

## Provisionamento Automático de Conexões Determinísticas para Redes GOBS

Rafael P. Esteves<sup>1</sup>, Fernando N. N. Farias<sup>1</sup>, Anderson M. Nunes<sup>1</sup>, Antônio J. G. Abelém<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Faculdade de Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém – PA –  
Brasil

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

**Abstract.** *This paper proposes an architecture for the automatic establishment of connections that match the performance constraints for grid applications. This architecture is based on optical burst switching and on the utilization of protocols with traffic engineering functionalities. It propose an element called GOBS (Grid Optical Burst Switching) Server that stores and collects information about grid metrics and network resources and helps in the calculation of deterministic routes. Simulations show that the proposal is able to minimize the burst blocking, thus guaranteeing the established service levels, and it allowing better utilization of the grid and network resources.*

**Resumo.** *Este artigo propõe uma arquitetura para o estabelecimento automático de conexões que satisfaçam às restrições de desempenho de aplicações em um ambiente de grade computacional. Essa arquitetura é baseada no paradigma de comutação de rajadas ópticas e na utilização de protocolos com funcionalidades de engenharia de tráfego. É proposto um elemento chamado Servidor GOBS (Grid Optical Burst Switching) que é responsável por armazenar e coletar as informações sobre os recursos de rede e de computação (grade) e por auxiliar no estabelecimento de rotas determinísticas. Simulações mostram que a proposta é capaz de minimizar o bloqueio de rajadas, garantindo os níveis de serviço estabelecidos, e proporcionando uma melhor utilização dos recursos de rede e de computação.*

### 1. Introdução

O termo *E-Science* define um conjunto de aplicações científicas avançadas que se caracterizam por necessitarem de grandes quantidades de recursos como processamento, armazenamento, memória e rede. Tais recursos não são economicamente viáveis devido a seus custos individuais elevados. A computação em grade (*Grid computing*) surge como um modelo que propõe o uso de recursos computacionais de várias máquinas situadas em localizações diversas, inclusive em continentes distintos, para resolver problemas que exigem grande poder computacional [Foster, 2002]. As grades atualmente são compostas, além de computadores, por grandes repositórios de dados, equipamentos científicos controlados remotamente, dispositivos de visualização, sensores, entre outros, que oferecem possibilidades inéditas de cooperação entre

cientistas. Algumas das principais características dessa arquitetura são: a abstração, a flexibilidade, a escalabilidade e a tolerância a falhas.

Um aspecto importante que vem ganhando destaque é a mudança na forma como as redes de comunicação são vistas no contexto das grades computacionais. Antes, a infra-estrutura de rede que dava suporte à computação em grade era considerada um componente importante, porém não integrada aos demais recursos da grade, mas sim, atuando como um recurso externo. Atualmente a tendência é ver a rede como um recurso que faz parte da grade, da mesma forma que as unidades de processamento, a memória, os dispositivos de entrada e saída, entre outros, para assim proporcionar novas possibilidades de integração e combinação de serviços [Travostino et al, 2006].

Além disso, em virtude do grande volume de dados manipulado, as grades necessitam de uma infra-estrutura de comunicação robusta que seja adaptável às particularidades desse modelo. Os avanços nos meios de transmissão, principalmente no que se refere às tecnologias ópticas, foram conduzidos na tentativa de atender as exigências estritas de desempenho que essas novas aplicações (aplicações de grades computacionais) possuem.

Nesse sentido, a comutação puramente óptica, que objetiva eliminar as limitações existentes na comutação eletrônica, e suas diferentes alternativas (comutação de lambdas, comutação de pacotes e comutação de rajadas), surge como um fator que torna as redes ópticas de próxima geração as candidatas ideais para a computação em grade. Especificamente, a comutação de rajadas ópticas (*OBS – Optical Burst Switching*) [Qiao e Yoo, 1999] apresenta vantagens se comparada às outras abordagens de comutação óptica, como a alta utilização dos enlaces, o baixo tráfego *overhead* de processamento/sincronização e a separação do plano de controle do plano de rajadas (ou dados), e, além disso, é facilmente integrada à computação em grade quando as tarefas são mapeadas para rajadas.

Por outro lado, a comutação de rajadas ópticas, por oferecer essas características de separação de planos (controle e rajadas) permite uma fácil integração de planos de controle mais robustos capazes de lidar com a complexidade de controle exigida pela comutação OBS. O GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) [Mannie, 2004], que é uma extensão do plano de controle MPLS do IP, é uma solução de plano de controle para a comutação de rajadas ópticas, pois é capaz de integrar características como engenharia de tráfego e sinalização e roteamento inteligente e eficiente [Pedroso et al, 2007].

O objetivo deste trabalho é propor uma arquitetura para o estabelecimento de rotas que atenda aos requisitos de qualidade de uma tarefa em um ambiente de grade. Essa arquitetura é baseada no paradigma de comutação de rajadas ópticas e no plano de controle GMPLS com a utilização de um componente responsável por armazenar as informações sobre os recursos da grade (recursos de computação e de rede). Esse componente, denominado Servidor GOBS (*Grid Optical Burst Switching*), recebe consultas sobre a disponibilidade de recursos para processar uma determinada tarefa e informa uma possível rota que atende as exigências de uma requisição. Com a informação obtida a partir dessa resposta, a reserva efetiva dos recursos é feita através da sinalização GMPLS.

Além desta seção introdutória o artigo é composto de mais 6 seções. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados à proposta do artigo, a Seção 3 aborda a necessidade

das redes ópticas de próxima geração e de conexões determinísticas no contexto de grades computacionais, na Seção 4 a arquitetura para o oferecimento de conexões determinísticas em redes Grid OBS é descrita, na Seção 5 é feita a análise da proposta e, por fim, a Seção 6 conclui o artigo e apresenta algumas possibilidades de pesquisas futuras.

