

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PREDIÇÃO DE FALHAS EM REDES DE GRADES OBS COM PLANO DE CONTROLE
GMPLS

MARIANA CASTRO BECHARA

DM 02/2013

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARIANA CASTRO BECHARA

PREDIÇÃO DE FALHAS EM REDES DE GRADES OBS COM PLANO DE CONTROLE
GMPLS

DM 02/2013

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARIANA CASTRO BECHARA

PREDIÇÃO DE FALHAS EM REDES DE GRADES OBS COM PLANO DE CONTROLE
GMPLS

Dissertação submetida à
Banca Examinadora do Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da UFPA para a obtenção
do Grau de Mestre em Engenharia
Elétrica com ênfase em
Computação Aplicada.

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) –
Biblioteca Central / UFPA, Belém-PA

Bechara, Mariana Castro

Predição de falhas em redes de grades OBS com plano de controle GMPLS / Mariana Castro Bechara ; orientador Eduardo Coelho Cerqueira. — 2013.

-- 77f. : il. ; 30 cm.

Inclui Bibliografias

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2013.

1. Sistemas de computação em grade. 2. Comunicações óticas. I. Cerqueira, Eduardo Coelho, orientador. II. Título.

CDD - 22. ed. 004.36

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PREDIÇÃO DE FALHAS EM REDES DE GRADES OBS COM PLANO DE CONTROLE
GMPLS

AUTOR: MARIANA CASTRO BECHARA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA

APROVADA EM 09/01/ 2013

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira
(ORIENTADOR – UFPA)

Prof. Dr. Antônio Jorge Gomes Abelém
(MEMBRO – UFPA)

Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira
(MEMBRO – UFPA)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
(COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA)

Dedico esta dissertação ao meu avô Bento da Silva Castro, exemplo de determinação, força e vitalidade. Homem que nunca desistiu de ser feliz e que me ensinou a confiar em mim e nos outros.

Dedico também a Jorge, Ângela e Juliana Bechara, minha família, minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida.

A minha família que é a minha base, o meu tudo, o que me acolhe e sustenta todo dia. Ao meu pai Jorge Bechara, meu exemplo de homem, de inteligência e ética. A minha mãe Ângela Bechara, que sempre está ao meu lado dando força, acolhendo, educando e incentivando. E a minha irmã Juliana Bechara, que com sua força me guia sempre e acompanha nas melhores ou piores situações. Agradeço também a minha madrinha Cristina Sauma e meu primo Edinaldo Júnior pelo carinho, amor e incentivo.

Ao Professor Antônio Abelém que me acolheu e orientou todas as vezes que solicitei.

Ao Professor Eduardo Cerqueira que me orientou e apoiou sempre de maneira prestativa e super ágil.

Ao Fernando Farias que foi meu mentor, meu guia, meu amigo, meu incentivador, o homem que confiou em mim e me incentivou a terminar esta dissertação.

Ao Jaime Viana, Davison Holanda e Anderson Nunes que me ajudaram para que este trabalho chegasse ao fim, seja com palavras, críticas, linhas de código ou simplesmente um ouvido.

A todos que fazem ou fizeram parte do Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM) e me ajudaram a fazer esta tarefa mais leve, com cafés, risadas, fofocas e muitas sugestões e ajuda.

Aos meus amigos que já não aguentavam mais esta novela sem fim, mas acreditaram em mim. Em especial, agradeço a Lorena Moraes que me guiou, orientou, acreditou em mim, às vezes até mais do que eu.

Ao meu noivo Fabrício Gaspar, que chegou durante os últimos capítulos desta novela, veio mudando minha vida e sendo meu companheiro, amigo, incentivador e meu fã número 1.

À empresa Serpro representada pela UniSerpro devido ao programa de pós-graduação. Em especial, ao José Lopes, Laury Andrade, Marcelo Lobo, Davis Oliveira e Priscilla Lanne que foram meus anjos e permitiram que tivesse tempo para escrever esta dissertação.

Enfim, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação.

“When you got a job to do
You got to do it well”
(Paul McCartney)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	TRABALHOS RELACIONADOS	17
1.2	OBJETIVOS e METODOLOGIA.....	18
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2	REDES ÓPTICAS E GRADES COMPUTACIONAIS	20
2.1	REDES ÓPTICAS	20
2.1.1	Falhas em Sistemas de Fibras Ópticas	21
2.1.2	Comutação de Rajadas Ópticas	23
2.2.	COMPUTAÇÃO EM GRADE.....	26
2.2.1	Características de uma grade	27
2.2.2	Padronização de grades	29
2.3	REDES ÓPTICAS EM GRADES	29
2.3.1	Requisitos de Rede para Grades	33
2.4	GRID OBS	34
2.4.1	Redes OBS em Grades	34
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
3	SISTEMAS DIFUSOS	42
3.1	TEORIA DOS CONJUNTOS DIFUSOS.....	43
3.2	VARIÁVEL LINGUÍSTICA.....	46
3.3	SISTEMA BASEADO EM REGRAS DIFUSAS	47
3.4	AS ETAPAS DO RACIOCÍNIO DIFUSO	49
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
4	ARQUITETURA DE PREDIÇÃO DE FALHAS EM REDES GOBS USANDO GMPLS	51
4.1	PREDIÇÃO DE FALHAS EM REDES GOBS BASEADAS EM GMPLS.....	51

