

Predição de Falhas em Redes de Grades OBS com Plano de Controle GMPLS

Mariana Bechara¹, Jaime Sousa¹, Fernando Farias¹, Davison Holanda², Eduardo Cerqueira^{1,2}, Antônio Abelém^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém – PA – Brazil

²Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém – PA – Brazil

{marianabechara,davisonph}@gmail.com,
{fernndf,cerqueira,abelem}@ufpa.br, jaimes@click21.com.br

Abstract. *This paper presents a proposal for predict failures in OBS grid network to assist applications in collaborative environments, like E-Science. Agents monitoring traffic (DQMA-Fuzzy) for related QoS parameters and others related to imperfections in optical links. A system based on fuzzy logic has been developed to give more robustness and flexibility in decision-making agents, because it presents a solution faster and easily implementable. NS-2 (Network Simulator – 2) simulations show that the proposed DQMA-Fuzzy is able to minimize blockages and balancing the use of grid resources, ensuring well-defined service levels, assisting in traffic engineering and fault prediction.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma proposta para predição de falhas em rede de grade OBS que auxilia as aplicações em ambientes de colaboração, como a E-Science. Os agentes de monitoração de tráfego (DQMA-Fuzzy) verificam parâmetros relacionados à QoS e as imperfeições nos enlaces ópticos. Por apresentar uma solução mais rápida e facilmente implementável, foi desenvolvido um sistema baseado em lógica Fuzzy para dar mais robustez as decisões dos agentes. Simulações no NS-2 (Network Simulator – 2) demonstram que a proposta minimiza bloqueios e balanceia o uso dos recursos da grade, garantindo níveis de serviços bem definidos, auxiliando na engenharia de tráfego e na predição de falhas.*

1. Introdução

Com os avanços da tecnologia de pesquisa colaborativa, as redes de ensino e pesquisa estão passando por transformações para se adequar aos requisitos impostos por novas aplicações. Dentre estas aplicações, podemos destacar a *E-Science* que define um conjunto de aplicações científicas avançadas que utilizam grandes quantidades de recursos como processamento, armazenamento, memória e rede [Esteves 2010].

A computação em grade (*Grid computing*) surge como um modelo que propõe o uso de recursos computacionais distribuídos em diversas localizações, para resolver problemas que exigem grande poder computacional. Este modelo necessita de uma

grande quantidade de largura de banda que pode ser suprida pela utilização das redes ópticas. Atualmente, as redes OBS (*Optical Burst Switching*) e o plano de controle GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) são dois paradigmas que suportam as aplicações em grade [Hong 2009].

A comutação de rajadas ópticas apresenta vantagens se comparada às outras abordagens de comutação óptica, como: a alta utilização dos enlaces, o baixo *overhead* de processamento/sincronização e a separação do plano de controle, o qual é responsável por localizar os recursos e sinalizar de maneira inteligente o caminho a ser utilizado [Esteves 2010]. Logo, a rede OBS se apresenta como uma opção atrativa para ser utilizada na computação em grade, o que resulta no conceito de Grid-OBS (GOBS - *Grid Optical Burst Switched Networks*) [Nejabati 2008].

Para diminuir a complexidade da arquitetura, fornecer maior inteligência ao plano de controle da rede OBS, reduzir problemas de roteamento inerentes das redes IP (*Internet Protocol*), assim como fornecer engenharia de tráfego, foi proposta a utilização do plano de controle com uso do protocolo GMPLS [Mannie 2004] nas redes OBSs.

O plano de controle pode localizar os recursos e sinalizar o caminho a ser utilizado de maneira inteligente. Nas redes com GMPLS, os LSPs (*Label Switched Path*) podem apresentar vários problemas, entre eles os relacionados a parâmetros físicos. Por este motivo, o presente trabalho irá utilizar técnicas de inteligência computacional que analisam múltiplas métricas para otimizar a tomada de decisão e realizar a predição de falhas, minimizando os problemas nos LSPs.

Para realizar esta predição são necessárias técnicas que possam ser facilmente modificadas, que sejam rápidas computacionalmente, implementadas em microprocessadores, que possam lidar com incerteza e com múltiplas variáveis. Neste caso, a lógica Fuzzy preenche esses requisitos, oferecendo robustez e flexibilidade na tomada de decisão, otimizando a realização da predição de falhas no enlaces ópticos e possibilitando a execução de mecanismos reativos para minimizar as perdas de rajadas ópticas ou tarefas (*jobs*).

Este trabalho tem como objetivo realizar a predição de falhas em enlaces ópticos de redes GOBS, através da utilização de lógica *Fuzzy* para maximizar a confiabilidade da rede. Para tal, foi realizada uma extensão do trabalho de Esteves (2010) onde os agentes de monitoração (DQMA-Fuzzy) da rede GOBS agora analisam métricas de nível físico (atenuação e temperatura) e a probabilidade de bloqueio de transmissão de uma rajada óptica baseada em classes de serviço, a fim de avaliar o comportamento de um enlace óptico e predizer sua falha. Esta proposta é avaliada através do simulador NS-2 (*Network Simulator – 2*) com o objetivo de analisar seu comportamento na melhora do desempenho da rede.

