioridades do tipo ouro, prata e bronze, sendo que a classe ouro é a mais prioritária, a classe prata possui prioridade média e a classe bronze é a que possui menor prioridade. As rajadas terão tamanho médio de 125 KB [Long, et al. 2003], o que corresponde a uma taxa de serviço de aproximadamente 1200 rajadas por segundo. Existe um número fixo de comprimentos de onda associados a cada classe. As rajadas de alta prioridade têm à disposição quatro comprimentos de ondas alocados dinamicamente, a classe de prioridade média possui três comprimentos de onda

disponíveis para alocação e, por fim, as rajadas de prioridade baixa têm direito a apenas um comprimento de onda. Um número maior de comprimentos de onda associados à classe ouro possibilita a diminuição da probabilidade de bloqueio experimentada pelas rajadas dessa classe, o que pode ser importante para aplicações críticas, que possuem sérias restrições temporais e de confiabilidade.

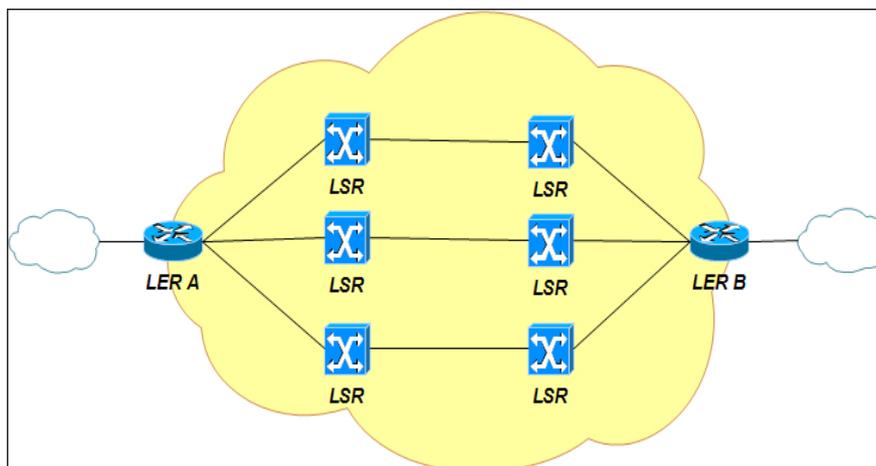


Figura 2: Topologia 1 utilizada nas simulações

As simulações são realizadas variando-se a proporção da carga oferecida à rede por cada uma das três classes de serviço resultando em 4 cenários distintos de tráfego que são mostrados na Tabela 1.

São utilizados no total 18 geradores (agentes, no contexto do simulador) para produzir o tráfego na rede, onde os agentes são ajustados para oferecer uma carga que varia de 0,1 a 1 erlang. Em cada cenário, o número de geradores para cada classe é calculado baseado na proporção de tráfego associado à mesma (Tabela 1).

Tabela 1. Proporção de tráfego por classe de serviço (topologia 1)

Cenário	Classe Ouro	Classe Prata	Classe Bronze
1	33%	33%	33%
2	56%	33%	11%
3	22%	56%	22%
4	11%	33%	56%

A seguir, são mostrados gráficos que ilustram o número médio de rajadas bloqueadas de cada um dos agentes geradores de tráfego para o primeiro cenário de tráfego na topologia 1 sem o uso da engenharia de tráfego.