## 2. Trabalhos Relacionados

Em [Habib et al, 2006], é feita uma discussão acerca das diferentes necessidades que as aplicações de grade computacional possuem no que diz respeito ao controle e ao gerenciamento. Os autores avaliam o plano de controle GMPLS e fazem algumas considerações a respeito das funcionalidades que o GMPLS oferece, e de que forma as mesmas contribuem para satisfazer os requisitos da computação em grade

A iniciativa DRAGON (*Dynamic Resource Allocation via GMPLS Optical Networks*) é apresentada em [Lehman et al, 2006]. Especificamente, o DRAGON procura desenvolver tecnologias que permitem o provisionamento dinâmico de recursos de rede, que podem estar situados em domínios administrativos distintos e que envolvem tecnologias de rede variadas. O DRAGON possui um componente responsável por armazenar informações sobre os recursos e por estabelecer conexões entre domínios, o NARB (*Network Aware Resource Broker*), que é semelhante à proposta apresentada neste artigo. A diferença fundamental é que ao contrário do DRAGON, o foco da nossa proposta é o provisionamento de conexões determinísticas aproveitando as vantagens da comutação OBS.

[DeLeenheer et al, 2006] propõem um conjunto de algoritmos para a determinação do destino e para resolução de contenção e deflexão de rajadas. Dessa forma, é possível realizar várias combinações entre os algoritmos de determinação de destino e de deflexão de rajadas. O problema dessa abordagem é não considerar as métricas de rede na determinação do destino e, além disso, não há a preocupação em oferecer garantias de desempenho para as aplicações.

Em [Esteves et al, 2007], é apresentada uma proposta para utilizar a engenharia de tráfego do GMPLS, desviando fluxos de rajadas que estão sendo penalizados para rotas alternativas e, assim, abrir possibilidades para o oferecimento de QoS do tipo absoluta. No entanto, a abordagem empregada para guiar as decisões de engenharia de tráfego é baseada em análises prévias do comportamento das classes de serviço na rede, ou seja, a mudança de rotas não é feita de forma dinâmica.

O trabalho apresentado em [Farias et al, 2008] procura utilizar a engenharia de tráfego para re-rotear de forma dinâmica os fluxos prejudicados quando o nível de qualidade de serviço começa a ficar abaixo dos limites definidos, ou seja, quando ocorre uma quebra de contexto. É proposto um agente denominado DQMA (*Dynamic QoS Management Agent*) para monitorar os fluxos no núcleo da rede OBS. O problema dessa alternativa é que as rotas alternativas são fixas e limitadas, ou seja, existe uma quantidade fixa de rotas para uma classe de serviço. Isto pode ser ruim em cenários de alta intensidade de tráfego, já que essas rotas podem não ser suficientes para um grande número de requisições.

### 3. Redes Ópticas de Próxima Geração e Grades Computacionais

#### 3.1. Comutação de rajadas ópticas e grades computacionais

Dentro do contexto de redes ópticas de nova geração existem basicamente três abordagens de comutação óptica: a comutação de lambdas (circuitos), a comutação de pacotes ópticos e a comutação de rajadas ópticas. A comutação de rajadas ópticas procura minimizar as limitações dos outros paradigmas de comutação, como a baixa utilização dos recursos e a complexidade de implementação [Qiao e Yoo, 2000] [Vokkarane e Jue, 2005].

Na comutação OBS os pacotes são agrupados em unidades denominadas rajadas que são enviadas de forma totalmente óptica. Para isso, existe uma sinalização de controle (BCP – *Burst Control Packet*) preliminar que é responsável por reservar os recursos na rede e construir um caminho óptico. Após um período, chamado tempo de ajuste (*offset time*), a rajada é encaminhada para o destino no domínio puramente óptico.

A comutação OBS apresenta como principais vantagens a alta utilização da rede, uma vez que os recursos são reservados somente quando há uma demanda de tráfego e normalmente são liberados quando a rajada é transmitida, a ausência de confirmação que proporciona uma baixa latência de sinalização e uma complexidade de implementação inferior se comparada à comutação de pacotes ópticos já que a velocidade de comutação exigida para as rajadas é menor.

Além disso, a comutação OBS vem sendo considerada uma séria candidata para atender à computação em grade por uma série de razões, dentre as quais se destacam [Simeonidou e Nejabati, 2006]:

- As requisições (tarefas) de uma aplicação podem ser diretamente mapeadas para rajadas ópticas. A granularidade variável das informações na rede OBS permite diferentes perfis de tráfego.
- A separação entre dados de controle (BCP) e dados de aplicação (rajadas) proporciona transmissões de dados de forma totalmente óptica, sem a necessidade de se converter o sinal do domínio óptico para o domínio eletrônico e vice-versa.
- O processamento eletrônico dos pacotes de controle permite a adição de novas funcionalidades no contexto de grades, como descoberta inteligente de recursos e segurança.

Portanto, a comutação de rajadas se apresenta como uma opção atrativa para ser utilizada na computação em grade, o que resulta no conceito de GOBS (Grid OBS) [Nejabati, 2007]. O GOBS está em fase de padronização e diversas questões ainda precisam ser resolvidas o que proporciona inúmeras possibilidades de pesquisa.

#### 3.3. Conexões Determinísticas e Seleção de Recursos

Um aspecto importante no contexto da computação em grade é a necessidade de se proporcionar às aplicações níveis de serviço que estejam de acordo com as exigências das mesmas. Portanto, oferecer Qualidade de Serviço (QoS) às aplicações e aos usuários da grade é fundamental para que os serviços sejam cada vez mais atrativos para os diferentes perfis de usuários, contribuindo assim para a disseminação do paradigma de computação em grade e, conseqüentemente, para a redução dos custos de

implementação e manutenção desses serviços. Por essa razão, as redes ópticas de próxima geração são a melhor alternativa para esse cenário em virtude de sua capacidade de transmissão de grandes volumes de dados em altas velocidades.