Este artigo, além desta introdução, possui ainda mais cinco seções. Na seção 2, são listados os trabalhos relacionados à proposta do artigo. Na seção 3, são apresentados alguns conceitos relacionados a redes OBS, GMPLS e outros. Na seção 4, é apresentada a arquitetura de predição de falhas. Na seção 5, realiza-se a análise da proposta para verificar o seu impacto na predição de falhas em enlaces ópticos. Por fim, a seção 6 apresenta as considerações finais e lista alguns trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

[Filho 2011] realiza uma revisão de aplicações que utilizam inteligência computacional para resolver problemas de redes ópticas, com foco no roteamento e alocação de comprimento de onda considerando as degradações de camada física (*Impairment-Aware Routing and Wavelength Assignment - RWA-IA*) e no design da topologia física. Também apresenta o estado da arte de trabalhos relacionados, o que indica que estas técnicas são úteis para os pesquisadores de redes ópticas de próxima geração.

[Jelinskis 2011] apresenta um algoritmo Fuzzy-CAC (*Call Admission Control*), utilizado em rede GMPLS, com a função de tomar decisões levando em consideração as requisições de serviços, baseados em classe de QoS (*Quality of Service*), e os recursos de rede disponíveis, além de selecionar o esquema de proteção para o estabelecimento de LSP. Este trabalho demonstra que pode-se otimizar e prover técnicas efetivas de QoS em redes ópticas utilizando lógica Fuzzy. Porém não investiga e não prediz problemas que possam gerar falhas em LSP.

[Esteves 2010] apresenta uma arquitetura para o estabelecimento automático de conexões, que satisfazem às restrições de desempenho de aplicações em redes GOBS com plano de controle GMPLS. Para tal é utilizado um elemento chamado servidor GOBS, que coleta e armazena informações sobre recursos de rede e de grade, a fim de auxiliar no cálculo de caminhos determinísticos. Também mostra que esta proposta é capaz de melhorar e garantir níveis de serviços, além de minimizar bloqueios de rajadas ópticas e proporcionar melhor utilização dos recursos de rede e de grade. A partir deste artigo é verificada a possibilidade de que estes resultados podem ser tornar mais satisfatórios se for atribuída inteligência aos agentes da rede, devido ao fato de antecipar falhas que só são conhecidas durante a transmissão dos dados.

Os trabalhos citados revelam que apesar de existirem poucos estudos que utilizem técnicas de inteligência computacional na provisão de QoS em redes ópticas e na realização de tolerância a falhas, aplicar estas técnicas é uma alternativa eficiente para resolver problemas complexos [Filho 2011].

3. Referencial Teórico

Nas redes OBS, os pacotes OBS, também conhecidos como rajadas ópticas, são criados na borda da rede e transmitidos ao nó de saída. Após a criação da rajada, é enviada uma mensagem de controle que provê as informações necessárias para a reserva de recursos nos nós intermediários, estas mensagens são chamadas de BHP (*Burst Header Packets*) ou BCP (*Burst Control Packet*), sendo transmitidas separadamente sob um canal de controle dedicado [Saha 2010].

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 é enviada sem que haja qualquer confirmação de que os recursos necessários foram alocados corretamente.

No que diz respeito ao plano de controle, o 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]. Porém, um dos problemas remanescentes no protocolo GMPLS é a ausência de mecanismos de re-roteamento rápido destinados ao tratamento de falhas de links ópticos [Gonçalves 2008].

Nestas redes, podem ocorrer perdas de dados devido à contenção de rajadas ou alterações na fibra. Em [Bathula 2010] é mostrada que a maioria das soluções propostas para resolver o problema das perdas em redes OBS assume que não existe erro na fibra, mas na prática isto não ocorre, pois as rajadas transmitidas atravessam muitos componentes ópticos – como multiplexadores, demultiplexadores, *splitters* e amplificadores ópticos – causando uma degradação na qualidade do sinal.

Perdas de rajadas ópticas são críticas, especialmente as que possuem requisitos de QoS, pois cada rajada contém uma grande quantidade de dados. Entre os problemas que podem ocorrer na fibra, podem-se citar os erros relacionados com as variáveis da camada física, que afetam diretamente a qualidade da transmissão em um meio óptico, como por exemplo, o atraso (*delay*), a atenuação, taxa de erros e relação Sinal/Ruído. Estes erros podem provocar perdas das rajadas ópticas.

O bloqueio de uma rajada também é considerado fator degradante, principalmente para aplicações sensíveis à perda de pacote, pois a quantidade de informação perdida é muito superior ao de uma rede comum. Este bloqueio pode ser ocasionado por uma tentativa recusada de reserva de recursos, tal como a alocação de um comprimento de onda.

Na próxima seção, é descrita a arquitetura proposta para predição de falhas em redes GOBS com plano de controle GMPLS utilizando lógica Fuzzy.

4. Arquitetura de Predição de Falhas em Redes GOBS usando GMPLS

Um aspecto importante no contexto da computação em grade é a necessidade de se proporcionar disponibilidade de recursos. Portanto, engenharia de tráfego às aplicações de grade é fundamental, pois contribui para a redução dos problemas que surgem por perdas de pacotes, principalmente devido aos elevados tempos de comutação de um LSP para outro no protocolo GMPLS. Aliado a isso, as causas mais comuns de falhas nos sistemas de transmissões ópticos são: erro de roteamento, interrupção de linhas, degradação de desempenho e falhas de *hardware* [Black 2002].

A engenharia de tráfego proporcionada pela arquitetura 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.

A arquitetura adotada neste trabalho é baseada na proposta de Esteves (2010) e composta pelos elementos descritos a seguir, os quais sofreram alterações de acordo com o objetivo deste trabalho. É utilizada a lógica *Fuzzy* nos agentes de monitoração presentes em todos os equipamentos da rede, a fim de gerar alertas e prover uma detecção de falhas de maneira proativa para minimizar as perdas de *jobs*.