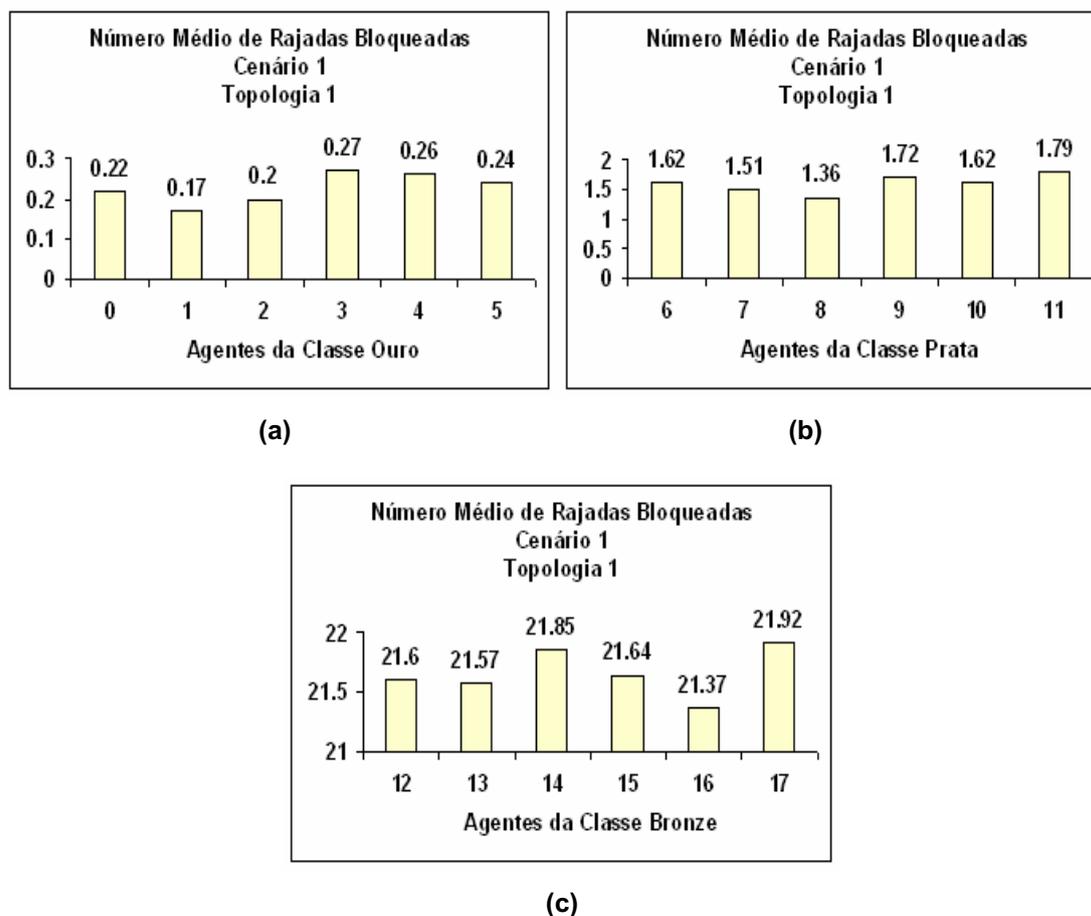


Figura 3. Número médio de rajadas bloqueadas (Cenário 1)

Escolhe-se um agente, que neste caso é o de maior taxa média de bloqueios, em cada classe de serviço para seguir uma nova rota e, desta forma, diminuir o número médio de bloqueios da classe como um todo. Por exemplo, na Figura 3(a) o agente 3 é selecionado na classe ouro, enquanto na Figura 3(b) tem-se o agente 11 na classe prata e, por fim, na Figura 3(c), decide-se pelo agente 17 na classe bronze. Esse mesmo critério de seleção é adotado nos demais cenários de tráfego das topologias 1 e 2.

Alternativamente, pode-se escolher mais de um agente para ser desviado, e, com isso, atingir um nível de serviço mais satisfatório, possibilitando uma QoS do tipo absoluta, uma vez que, assim, é possível determinar o grau de favorecimento de cada uma das classes de rajadas.

Assume-se que as novas rotas são determinadas previamente por um administrador. Opcionalmente, essa reserva poderia ser feita sob demanda a partir do momento em que o desempenho de uma classe começa a degradar. Contudo, nesse caso, o tempo de reserva tende a ser maior, o que não é interessante para aplicações críticas. A definição das novas rotas é um tema relevante que pode ser explorado em pesquisas futuras, mas que está fora do escopo da proposta deste trabalho.

A segunda topologia é inspirada na Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) e está ilustrada na Figura 4. O *backbone* da rede RNP foi projetado para atender a certos requisitos técnicos, garantindo a largura de banda necessária ao tráfego Internet de produção (navegação Web, correio eletrônico, transferência de arquivos), ao uso de

serviços e aplicações avançadas e à experimentação. Há 27 pontos de presença (PoPs) instalados em todas as capitais do país, interligando cerca de 250 instituições de ensino e pesquisa e algumas iniciativas de redes regionais – principalmente redes estaduais e redes metropolitanas de ensino e pesquisa [RNP 2006].