Mesmo assim, é desejável o cumprimento de certas garantias de desempenho que são exigidas pelas aplicações de grade. Logo, para isso, é necessário que se possa prover conexões ópticas capazes de oferecer um determinado nível de serviço para os fluxos de tráfego. Por exemplo, uma determinada tarefa pode requerer um caminho cuja probabilidade de perda não seja maior que certo limiar, definido com base nas características da aplicação. Um desafio presente nas redes baseadas na comutação puramente óptica é a ausência de uma tecnologia de *buffers* ópticos consolidada, o que dificulta a implementação de esquemas de qualidade de serviço.

Uma grade computacional é geralmente constituída por uma grande quantidade de recursos, inclusive recursos de rede. Do ponto de vista do usuário, não importa quem vai executar a tarefa e nem por onde os dados serão encaminhados, o que importa é que a tarefa seja executada de acordo com as restrições associadas a ela. Dessa forma, qualquer recurso em princípio pode ser alocado a uma tarefa.

Uma questão importante nas grades computacionais é a definição de quais recursos devem ser reservados para viabilizar a execução de uma determinada tarefa. Assim, a descoberta e seleção de recursos é um tópico que desperta bastante interesse na área. A descoberta e seleção de recursos podem ser estendidas aos componentes de rede e devem levar em consideração as características da aplicação. Por exemplo, através da monitoração dos níveis de utilização dos enlaces é possível decidir por uma rota menos congestionada para atender uma determinada requisição de uma aplicação e, assim, garantir que a tarefa não seja prejudicada por atrasos ou perdas excessivas.

Por fim, a engenharia de tráfego proporcionada pela arquitetura MPLS/GMPLS é uma opção atrativa para auxiliar na alocação dessas rotas determinísticas uma vez que conta com protocolos de roteamento e sinalização que permitem a definição de LSPs de forma explícita ou baseada em certas restrições [Awduche et al, 1999].

## **4. Arquitetura para oferecimento de conexões determinísticas em redes GOBS baseadas no GMPLS**

### **4.1. Servidor GOBS**

Para viabilizar a escolha de uma rota que atenda os requisitos de uma aplicação de grade, é necessário que sejam armazenadas informações relativas aos recursos que compõem a grade. Essas informações devem ser estruturadas em componentes que serão responsáveis por determinar qual a melhor rota que atende os requisitos de uma tarefa. Em seguida, os protocolos de roteamento e sinalização do GMPLS irão efetuar a reserva efetiva dos recursos para a tarefa.

O componente responsável por guardar as informações referentes aos recursos de rede e decidir sobre o melhor caminho para encaminhar uma tarefa, será denominado Servidor GOBS. A partir de consultas efetuadas, o Servidor GOBS deve verificar que possíveis rotas são mais adequadas para uma determinada requisição. Essas consultas devem considerar parâmetros como o nível de prioridade da tarefa, a taxa máxima de perda permitida, o atraso desejado, o número de comprimentos de onda requerido e a demanda de processamento e armazenamento da requisição.

Quando um nó for inserido na grade ele precisa ser registrado em um Servidor GOBS específico que conterà as informações referentes àquele recurso, como o tipo do recurso (computação ou rede), capacidade de processamento e armazenamento, nível de bloqueio atual e classe de serviço. A estrutura sugerida para o Servidor GOBS é apresentada a seguir e é exemplificada na Tabela 1.

- *Tipo*: Especifica se é um nó de computação ou de rede.
- *Processamento*: Representa a capacidade de processamento que um determinado nó possui medida em GFLOPS ( $10^9$  operações de ponto flutuante por segundo). Aplicável aos nós de computação.
- *Armazenamento*: Representa a capacidade de armazenamento que um determinado nó possui, medida em bytes. Aplicável aos nós de computação.
- *Bloqueio*: Probabilidade de bloqueio medida de forma “on-line” em função da quantidade de requisições bloqueadas em relação ao total de requisições. Aplicável aos nós de rede.
- *Classe*: Necessário para implementar diferenciação de serviços e com isso identificar a prioridade ou a classe de serviço pertencente a cada tarefa.

**Tabela 1. Exemplo de entrada no Servidor GOBS**

Nó	Tipo	Processamento	Armazenamento	Bloqueio	Classe
0	grade	3	512	-	-
1	rede	-	-	0,002	0
2	rede	-	-	0,005	1
3	grade	1	1024	-	-
4	rede	-	-	0,001	2

#### 4.2. Seleção de Rotas

A seleção de rotas leva em consideração parâmetros de QoS, tanto da rede quanto da grade. Neste caso, utiliza-se a probabilidade de bloqueio experimentada por fluxos de uma determinada classe de serviço em um enlace, o nível de utilização de um enlace, bem como a disponibilidade de processamento e armazenamento de um nó da grade. Essa seleção de recursos de rede tem por objetivo auxiliar nas decisões de engenharia de tráfego e minimizar o bloqueio de conexões em um ambiente dinâmico e com grande disponibilidade de recursos como a grade.

Como não há a determinação de qual destino a priori será responsável por processar a tarefa, pode se considerar que a abordagem de reserva de recursos adotada segue o modelo *anycast* [De Leenheer et al, 2006]. O destino será fixado a partir do momento em que a rota for calculada como resposta a consulta feita ao Servidor GOBS. Então, a sinalização GMPLS, através do roteamento explícito, fará a reserva dos recursos.

Um algoritmo de busca para viabilizar a seleção da rota para uma determinada tarefa é proposto e apresentado. O objetivo desse algoritmo é retornar uma resposta ao nó de borda OBS que fez a requisição. Essa resposta deverá conter a informação de uma rota explícita que atende os requisitos da tarefa que servirá como entrada para que o nó de borda execute a sinalização OBS/GMPLS e efetue a reserva dos recursos. O funcionamento do algoritmo de seleção de rotas é ilustrado na Figura 1.