4.1. Monitoração de Recurso – DQMA-Fuzzy

Um agente de monitoração denominado DQMA (*Dynamic QoS Management Agent*) foi proposto em [Farias 2008] com a finalidade de monitorar os níveis de QoS

experimentados por classes de rajadas ópticas em enlaces específicos da rede. Neste trabalho, o DQMA foi estendido e renomeado para DQMA-Fuzzy, pois além de monitorar os níveis de QoS, também coleta estatísticas “*on-line*” de valores relacionados à camada física (temperatura e atenuação) que ocasionam perdas no enlace.

Estes agentes estão presentes em todos os nós da rede e podem ser de dois tipos: o de núcleo e o de borda, mostrados na Figura 1. O primeiro é responsável por coletar informações e analisar o estado do enlace. Na ocorrência de problema, este agente envia alarmes para o de borda. O segundo toma uma decisão de engenharia de tráfego no recebimento do alarme e gera uma solicitação de nova rota para o servidor GOBS, que será explicado a seguir.

O agente DQMA-Fuzzy pode enviar dois tipos de alarmes: o alarme alerta e o alarme problema. O primeiro indica a anormalidade (atenção) no enlace óptico, porém ainda está dentro dos limites toleráveis. Neste caso, é criada uma rota alternativa para o tráfego em questão que só será utilizada quando ocorrer a falha do enlace. O alarme problema informa que o enlace já ultrapassou o limite pré-estabelecido e poderá falhar, sendo obrigatória uma nova rota. Neste caso, o agente DQMA-Fuzzy de borda irá verificar se já existe uma rota alternativa pré-definida e a utilizará, caso não exista, irá solicitar uma nova rota ao servidor GOBS. Esta comunicação está ilustrada na Figura 1.

4.2. Servidor GOBS

O elemento chamado de servidor GOBS é responsável por guardar as informações referentes aos recursos de rede e decidir sobre a melhor rota para encaminhar uma tarefa. A partir de consultas efetuadas em elementos de rede e da grade, o servidor GOBS deve verificar que possíveis rotas são mais adequadas para uma determinada requisição (*job*). Quando houver a necessidade de inserção de um novo nó na grade, este precisará ser registrado no servidor GOBS.

A visão dos nós participantes constitui para o servidor GOBS um único domínio de atuação. Todos os caminhos calculados são estabelecidos dentro de domínio administrado pelo servidor, caracterizando um AS (*Autonomous System*) GOBS. A Figura 1 ilustra a visão do servidor GOBS e seu domínio de atuação.

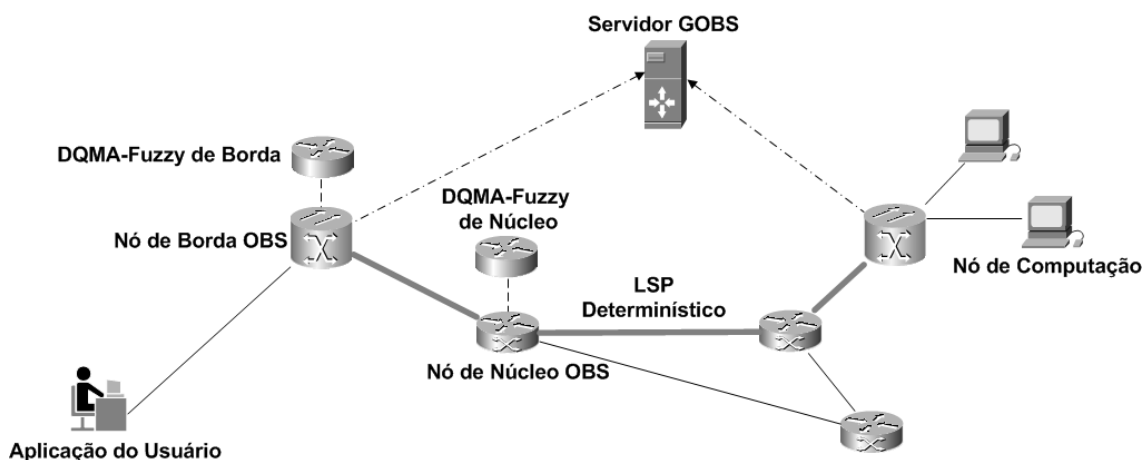


Figura 1. Arquitetura GOBS com agentes DQMA-Fuzzy.

A resposta do servidor GOBS ao agente DQMA-Fuzzy deverá conter a informação de uma rota explícita, que atende os requisitos da tarefa, levando em consideração o gerenciamento proativo e informando os enlaces com menor probabilidade de perda. Caso o nó de destino da grade esteja com problema no enlace, o algoritmo encontra uma nova rota para um novo destino.

4.3. Módulo Fuzzy

O módulo Fuzzy tem como objetivo determinar o estado do enlace óptico para prever as falhas e, quando necessário, gerar um alarme que é o responsável pela identificação/escolha de uma nova rota pelo servidor GOBS.

Este módulo foi construído baseado em sistemas difusos [Zadeth 1965], que são sistemas que utilizam uma variedade de conceitos e técnicas para representar e inferir conhecimento impreciso e incerto. Os sistemas difusos são sistemas dinâmicos paralelos que estimam funções de entradas/saída, sendo que as relações entre as variáveis são representadas através de regras SE-ENTÃO na forma: SE (antecedente) ENTÃO (consequente).

O antecedente é uma proposição do tipo “x é A”, onde x é uma variável do problema e A é um termo linguístico (por exemplo: quente, frio e normal) geralmente representado por uma função de pertinência. O conjunto de regras SE-ENTÃO pode ser obtido através de especialistas no domínio do problema ou então diretamente de uma base de dados representativa do problema.