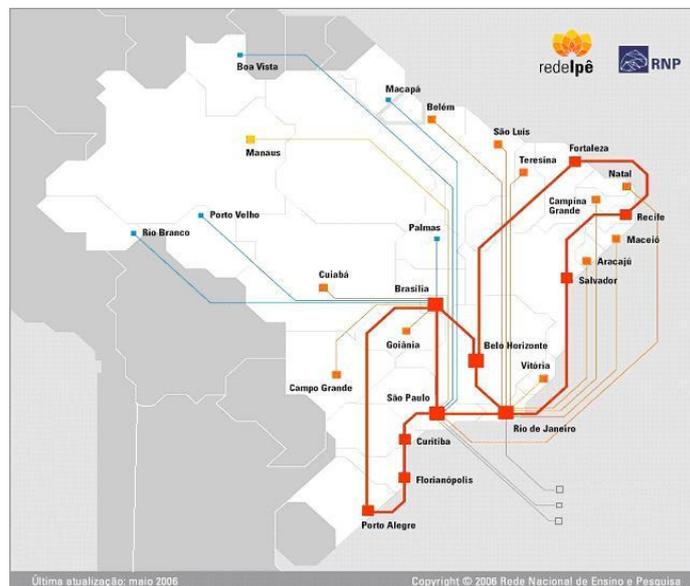


Figura 3: Rede da RNP utilizada nas simulações

A justificativa do uso da topologia da RNP se deve ao fato desta rede ser um dos principais meios de ligação entre as instituições de pesquisa do Brasil, e também pelo fato de que aplicações avançadas estão sendo implementadas sobre esta topologia, como VoIP e videoconferência e, além disso, trata-se de uma topologia real que possui caminhos alternativos onde é possível aplicar os mecanismos de engenharia de tráfego do GMPLS para desviar determinados fluxos de rajadas.

A seguir, na Tabela 2, são apresentados os cenários de tráfego com as suas respectivas proporções de carga para cada classe para a topologia da RNP.

Tabela 2. Proporção de tráfego por classe de serviço (topologia 2)

Cenário	Classe Ouro	Classe Prata	Classe Bronze
1	33%	33%	33%
2	50%	33%	16%
3	25%	50%	25%
4	16%	33%	50%

Na simulação da topologia da RNP são usados os mesmos parâmetros de simulação e análise da topologia anterior, sendo que, por questões de simplificação, a única modificação feita à topologia real da RNP consiste na utilização de todos os enlaces com capacidade de 10Gbps e 8 comprimentos de onda em cada. É definido que em um primeiro momento as rajadas têm como origem e destino os PoPs Brasília e Rio de Janeiro, respectivamente.

4.3. Resultados obtidos

A seguir são apresentados gráficos de probabilidade de bloqueio em função da carga oferecida à rede nas duas topologias estudadas levando em consideração a proporção de tráfego gerado por cada classe de serviço descrita na seção 4.1. O objetivo é determinar o impacto da aplicação da engenharia de tráfego, representada aqui pela técnica de roteamento explícito, na probabilidade de bloqueio das rajadas das três classes de serviço analisadas no trabalho. Os pontos das curvas apresentadas são calculados com intervalo de confiança de 95% em relação à média das amostras coletadas durante as simulações.