---

### Seleção de rotas

---

- 1: Determinar origem, marcar origem como verificado.
  - 2: A partir da origem, verificar quais próximos recursos alcançáveis. Incluir a origem no vetor de rota explícita. Analisar o primeiro recurso.
  - 3: Verificar o tipo de recurso.
  - 4: Se for recurso de computação (tipo 1) e não está marcado como verificado:
  - 5: Verificar se existe capacidade de processamento/armazenamento disponível, marcar o nó como verificado. Em caso afirmativo, incluir esse nó no vetor de rota explícita. Devolver o vetor de rota explícita.
  - 6: Se for recurso de rede (tipo 2) e não está marcado como verificado:
  - 7: Verificar se os níveis de serviço estão dentro das especificações definidas e se há disponibilidade para o período desejado e marcar o nó como verificado. Em caso afirmativo, incluir o nó de saída do enlace referente ao recurso (vizinho) no vetor de rota explícita.
  - 8: Continuar com a busca em largura (repetir a partir do passo 3) até que se chegue em um nó de borda que executa a tarefa (passo 5).
  - 9: Se nenhum caminho com as especificações definidas for encontrado, então relaxar as métricas enquanto não se atingir o limiar de descoberta de rotas (RDT) e reiniciar a busca.
  - 10: Se nenhum caminho for encontrado encaminhe a rajada para o destino padrão.
- 

**Figura 1. Algoritmo para seleção de rotas.**

É interessante que o algoritmo possa ser flexibilizado para que retorne uma aproximação quando não conseguir calcular a rota que atenda a todos os requisitos da tarefa ao invés de simplesmente descartar a requisição. Para isso foi definido um parâmetro chamado RDT (*Route Discovery Threshold*) que define o limite para o qual uma métrica pode ser alterada para que novos caminhos sejam encontrados nas próximas requisições. O parâmetro RDT funciona conforme ilustrado na Figura 2.

---

#### RDT

---

```

degree = 0
while degree <= RDT
    metric = metric+(metric * degree)
    buscar uma nova rota
    incrementar degree
end-while

```

---

**Figura 2. RDT**

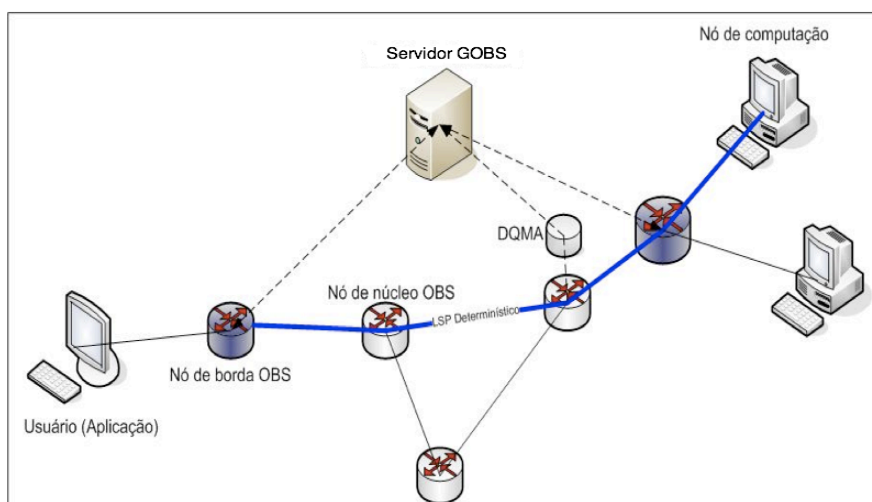
Onde *degree* representa o fator de mudança da métrica que afetará as próximas buscas por rotas e *metric* é o valor da métrica em questão.

### 4.3. Monitoração dos recursos

Para possibilitar a monitoração dos níveis de qualidade de serviço experimentados por classes de rajadas ópticas em enlaces específicos da rede utiliza-se o agente DQMA (*Dynamic QoS Management Agent*) proposto em [Farias et al, 2008]. De uma forma geral, o DQMA coleta estatísticas “*on-line*” dos fluxos de cada classe de rajada e as compara com uma tabela que contém os níveis de serviço definidos previamente (contexto). Existem dois tipos de agente: o de núcleo, responsável por coletar as estatísticas e enviar alarmes para a borda na ocorrência de quebras de contexto e o de borda que toma uma decisão de engenharia de tráfego no recebimento de uma mensagem de alarme.

O DQMA será o componente responsável por atualizar as estatísticas dos recursos no Servidor GOBS. Para isso, o DQMA deverá ser estendido para levar em consideração também os recursos de computação. Neste trabalho, a funcionalidade de alarme do agente DQMA não é considerada, uma vez que uma decisão de engenharia de

tráfego é feita para cada tarefa com base nas informações presentes no Servidor GOBS. A Figura 3 ilustra a idéia geral da arquitetura de seleção e estabelecimento de conexões determinísticas proposta para este trabalho.



**Figura 3. Arquitetura para provisionamento de conexões determinísticas**

Em linhas gerais, a proposta funciona da seguinte forma: no momento da submissão de uma tarefa (*job*) a mesma é encapsulada em uma rajada óptica e as informações referentes aos parâmetros de QoS, bem como a demanda de processamento e armazenamento da tarefa, são codificadas no pacote de controle (BCP). Antes da rajada ser enviada, uma consulta é feita ao Servidor GOBS com o objetivo de se obter uma rota que satisfaça os requisitos da tarefa. A rota obtida é então repassada para o protocolo de sinalização. O protocolo RSVP-TE permite o roteamento explícito através do uso de Objetos de Roteamento Explícito (*ERO – Explicit Route Objects*) [Awduche et al, 2001] que são codificados dentro das mensagens PATH do protocolo. Após o tempo de ajuste, a rajada é enviada para o destino escolhido, com base na rota calculada pelo Servidor GOBS.