O sistema proposto analisa informações de probabilidade de bloqueio por classes e duas variáveis do nível físico, temperatura e atenuação, que foram utilizadas como entradas Fuzzy (fuzzificadas), que passam pelo processo de inferência das regras, resultando na análise do estado do enlace (defuzzificação).

Dentre as variáveis da camada física que afetam a qualidade da transmissão em um meio óptico, utilizou-se a atenuação e a temperatura, pois sua variação no transmissor é a causa da relação sinal/ruído.

Os valores utilizados para estas variáveis foram baseados numa média obtida a partir dos manuais dos equipamentos WDM (*Wavelength-Division Multiplexing*) e *switches* dos fabricantes Alcatel/Lucent (2011) e Datacom (2011), que apesar de apresentarem valores negativos, estes foram desconsiderados após avaliação do comportamento dos equipamentos. Para representar o estado normal usou-se o intervalo fechado [0°C, 60°C] para a temperatura e o intervalo entre [0db, 50db] para a atenuação.

No caso da probabilidade de bloqueio definiram-se três classes de serviços para esta análise: classe 0, classe 1 e classe 2. Sendo a classe 0 de alta prioridade, a classe 1 com prioridade intermediária e a classe 2 a de melhor esforço, seus valores máximos permitidos foram propostos em [Esteves 2010].

Todos os intervalos das variáveis estão representados na Tabela 1. Baseados nestes valores construíram-se as funções de pertinência para as entradas do sistema difuso que associam cada um dos parâmetros em variáveis *fuzzificadas*.

Tabela 1. Intervalos limites para as variáveis.

Variáveis		Valores Limites		
		Normal	Aceitável	Não Aceitável
Atenuação (A)		$25 < A < 50$	$0 < A < 25$	$A > 50$
Probabilidade de Bloqueio (Pb)	Classe 0 (Pb ₀)	$0 < Pb_0 < 0.0005$	$0.0005 < Pb_0 < 0.001$	$Pb_0 > 0.001$
	Classe 1 (Pb ₁)	$0 < Pb_1 < 0.0025$	$0.0025 < Pb_1 < 0.005$	$Pb_1 > 0.005$
	Classe 2 (Pb ₂)	$0 < Pb_2 < 0.005$	$0.005 < Pb_2 < 0.01$	$Pb_2 > 0.01$
Temperatura (T)		Frio	Normal	Quente
		$0 < T < 18$	$18 < T < 60$	$T > 60$

A Figura 2 mostra as funções de pertinência para cada variável. É importante lembrar que as curvas apresentadas refletem a média da configuração de um equipamento de rede em particular. Elas podem ser modificadas de acordo com as necessidades e premissas de cada equipamento. Nesta configuração, utilizaram-se funções de pertinência para mapear cada uma das variáveis.

Foram utilizadas funções de pertinência trapezoidais conforme ilustrado nas Figuras 2(a), 2(b), 2(c), 2(d) e 2(e), pois este tipo de função permite representar todo o intervalo de pontos de máximo para as variáveis de entrada (atenuação, temperatura e probabilidade de bloqueio).

As Figuras 2(c), 2(d) e 2(e) apresentam as funções de pertinência para as classes 0, 1 e 2, respectivamente e a Figura 2(a) representa a atenuação. Para elas, são utilizados os seguintes termos linguísticos: normal, aceitável e não aceitável. Enquanto a Figura 2 (b) representa a temperatura e utiliza os termos linguísticos: normal, quente e frio.

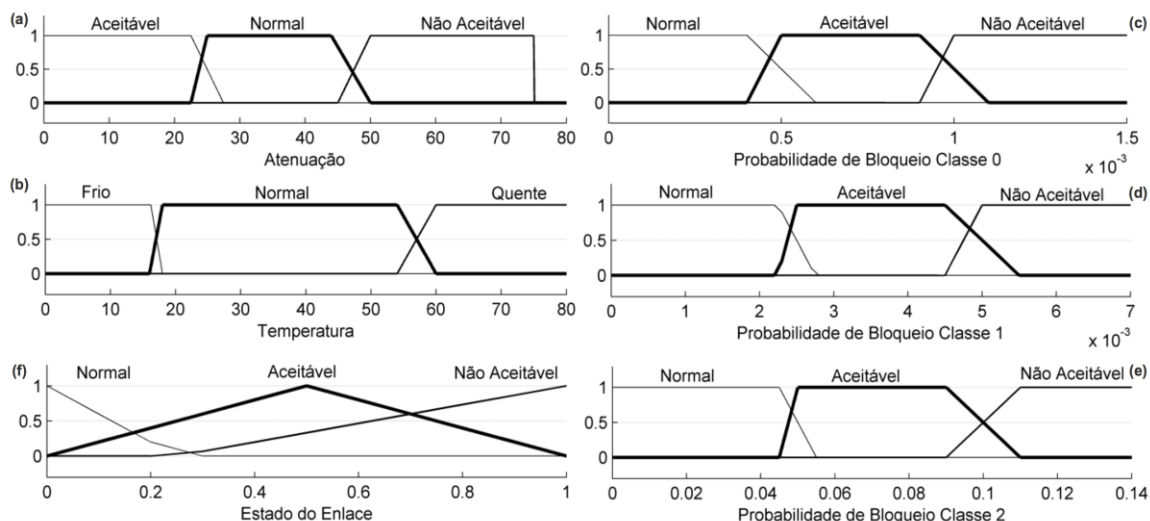


Figura 2. Variáveis Linguísticas

O modo de inferência utilizado na base de regras foi baseado em composição, onde todas as regras da base de regras são combinadas com uma relação *Fuzzy* simples: união ou interseção (operadores E ou OU). A interpretação das regras SE-ENTÃO foi implementada pelo método de implicação de Mamdani (S-norma) [Zadeth 1965], ou

seja, para todas as regras que o grau de pertinência para função em questão for maior que zero, essas irão contribuir para o cálculo de saída correspondente do sistema de inferência.