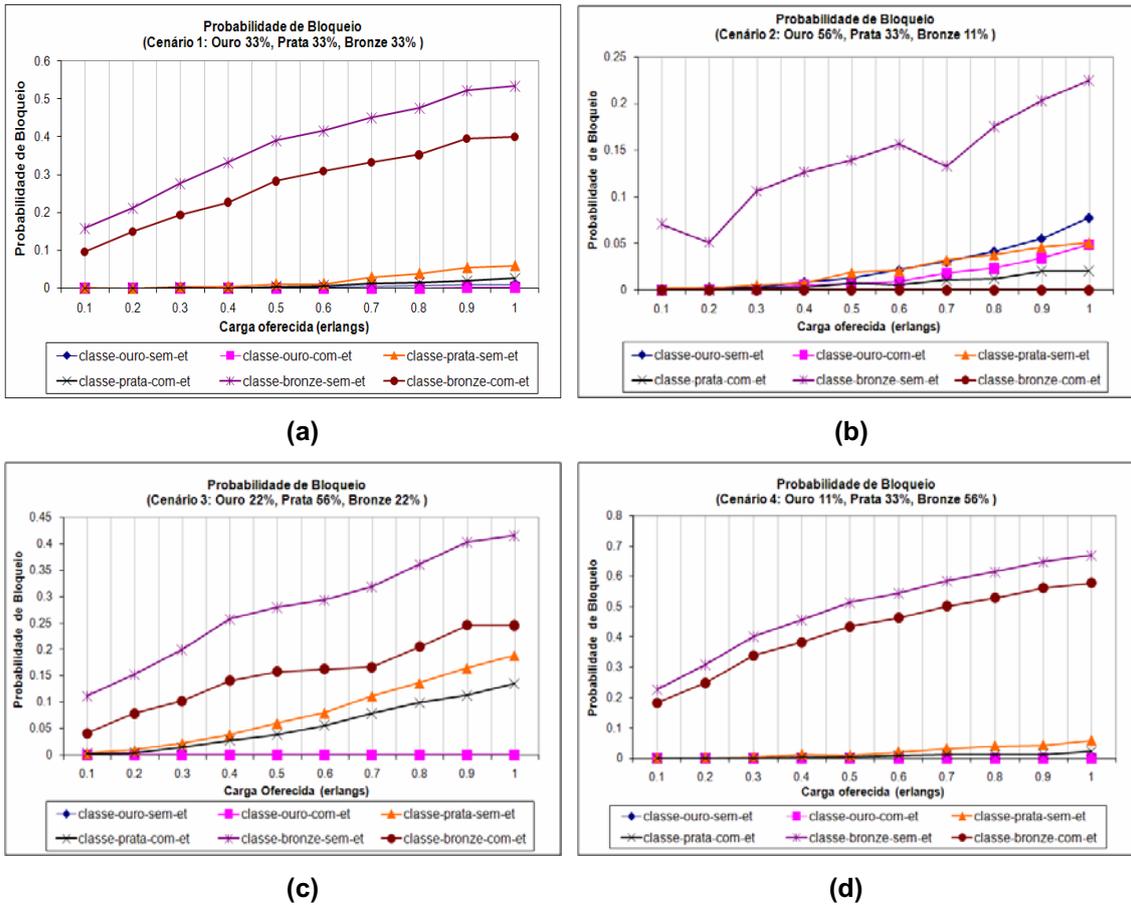


Figura 4. Probabilidade de bloqueio em função da carga oferecida (Topologia 1)

As Figuras 4(a), 4(b), 4(c) e 4(d) mostram que existe diminuição na probabilidade de bloqueio das rajadas de maneira geral, independente de classe de serviço, quando se utilizam técnicas de engenharia de tráfego na rede, mesmo quando já existe um modelo de QoS implementado, que no caso deste estudo é o mecanismo de controle de admissão dinâmico de rajadas. Também é possível observar que uma proporção menor de carga resulta em uma diminuição mais significativa da probabilidade de bloqueio. Isso é bem visível no cenário 2, para a classe bronze (Figura 4(b)) onde a probabilidade de bloqueio para essa classe é praticamente nula após o uso do roteamento explícito. Neste caso, uma maior parcela do tráfego gerado foi afetada pela engenharia de tráfego. Conseqüentemente, quanto maior a carga de tráfego pertencente a uma classe de serviço, mais se faz necessário o re-roteamento de outros

fluxos de rajada dessa classe para que se tenha uma melhoria no desempenho da mesma. Por exemplo, a classe ouro no cenário 2 (Figura 4(b)), a classe prata no cenário 3 (Figura 4(c)) e a classe bronze no cenário 4 (Figura 4(d)) são exemplos de classes que seriam mais beneficiadas se o número de geradores de tráfego roteados explicitamente em cada uma fosse maior. Portanto, a porção de tráfego que é desviada está diretamente relacionada com o nível de serviço que se deseja alcançar, abrindo possibilidades para a definição de restrições mais rígidas para as classes prioritárias, caracterizando, assim, a QoS absoluta.

Em seguida, são mostrados os gráficos de probabilidade de bloqueio para a topologia 2 (RNP).