#### 4.4. Gerenciamento bi-modal de qualidade de serviço

A arquitetura proposta pressupõe a existência de dois modos de operação para proporcionar o oferecimento de rotas determinísticas, ou seja, com qualidade de serviço:

- **Modo pró-ativo:** Nesse modo cada rajada é tratada de forma independente. No momento em que uma rajada necessita ser enviada uma consulta é feita ao Servidor GOBS para que uma rota seja descoberta de acordo com restrições de desempenho descritas no pacote de controle.
- **Modo reativo:** Nesse modo as rajadas são agrupadas em fluxos. Quando as rajadas de um determinado fluxo começam a experimentar uma degradação excessiva de desempenho (quebra de contexto) uma consulta é feita ao Servidor GOBS na busca de uma rota mais adequada.



## 5. Análise da Proposta

### 5.1. Ambiente de simulação

A ferramenta de simulação utilizada para viabilizar a análise da proposta foi o ns-2 [NS, 2007] com as devidas extensões desenvolvidas para caracterizar a proposta.

Dentre elas podemos citar: um agente para representar a funcionalidade de um nó de borda OBS que executa as funções de montagem de rajadas; mapeamento de tarefas de grade (*jobs*) para rajadas e sinalização (tempo de ajuste); modificações no nó MPLS com a adição de estruturas para representar os comprimentos de onda da fibra e a implementação do controle de admissão dinâmico de rajadas; um agente DQMA para coletar as estatísticas de bloqueio em um determinado nó da rede e repassá-las ao Servidor GOBS; um componente para representar o Servidor GOBS com a estrutura sugerida na seção 4.1 e a função de busca necessária para calcular a rota; e um agente para representar um nó de computação de grade, sendo que este nó deve conter informações sobre a capacidade de processamento e armazenamento total e disponível.

### 5.2. Cenário avaliado

A topologia utilizada é ilustrada na Figura 4. Os nós 0, 1 e 2 são responsáveis por gerar as tarefas (*jobs*). Os nós 21 a 27 são nós de computação que processam os *jobs*. Os demais (3 a 19) são nós de rede (comutadores ópticos). O nó 23 é escolhido como o destino padrão quando não há um mecanismo de descoberta de recursos ativo. Os enlaces possuem capacidade de 10 *gigabits* por segundo e retardo de propagação de 1 milissegundo. Esta topologia foi intencionalmente escolhida por proporcionar caminhos disjuntos, que por sua vez permitem a visualização de maneira mais clara do impacto da mudança nas rotas selecionadas.

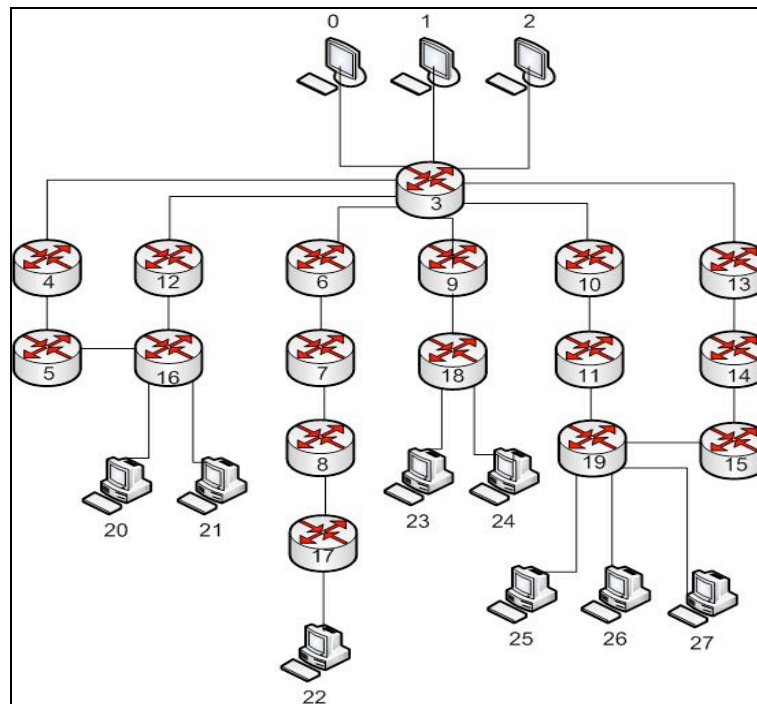


Figura 4. Topologia utilizada nas simulações

Os *jobs* possuem tamanhos médios de 1,5 *megabytes* [Chen et al, 2007] distribuídos exponencialmente. A demanda de processamento de um *job* é uma fração do total disponível em um nó de simulação também distribuída exponencialmente com uma média de 60% do total. O total de capacidade de processamento e armazenamento disponível em cada nó de computação é de 5 GFLOPS e 1 *gigabyte* respectivamente. O tempo de ajuste das rajadas é de 3 milissegundos. A chegada de rajadas segue um processo de Poisson. São definidas três classes de serviço para esta análise: classe 0, classe 1 e classe 2, sendo que a classe 0 é a de mais alta prioridade, a classe 1 possui prioridade intermediária e classe 2 é a de melhor esforço.

Foi utilizado um mecanismo de controle de admissão semelhante ao proposto em [Zhang et al, 2004] onde existe um número máximo de comprimentos de onda reservado para cada classe de serviço. Para a classe 0 foram atribuídos 5 comprimentos de onda, a classe 1 possui 3 comprimentos de onda e a classe 2 somente 1. A probabilidade de bloqueio máxima definida para cada classe de serviço é: 0.01 para a classe 0, 0.005 para a classe 1 e 0.1 para a classe 2. O valor de RDT foi fixado em 0.5.