A utilização deste tipo de máquina de inferência foi devido ao fato de suas vantagens como: simplicidade computacional, apelo intuitivo e por ser amplamente utilizada em sistemas difusos. A base de regras do problema é considerada como local pelo especialista em redes GOBS.

Este sistema difuso [Zadeth 1965] possui como entrada três variáveis linguísticas, o que resulta num conjunto de vinte e sete regras para a base, aqui não descritas. Estas regras levam em consideração o conhecimento explícito do especialista no ambiente.

Após a aplicação das regras de inferência, são gerados valores nebulosos que representam o grau de pertinência de cada uma das regras de inferência e é feito um mapeamento entre estas regras e a saída do sistema, que é um valor no intervalo contínuo entre $[0, 1]$, representado pela variável estado do enlace. Este valor pode ser utilizado para gerar os alarmes do agente DQMA-Fuzzy.

A função de pertinência de saída foi baseada na função triangular e é mostrada na Figura 2(f), possuindo os termos linguísticos: normal, aceitável e não aceitável. No termo **Normal**, não há qualquer tipo de ação a ser aplicada na rede; o **Aceitável** admite que existam falhas, mas não prejudica a aplicação, gerando um alarme alerta; enquanto o **Não aceitável** representa a imediata necessidade de fluxo de rajada ser remanejado para outro enlace, enviando o alarme problema.

O mapeamento do conjunto difuso da saída para valores reais, denominado de processo de defuzzificação, é realizado através do defuzzificador “Média Ponderada dos Máximos”, o qual produz um valor numérico considerando a média ponderada dos valores centrais ativados, sendo os pesos os graus de pertinência de cada variável linguística de saída.

5. Análise da Proposta

A arquitetura proposta opera de maneira proativa para prever falhas nos enlaces ópticos avaliando informações de meio físico, temperatura e atenuação, e a probabilidade de bloqueio de rajadas de acordo com as classes, garantindo os níveis de QoS, através da solução *DQMA-Fuzzy*. Também proporciona o oferecimento de rotas determinísticas que reduzem as perdas. Esta arquitetura funciona como descrito a seguir.

No momento da submissão de uma tarefa (*job*), ela é encapsulada em uma rajada óptica e as informações referentes aos parâmetros de QoS são codificadas no pacote de controle (BCP). Porém, antes da rajada ser enviada, uma consulta é feita ao servidor GOBS a fim de obter uma rota que satisfaça os requisitos da tarefa. A rota obtida é então repassada para o protocolo de sinalização. Após o tempo de ajuste, a rajada é enviada para o destino escolhido. Os nós de borda da rede OBS são responsáveis por solicitar as rotas para o servidor GOBS e os nós de núcleo encaminham as rajadas com base no caminho selecionado.

O agente DQMA-Fuzzy é responsável por coletar as informações de camada física e probabilidade de bloqueio dos nós OBS e repassá-las ao módulo DQMA-Fuzzy,

o qual pode prever situações de falhas e gerar alertas, solicitando novas rotas ao servidor GOBS, minimizando assim as perdas de rajadas ópticas.

5.1. Cenário Avaliado

Para avaliar o impacto da utilização desta arquitetura foram realizadas simulações computacionais através da utilização da ferramenta NS-2 (2011).

No entanto, foi necessário desenvolver extensões, baseando-se nas utilizadas em [Farias 2008] e adicionadas as seguintes modificações: um módulo DQMA-Fuzzy; um agente DQMA-Fuzzy que coleta informações e gera alarmes; e um módulo gerador de perturbação que fornece os valores de temperatura e atenuação, gerados a partir de observação de parâmetros reais. Como a variação destes valores é baseada em várias origens independentes atuando aditivamente, seu comportamento foi gerado no simulador através de uma distribuição Normal [Jain 1991].

Este trabalho faz uso da topologia baseada no *backbone* da Internet 2 por conter vários caminhos possíveis para a engenharia de tráfego e por ser uma topologia real que é ilustrada na Figura 3. Para a simulação foram considerados como nós de redes apenas os nós de comutação óptica que na Figura 3 estão representados pelo roteador nas cidades em questão. Foi definido que o nó responsável para ser a origem das rajadas é o da cidade de *Washington*. Para as cidades de *Seattle*, *Salt Lake City*, *Los Angeles*, *Kansas*, *Chicago* e *Houston* foram criados dois nós de grade, que foram os destinos das tarefas, sendo que em *Washington* foram criados três destes nós que são responsáveis por gerar o tráfego.