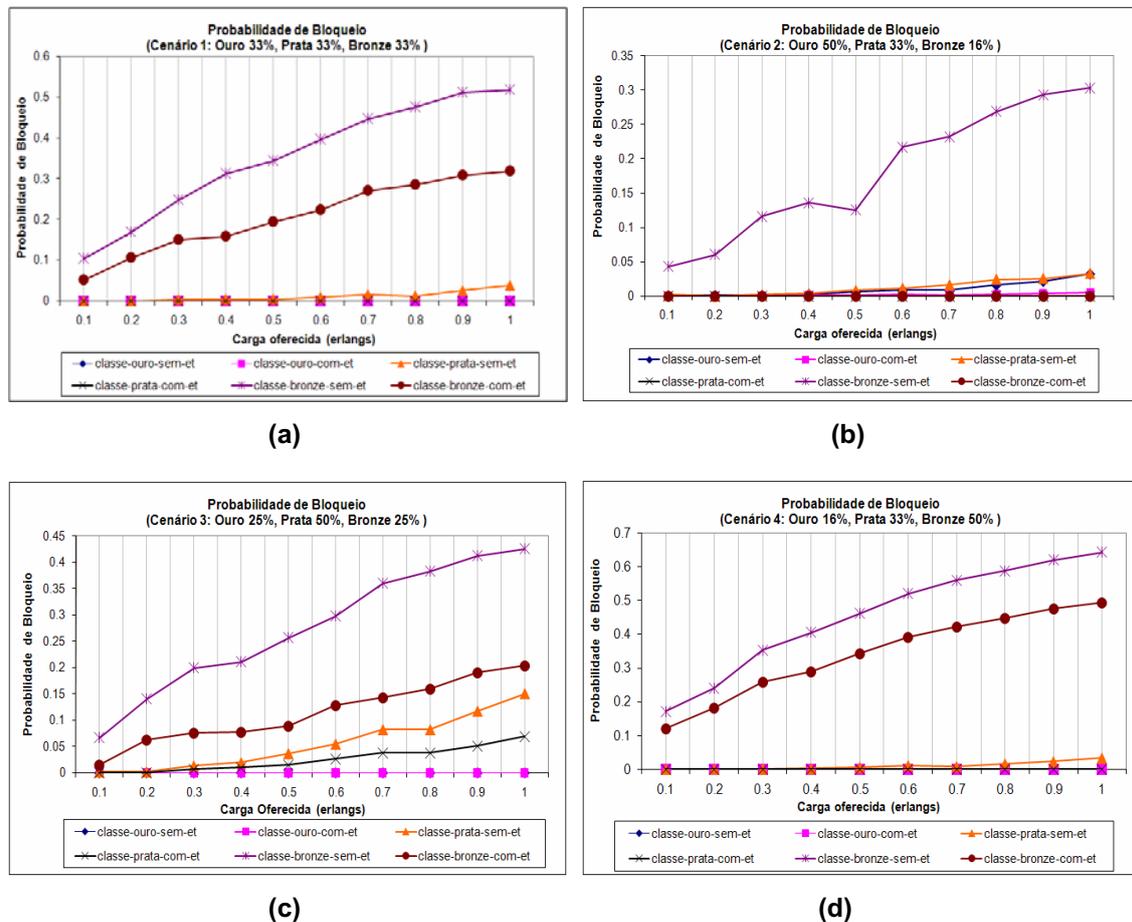


Figura 5. Probabilidade de bloqueio em função da carga oferecida (Topologia 2)

As Figuras 5(a), 5(b), 5(c) e 5(d) apresentam os resultados de probabilidade de bloqueio para a rede RNP. Percebe-se que a manutenção de privilégios para os tráfegos de alta prioridade não implica na degradação das outras aplicações, o que possibilita um grau maior de satisfação dos usuários da rede.

Um outro aspecto percebido nos resultados é que, com a utilização de uma rede real (RNP), é possível atingir níveis de serviço próximos aos obtidos para o cenário hipotético (Topologia 1), o que valida a proposta para um ambiente de produção.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

O estudo realizado nesse trabalho mostrou que o plano de controle GMPLS é um aliado poderoso para as redes OBS, pois oferece facilidades que contribuem para um gerenciamento melhorado dos recursos da rede, automatizando tarefas que normalmente demandavam muito tempo e esforço por parte dos administradores de rede.

Nesse sentido, conclui-se que é possível melhorar as técnicas de qualidade de serviço existentes atualmente para redes OBS através do uso das funcionalidades presentes no plano de controle GMPLS, que permitem aproveitar a existência de recursos disponíveis na rede para garantir níveis de serviço mais satisfatórios às classes de rajadas, já que em todos os cenários estudados a proposta conseguiu superar o desempenho do mecanismo de controle de admissão dinâmico de rajadas.

Os resultados também ilustram que dependendo da proporção de tráfego de cada classe, o uso da engenharia de tráfego produz impactos distintos na diferenciação de serviços. De uma forma geral, nota-se que quanto maior a proporção de tráfego gerada por uma classe, cresce a necessidade de se oferecer rotas alternativas para que se tenha um ganho maior na qualidade de serviço. Estudos adicionais são necessários para verificar a relação entre a proporção de tráfego que deve ser desviada e a demanda específica de QoS definida para uma determinada classe de rajadas.