### 5.3. Resultados obtidos

A primeira análise é referente à probabilidade de bloqueio experimentada por cada classe de serviço utilizando os dois modos de gerenciamento de qualidade de serviço descritos na seção 4.4. A Figura 5 ilustra esses resultados.

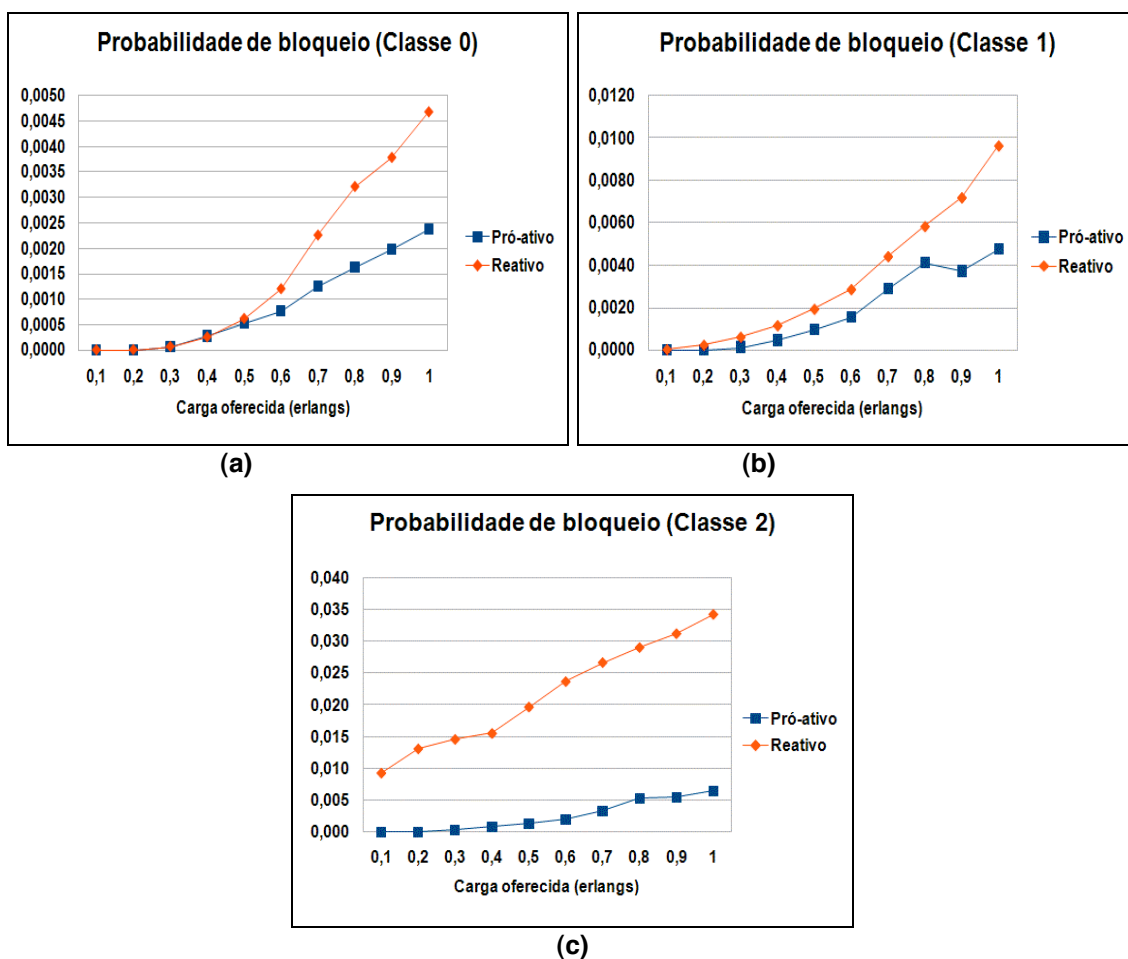


Figura 5. Probabilidade de bloqueio por classe

É possível observar que, de uma maneira geral, o gerenciamento pró-ativo de qualidade de serviço apresenta um melhor desempenho comparado ao modo reativo. Isso se deve ao fato de que o modelo pró-ativo se adapta mais rapidamente à dinâmica da rede uma vez que as rajadas são tratadas de forma independente. O modelo reativo é mais adequado quando a rede não apresenta uma variabilidade muito grande no desempenho das classes de serviço, sendo necessárias poucas consultas ao Servidor GOBS. Além disso, a proposta conseguiu garantir o desempenho requerido para todas as classes de serviço já que os valores de probabilidade de bloqueio obtidos são menores que os definidos na seção 5.2.

O atraso fim-a-fim nos nós de computação é ilustrado na Figura 6. Novamente o esquema pró-ativo apresenta uma ligeira vantagem devido ao fato de que as mudanças de rotas, que implicam em caminhos com novos valores de atraso, são aplicadas mais rapidamente no modo pró-ativo.

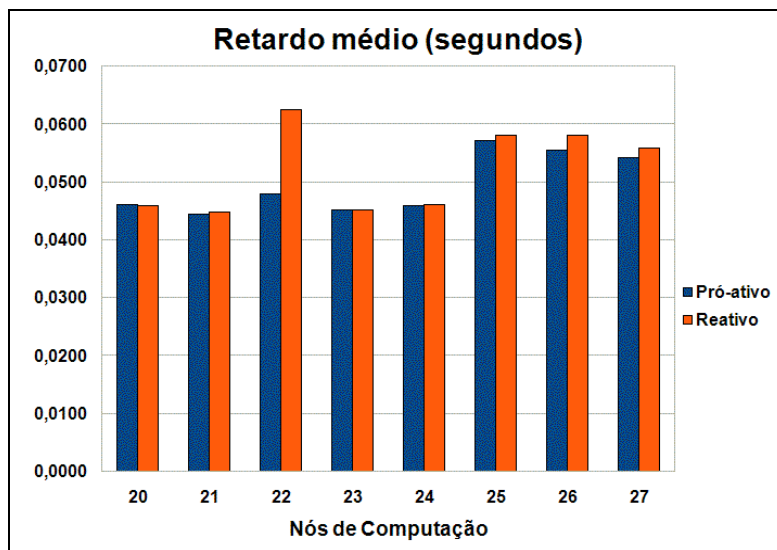


Figura 6. Atraso fim-a-fim

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados resultados referentes à utilização dos recursos de computação (processamento e armazenamento).