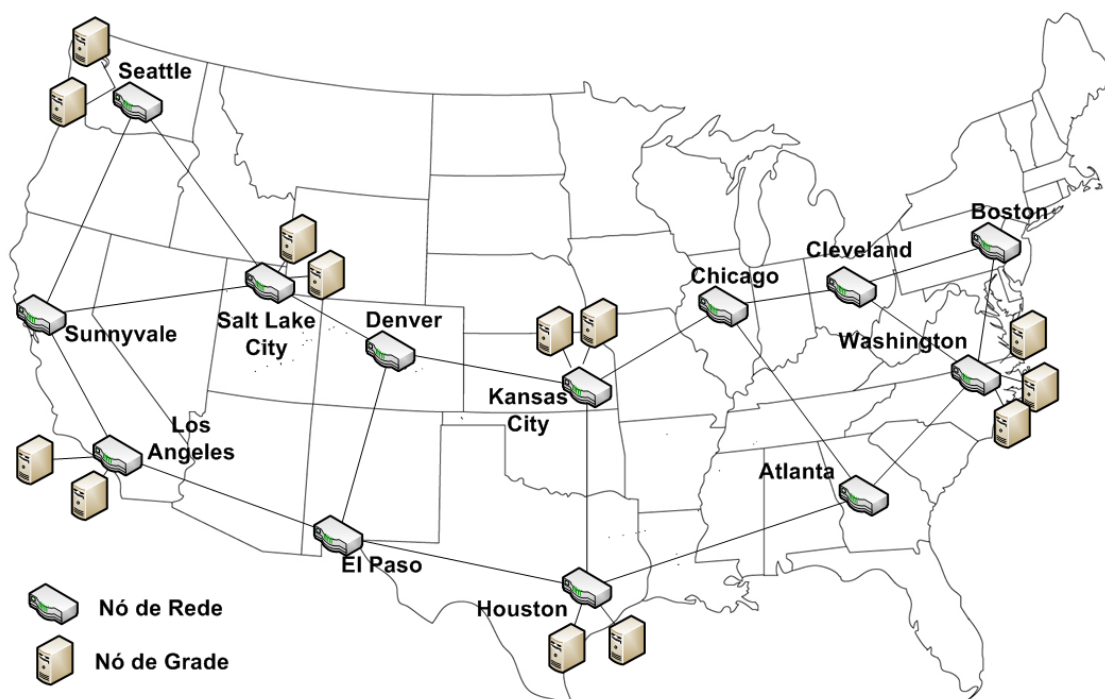


Figura 3. Topologia Internet2.

Os parâmetros utilizados na simulação são descritos a seguir. Os enlaces possuem capacidade de 10 Gbps e retardo de propagação de 1 milissegundo. As tarefas possuem tamanho médio de 1,5 megabytes distribuídos exponencialmente. A demanda de processamento de uma tarefa 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 15 GFLOPS e 1 gigabyte, respectivamente. O tempo de ajuste das rajadas é de 3 milissegundos. A chegada de rajadas segue um processo de Poisson [Esteves 2010].

Foi utilizado um número máximo de comprimentos de onda reservado para cada classe de serviço, distribuídos da seguinte forma: 5 comprimentos de onda para classe 0, 3 para classe 1 e 1 para classe 2.

5.2. Resultados Obtidos

Todas as simulações foram conduzidas com 100 repetições cada uma, para obtermos uma margem ótima de resultados, e foi utilizado um intervalo de confiança de 95% em relação à média das amostras coletadas. Foram realizadas simulações utilizando o mecanismo com o agente DQMA [Esteves 2010] que apenas realizava a garantia de QoS e simulações com o mecanismo proposto neste trabalho com o agente DQMA-Fuzzy para a predição de falhas.

As análises são referentes aos valores experimentados pelos nós que recebem a maior parte das requisições, são eles: *Houston*, *Kansas* e *Los Angeles*. A carga na rede varia de 0 a 10 *erlangs*, sendo definida pelo produto entre o número de requisições feitas à rede e o tempo de duração de cada uma delas.

A primeira análise é referente à probabilidade de bloqueio para todas as classes de serviço no nó de *Houston*, que foi o nó de destino OBS mais utilizado usando o esquema de seleção de rotas.

A Figura 4 mostra a probabilidade de bloqueio das rajadas no nó de *Houston* por classes. Também mostra que o bloqueio experimentado pelas classes é bastante similar e que a quantidade de bloqueios em um subconjunto específico de nós diminui, contribuindo, assim, para que os níveis de QoS da rede se mantenham por mais tempo dentro dos limites definidos. Isso implica na redução do número de consultas feitas ao GOBS. Os resultados ilustrados nos gráficos da Figura 4 também mostram que de uma maneira geral a proposta DQMA-Fuzzy consegue reduzir em mais de 50% as perdas de rajadas, até mesmo em níveis altos de carga e com poucos recursos disponíveis por classe de serviço, neste caso, comprimento de onda.

Já para os resultados relacionados à grade, foram selecionadas informações relacionadas às rajadas rejeitadas, onde são mostradas: as requisições descartadas exclusivamente devido à ausência de recursos de computação (processamento e armazenamento) nos nós da grade; a média de processamento, referente à utilização dos recursos de processamento nos nós de computação da grade; e a média de armazenamento. Esses valores são apresentados nas Figura 5, Figura 6 e Figura 7, Figura 8, explicadas a seguir.

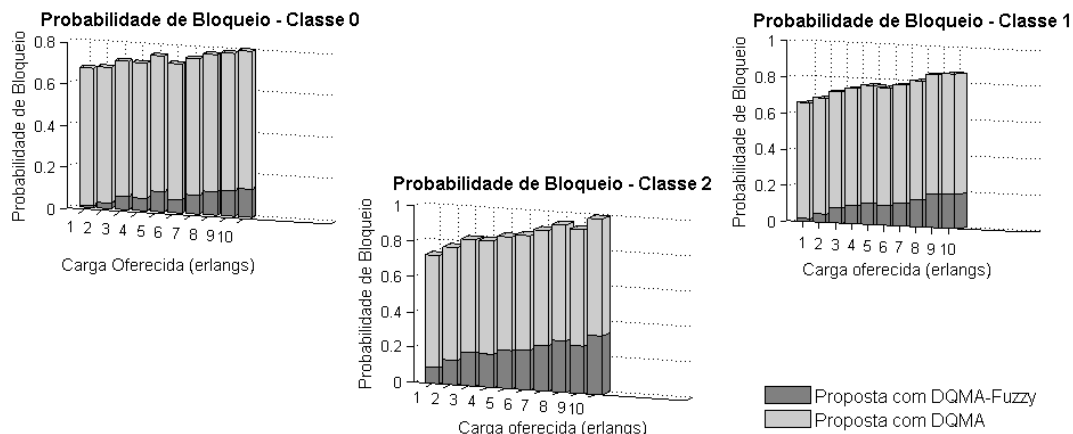


Figura 4. Probabilidade de Bloqueio por Classe.