Como relação aos trabalhos futuros, pretende-se estudar maneiras de se efetuar reservas de recursos com base em certas restrições, como por exemplo, um número mínimo de comprimentos de onda que devem estar disponíveis para atender a demanda de nível de serviço das classes, já que para topologias onde não há a possibilidade do uso de rotas alternativas, ou onde existem reduzidas opções de novos caminhos, a proposta nem sempre será capaz de produzir os melhores resultados, uma vez que não haverá como tirar proveito da existência de recursos adicionais que porventura estejam sendo subutilizados na rede.

Também se deseja avaliar a possibilidade de associar à definição dos níveis de serviço, mecanismos de proteção e restauração oferecidos pelo plano de controle GMPLS, que se diferenciam em função do tempo de resposta e do nível de proteção requerido.

Referências

- Abelém, A.; Stanton, M. A. Inter-Redes IP Baseadas em Redes Ópticas. Livro texto dos Minicursos, 20º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2002), Cap. 2, pp. 63-123, Búzios, RJ, Brasil. Maio, 2002.
- Abilene Network. Disponível em: <http://abilene.internet2.edu/>. Acessado em: Dezembro de 2006.
- Ahn, G; Chun, W. Design and Implementation of MPLS Network Simulator. Url: <http://flower.ce.cnu.ac.kr/~fog1/mns/>. Acessado em: Julho de 2006.
- Awduche, D., Rekhter, Y., Drake, J., and Coltun, R. (2000). Multi-Protocol Lambda Switching: Combining Mpls Traffic Engineering with Optical Crossconnect. Internet Draft: draft-awduche-mpls-te-optical-02.txt.

- Dutta, K. A.; Dutta, N. K.; Fujiwara, M. WDM Technologies: Optical Networks, Elsevier Academic Press. Volume 3, Elsevier, 2004.
- Esteves, R.; Nagahama, F.; Abelém, A.; Stanton, M. A Proposal to Adjust the GMPLS Control and Signaling Mechanisms for Optical Burst Switched Networks. In: Anais do 3rd International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS2004). Dezembro, 2004.
- Long, K.; Tucker, R.; Wang, C. A New Framework and Burst Assembly for IP DiffServ over Optical Burst Switching Networks, GLOBECOM 2003 - IEEE Global Telecommunications Conference, vol. 22, no. 1, Dec 2003 pp. 3159-3164.
- Mannie E. (Editor). Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture. RFC 3945. Outubro, 2004.
- Perros, H. G. (2005). Connection-Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS, Optical Networks. John Wiley and Sons, Ltd, ISBN 0-470-02163-2, Ed. Wiley, England.
- Qiao, C.; Yoo, M. Optical Burst Switching (OBS)—A New Paradigm for an Optical Internet, Journal of High Speed Networks (JHSN). Vol. 8, No. 1, pp. 69-84, August, 1999.
- Qiao, C. Labeled Optical Burst Switching for IP-over-WDM Integration. IEEE Communications Magazine, 38(9):104-114, September 2000.
- RNP. Rede Nacional de Ensino. Disponível em: <http://www.rnp.br/backbone/>. Acessado em: Julho de 2006.
- Rosen, E.; Viswanathan, A.; Callon, R. Multiprotocol Label Switching Architecture. RFC 3031. Janeiro, 2001.
- Vokkarane, V. M. ; Jue, J. P. Optical Burst Switched Networks, 2005, Springer, pp. 107-108.
- Vokkarane, V., Zhang, Q., Jue, J., E Chen, B. Generalized Burst Assembly and Scheduling Techniques for QoS Support to Optical Burst-Switched Networks. Em IEEE GLOBECOM'2002 (Novembro de 2002), vol. 3, pág. 2747–2751.
- VINT Project, The. Virtual InterNetwork Testbed. A Collaboration among USC/ISI, Xerox PARC, LBNL, and UCB. Url: <http://www.isi.edu/nsnam/vint/index.html>. Acessado em: Julho de 2006.
- Wen, B; Bhide, N. M.; Shenai, R. K.; Sivalingam, K. M. Optical Wavelength Division Multiplexing (WDM) Network Simulator (OWns): Architecture and Performance Studies. Em: SPIE Optical Networks Magazine Special Issue on "Simulation, CAD, and Measurement of Optical Networks", Março, 2001.
- Yoo, M.; Qiao, C.; Dixit, S. Optical Burst Switching for Service Differentiation in the Next-Generation Optical Internet. IEEE Communications Magazine, 2001, pp. 98-104.
- Zhang, Q.; Vokkarane, V. M.; Jue, J. P. e Chen, B. (2004). Absolute QoS Differentiation in Optical Burst-Switched Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), 22(9):2062-2071.