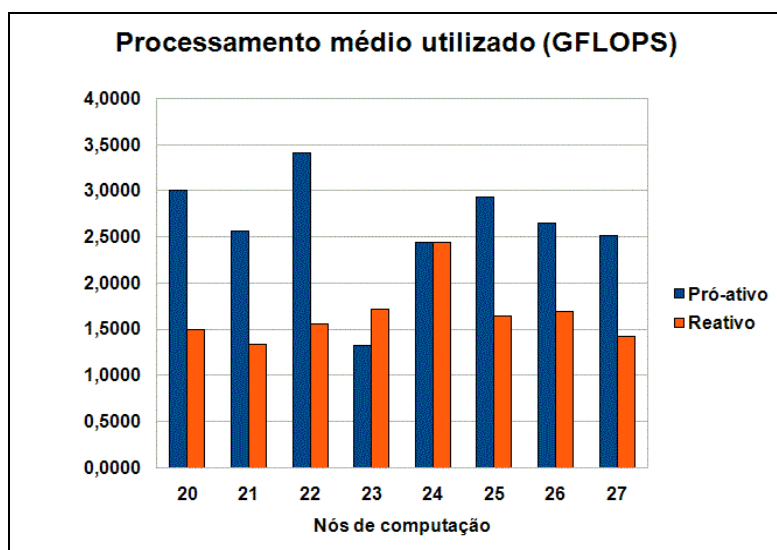


Figura 7. Processamento médio utilizado

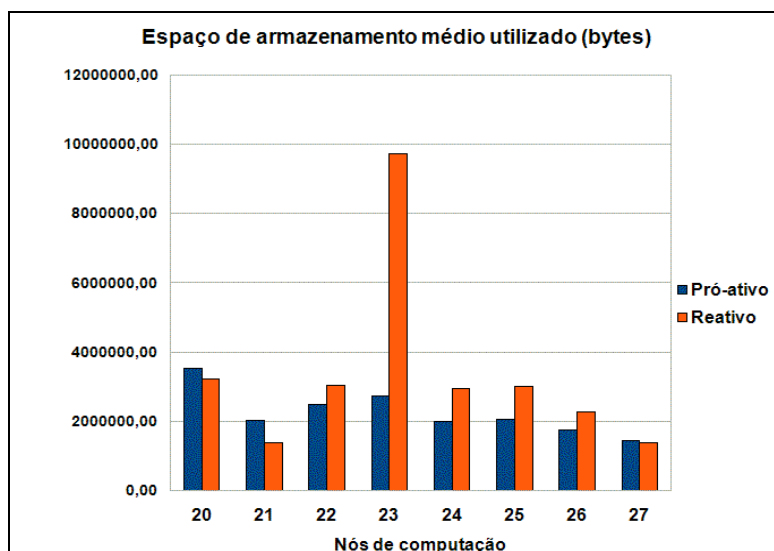


Figura 8. Armazenamento médio utilizado

Para o processamento, observa-se que o modo pró-ativo tem uma vantagem em relação ao modelo reativo, isto ocorre devido ao fato que o modelo pró-ativo busca a melhor forma de satisfazer a tarefa. Isto implica em um maior e mais frequente balanceamento da carga de processamento entre nós de computação da grade justificando os níveis mais altos de processamento. Já no modelo reativo, o balanceamento ocorre de forma mais atrasada, ou seja, só quando há algum problema na rede ou na grade.

Para o armazenamento é possível observar que o modelo pró-ativo faz um uso mais racional dos recursos de armazenamento da grade se comparado ao modelo reativo, diminuindo a possibilidade de que haja sobrecarga e indisponibilidade de um recurso de armazenamento em um nó de computação, o que pode ser observado na Figura 9 no nó 23, uma vez que o excesso de requisições poderia ter gerado a indisponibilidade do recurso em questão neste nó de computação.

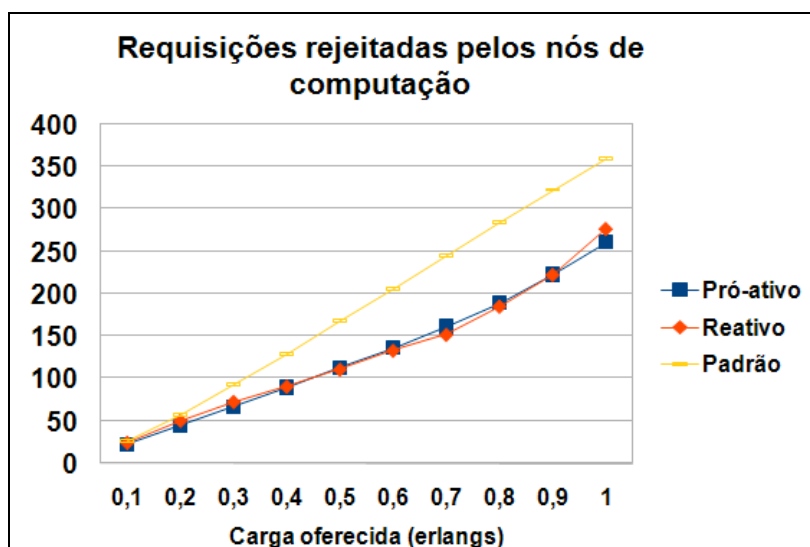


Figura 9. Requisições rejeitadas pelos nós de computação

A Figura 9 mostra o número médio de requisições que foram rejeitadas devido exclusivamente à ausência de recursos de computação (processamento/armazenamento) suficientes para atender a um determinado *job*/rajada. Aqui é feita uma comparação com a situação onde não há nenhum esquema de seleção de rotas sendo implementado (padrão).