O número de requisições descartadas no nó de *Kansas*, que é o destino padrão quando nenhum mecanismo de seleção de rotas é usado, obteve uma diminuição de 62% de rajadas rejeitadas. Isto significa que uma parte das rajadas que seriam normalmente destinadas a este nó são encaminhadas para os outros nós de computação da grade, balanceando a carga de rajadas a outros membros da grade. Isso ocorreu devido à melhor distribuição e utilização dos recursos que não estão sendo utilizados, pois o DQMA-Fuzzy permite um melhor gerenciamento e utilização dos enlaces, aumentando a disponibilidade de caminhos disponíveis.

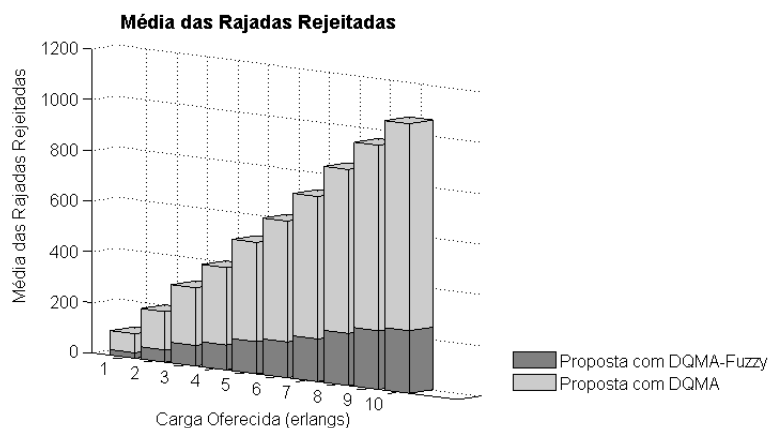


Figura 5. Média das Rajadas Rejeitadas.

O gráfico da Figura 6 apresenta o resultado da média de processamento. Nele é possível perceber que a arquitetura proposta proporciona uma redução na carga de processamento no nó *Los Angeles*, nó o qual foi escolhido pelo fato de ter apresentado o ponto de maior utilização de processamento durante as simulações. Para o processamento, observa-se que o agente DQMA apresenta elevados níveis de processamento em pontos específicos da grade se comparado ao agente DQMA-Fuzzy. Isso implica que menos requisições conseguiram chegar aos outros nós de computação. Analisou-se que no modelo DQMA-Fuzzy ocorre um balanceamento mais frequente da carga de processamento entre nós de computação da grade. No nó analisado percebe-se uma redução média de 61% entre as cargas utilizadas na simulação.

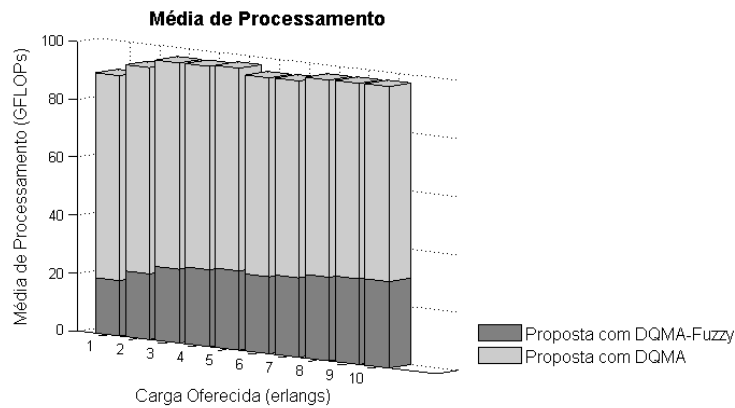


Figura 6. Média de Processamento.

O gráfico da Figura 7 apresenta o resultado da média de armazenamento obtido em todos os nós de grade usando a proposta com DQMA-Fuzzy, enquanto a Figura 8 mostra a média de armazenamento para a proposta com DQMA. Nessas figuras é possível perceber que a arquitetura proposta com DQMA-Fuzzy proporciona um balanceamento na carga de armazenamento, uma vez que as tarefas são melhores distribuídas entre os nós de grade devido à predição de falhas que possibilita a escolha, de uma nova rota para o tráfego, de uma maneira mais rápida.

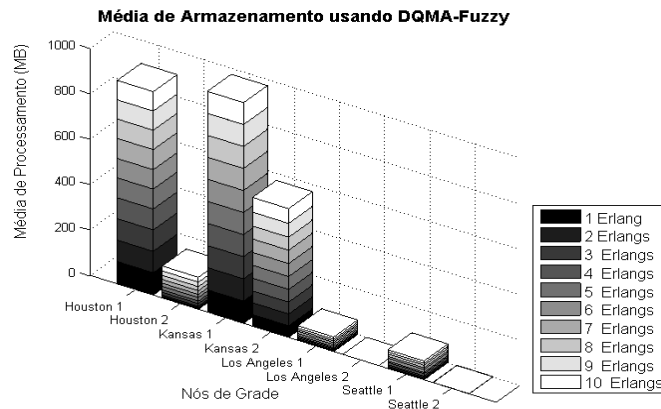


Figura 7. Média de Armazenamento usando DQMA-Fuzzy.