Os resultados mostram que ambos os modos de gerenciamento de qualidade de serviço são capazes de reduzir o número de rejeições devido à ausência de recursos de computação quando comparada ao encaminhamento tradicional (sem engenharia de tráfego). O comportamento dos modos reativo e pró-ativo é bastante similar, pois ambos os modos proporcionam um balanceamento no uso dos recursos da grade, o que impede que o limite seja atingido como mostram os gráficos da Figuras 8 e 9.

## 6. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

A computação em grade vem ganhando força em um contexto onde a colaboração entre pesquisadores de diversas áreas do conhecimento é cada vez mais intensa. As redes de computadores são fundamentais para viabilizar a computação em grade e precisam ser adaptadas para esse modelo.

Esse trabalho procura atuar no problema do oferecimento de conexões determinísticas com garantias estritas de desempenho, o que é fundamental para certas classes de aplicações, especialmente aplicações científicas. As redes OBS apresentam características que as tornam vantajosas para serem utilizadas na computação em grade como a granularidade variável das informações e a separação entre dados de controle e de aplicação.

Os resultados mostraram que a proposta é capaz de melhorar e garantir o desempenho das classes de serviço através do uso da engenharia de tráfego. Além disso, o paradigma de roteamento *anycast* é estendido para os nós núcleo o que permite uma alocação de rotas mais precisa.

Trabalhos futuros envolvem a adição de novas métricas para a seleção de rotas, como atraso e variação do atraso. Um estudo mais adequado acerca da escalabilidade da proposta bem como a viabilidade de uma versão distribuída do Servidor GOBS também estão previstos.

## Referências

- Awduche, D.; Berger, L.; Gan, D.; Li, T.; Srinivasan, V.; Swallow, G. RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels. RFC 3209, Dezembro de 2001.
- Awduche, D. et al. (1999) Requirements for Traffic Engineering over MPLS. RFC 2702. Internet Engineering Task Force (IETF). Network Working Group.
- Chen, Y.; Tang, W.; Verma, P. K. Latency in Grid over Optical Burst Switching with Heterogeneous Traffic. In: Proceedings of High Performance Computing and Communications (HPCC 2007): 334-345.
- De Leenheer, M. et al. (2004) An OBS-based Grid Architecture. In: Workshop on high-performance global grid networks (Globecom 2004). *Proceedings of the IEEE Global Communications Conference*, Dallas, TX, USA.

- De Leenheer, M. et al. (2006) Anycast Algorithms Supporting Optical Burst Switched Grid Networks. In: International Conference on Networking and Services (ICNS). *Proceedings of the International Conference on Networking and Services*, Silicon Valley, USA.
- Esteves, R. P.; Farias, F. N. N.; Sousa, F. D.; Abelém, A. J. G. Qualidade de Serviço Absoluta em Redes OBS baseadas no GMPLS. 25º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, Anais do SBRC 2007, vol. 1, pp. 675-685, Belém, Pará, Brasil, 2007.
- Farias, F. N. N., Esteves, R. P. e Abelém, A. J. G. (2008) Gerenciamento Dinâmico de Qualidade de Serviço em Redes OBS Baseadas no GMPLS. In: 26º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. *Anais do SBRC 2008*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Foster, I. *Grid: (2002) A New Infrastructure for 21st Century Science*. Physics Today.
- Habib, I.W., Song, Q., Li, Z. e Rao, N.S.V. (2006) Deployment of the GMPLS Control Plane for Grid Applications in Experimental High-Performance Networks. *IEEE Communications Magazine*, Vol.44, Iss.3, Pages: 65- 73.
- Lehman, T., Sobieski, J. e Jabbari, B., (2006) DRAGON: a framework for service provisioning in heterogeneous grid networks. *IEEE Communications Magazine*, vol.44, no.3, pp. 84-90.
- Mannie E. (2004) *Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture*. RFC 3945. Internet Engineering Task Force (IETF), Network Working Group.
- Pedroso, P. et al. (2007) Integrating GMPLS in the OBS networks control plane. 9<sup>th</sup> International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Rome, Italy.
- Qiao, C. e Yoo, M. (1999) Optical Burst Switching (OBS) – A new paradigm for an optical Internet. *Journal of High Speed Networks (JHNS)*. Vol. 8, n° 1, pp. 69-84.
- Qiao, C. (2000) Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration. *IEEE Communications Magazine*, vol.38, pp. 104 - 114.
- Simeonidou, D., Nejabati, R. e Ciulli, N. (2006) *Grid Optical Burst Switched Networks (GOBS): Informational Track: draft-ggf-ghpn-GOBS-1*.
- Nejabati, R. (2007) *Grid Optical Burst Switched Networks (GOBS): Informational Track: draft-ggf-ghpn-GOBS-2*.
- Travostino, F., Mambretti, J. e Karmous-Edwards, (2006) *G. Grid Networks: Enabling Grids with Advanced Communication Technology*. John Wiley and Sons.
- Vint Project. (2006) *Virtual InterNetwork Testbed*. URL: <http://www.isi.edu/nsnam/vint/>. Acessado em: Agosto.
- Vokkarane, V. M. e Jue J. P. (2005) *Optical Burst Switched Networks*. Springer.
- 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.