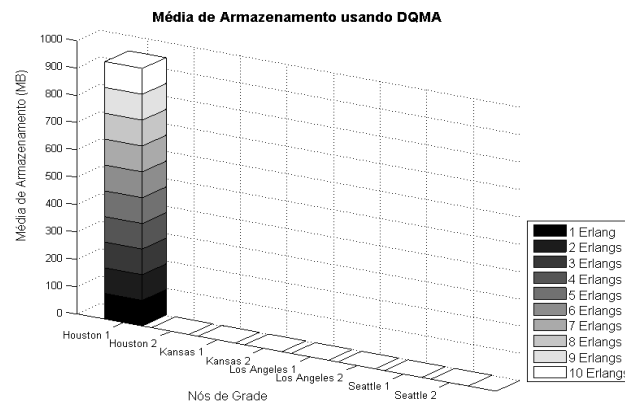


Figura 8. Média de Armazenamento usando DQMA.

Por fim, existe a necessidade de implementar os mecanismos propostos num protótipo (*testbed*) real, para validar a arquitetura proposta em uma rede de produção. Neste caso, a implementação seria centrada nas funcionalidades de controle e gerenciamento, devido aos altos custos associados às tecnologias envolvidas no contexto deste trabalho.

6. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Através dos resultados obtidos, observou-se que a proposta DQMA-Fuzzy ofereceu vantagens em relação ao DQMA. A lógica Fuzzy associada ao DQMA permitiu uma melhora na tomada de decisão em relação aos problemas que ocorrem em uma rede óptica e melhor utilização de recursos do ambiente de grade.

Neste artigo, foi utilizado um agente DQMA-Fuzzy e os resultados obtidos comprovam que esta proposta, quando utilizada na avaliação do estado do enlace óptico, provê tolerância a falhas, minimizando o número de perdas na rede. Também permite um melhor gerenciamento e utilização dos enlaces, o aumento da disponibilidade de caminhos disponíveis e um balanceamento da carga de processamento entre nós de computação da grade.

Os resultados apresentam uma redução satisfatória em todas as métricas analisadas, tais como: probabilidade de bloqueio, níveis de rajadas rejeitadas e o processamento da grade. O uso da proposta DQMA-Fuzzy, em geral, obteve uma diminuição de mais de 60% nas métricas analisadas.

Como trabalhos futuros, os agentes de gerenciamento dinâmico DQMA-Fuzzy podem ser expandidos para outras variáveis e espalhados pelos nós no núcleo OBS. Além disto, para realizar um melhor controle de admissão ou uma melhor distribuição das tarefas em grade, podem-se utilizar técnicas de inteligência computacional. Outros desafios estão no desenvolvimento de qualidade na transmissão ou no RWA-IA.

Referências

- Alcatel-Lucent (2011), <http://www.alcatel.it/>. Novembro.
- Bathula, Balagangadhar G.; et al. (2010) “Quality-of-Transmission-Aware Multicast Over Optical Burst-Switched Networks”. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, Outubro.
- Black, Uyles, (2002) “Optical Networks Third Generation Transport Systems”, Prentice Hall PTR.
- Datacom (2011), <http://www.datacom-telematica.com.br/new/>. Novembro.
- Esteves, Rafael Pereira; et al. (2010) “Uma Arquitetura para o Gerenciamento de Qualidade de Serviço em Redes Grid-OBS”, Revista Brasileira de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 3, p. 35-49, ISSN: 1983-4217
- Farias, F. N. N.; Esteves, R. P.; Abelém, A. J. G. (2008) “Gerenciamento Dinâmico de Qualidade de Serviço em Redes OBS Baseadas no GMPLS”, 26º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Anais do SBRC 2008.

- Filho, Joaquim F. Martins. Chaves, Daniel A. R.. Filho, Carmelo J. A. Bastos. Pereira, Helder A. (2011) “Applications of Computational Intelligence in Optical Networks”. 13th International Conference on Transparent Optical Networks - *ICTON 2011*. Agosto.
- Gonçalves, Carlos Hairon R.; et al. (2008) “Aplicando Agentes Inteligentes Preditivos na Rede Experimental Giga”. XIII Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços, Rio de Janeiro.
- Hong, Xiaobin et al. (2009) “A Resilient OBS/GMPLS Network for Survival Optical Grids”, Proceedings of the 15th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC).
- Jain, Raj (1991) “The art of computer systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation and modeling”, John Wiley and Sons, Ltd, ISBN 0-471-50336-3, p. 494, Ed. Wiley, England.
- Jelinskis, Jans et al. (2011) “Fuzzy-CAC Driven MPLS-TE Realization”, IEEE High Performance Switching and Routing (HPSR), Spain, Cartagena, 4.-6. Jul, 2011.
- Mannie E. (2004) “Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture”. RFC 3945. Outubro.
- Nejabati, Reza et al. (2008) “Grid Optical Burst Switched Networks (GOBS)”. Open Grid Forum, Draft GFD.128, Abril.
- NS-2. Network Simulator (2011). Acessado em: dezembro de 2012. Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- 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.
- Saha, Shivashis; NeJapada, Chandra Has; Deogun, Jitender S. (2010) “Hybrid All-Optical Networks: Routing and Wavelength Assignment“, IEEE 4th International Symposium on Advanced Networks and Telecommunication Systems.
- Zadeth, L. (1965) “Fuzzy sets. Information and control”, vol 8.