4.2 MONITORAÇÃO DE RECURSOS – <i>DQMA-Fuzzy</i>	52
4.3 SERVIDOR GOBS	53
4.4 MÓDULO <i>FUZZY</i>	55
4.5 ARQUITETURA PROPOSTA.....	60
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5 ANÁLISE DA ARQUITETURA	62
5.1 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO.....	62
5.2. CENÁRIO AVALIADO.....	64
5.3 RESULTADOS OBTIDOS	65
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	71
6.1 TRABALHOS FUTUROS	72
REFERÊNCIAS.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das degradações da camada física.	22
Figura 2 - Comutação de Rajadas Ópticas.	26
Figura 3 - GUNI e GRNI em rede OBS.	36
Figura 4 - Arquitetura OBS sobre GMPLS	40
Figura 5: Função de Pertinência Triangular.	45
Figura 6: Função de Pertinência Trapeizodal.	45
Figura 7: Função de Pertinência Gaussiana.	45
Figura 8: Função de Pertinência Sigmóide.	46
Figura 9 - Conjunto Difuso.	46
Figura 10 - Componentes de um Sistema Fuzzy.	47
Figura 11 - Etapas do Raciocínio Difuso.	49
Figura 12 - Agente <i>DQMA-Fuzzy</i>	53
Figura 13 - Arquitetura GOBS com agentes <i>DQMA-Fuzzy</i>	54
Figura 14: Variável Linguística - Atenuação.	57
Figura 15 - Variável Linguística - Temperatura.	57
Figura 16 - Variáveis Linguísticas – Probabilidades de Bloqueio por Classe.	58
Figura 17 - Variável Linguística - Estado do Enlace.	58
Figura 18 - Nova estrutura do nó LOBS integrado com agente <i>DQMA-Fuzzy</i>	64
Figura 19 - Topologia Internet2.	65
Figura 20 - Probabilidade de Bloqueio da Classe 0.	66
Figura 21- Probabilidade de Bloqueio da Classe 1.	67
Figura 22 - Probabilidade de Bloqueio da Classe 2.	67
Figura 23 - Média das Rajadas Rejeitadas.	68
Figura 24 - Média de Processamento.	69
Figura 25 - Média de Armazenamento usando <i>DQMA-Fuzzy</i>	70
Figura 26 - Média de Armazenamento usando DQMA.	70

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1- Comparação entre os paradigmas de comutação óptica.	25
Quadro 2: Funções de Pertinência.	44
Quadro 3 - Conjunto de Regras.	59

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta para predição de falhas em rede de grade OBS com plano de controle GMPLS que auxilia as aplicações em ambientes de colaboração, como exemplo a *E-Science*. Os agentes de monitoração de tráfego, denominado *DQMA-Fuzzy*, verificam parâmetros relacionados à QoS e às 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 às decisões dos agentes. Simulações no NS-2 (*Network Simulator – 2*) demonstram que a proposta minimiza bloqueios na rede e balanceia o uso dos recursos da grade, garantindo níveis de serviços bem definidos, auxiliando na engenharia de tráfego e na predição de falhas.

PALAVRAS-CHAVES: Redes Ópticas, OBS, GMPLS, Lógica *Fuzzy*.

ABSTRACT

This paper presents a proposal for predict failures in OBS grid network with GMPLS 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.

KEYWORDS: Optical Network, OBS, GMPLS, *Fuzzy* Logic.

1 INTRODUÇÃO

Com o advento de aplicações distribuídas e os avanços na tecnologia de pesquisa colaborativa, criou-se uma enorme demanda por capacidade de transporte de informações na rede, fazendo com que as redes de ensino e pesquisa passem por transformações para se adequar aos requisitos impostos por estas aplicações (BATHULA et al., 2010).

Dentre estas aplicações, pode-se citar o sequenciamento de genes (genoma), a mineração de dados, destacando as aplicações científicas de alto desempenho, como física de alta energia, astronomia, bioinformática, telemedicina, visualização remota, entre outras, que caracterizam a *E-Science* e refletem uma nova realidade de pesquisa.

O termo *E-Science* define um conjunto de aplicações científicas avançadas que utilizam grandes quantidades de recursos como processamento, armazenamento, memória e rede (ESTEVEZ et al., 2010). Algumas características dessas aplicações são o grande volume de informações manipulado, que pode chegar à ordem de *terabytes* (10^{12} bytes) e *petabytes* (10^{15} bytes) de dados, o alto poder de computação exigido que pode chegar a *teraflops* (10^{12} operações de ponto flutuante por segundo) e a utilização de recursos heterogêneos, com diferentes arquiteturas de *hardware* e sistemas operacionais.

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.

As redes ópticas são redes de comunicação de dados de altíssima velocidade, que utilizam a luz como meio para transmissão de dados (ABELÉM; STATON, 2002).

Segundo Lui (2002), as redes ópticas possuem três gerações distintas: a primeira geração caracterizada pela presença de enlaces ponto a ponto com uma forte integração entre os meios ópticos e elétricos (O-E-O), possuindo canais de baixa taxa de transmissão. Na segunda geração, a transmissão é feita sem conversão O-E-O, possui caminhos fim a fim com alta taxa de transmissão, seus dispositivos totalmente ópticos dentre eles o WSXC (*Wavelength Selective Crossconnect*), o WADM (*Wavelength Add/Drop Multiplexer*) e o WDM (*Wavelength Division Multiplexer*). Enquanto que a terceira geração é caracterizada pela presença de cabeçalhos anexados aos pacotes ópticos de transmissão, adição de fibras de retardo, assim como o paradigma da comutação de circuitos ópticos (OCS - *Optical Circuit*

Switching), comutação de pacotes ópticos (OPS - *Optical Packet Switching*) e comutação em rajadas ópticas (OBS - *Optical Burst Switching*) (QIAO; YOO, 1999).

Entre todos os paradigmas de comutação óptica, a rede OBS é mais viável do que comutação de pacotes ópticos (OPS) e mais flexível do que a comutação de circuitos ópticos (OCS) (ABELÉM; STATON, 2002).

Atualmente, as redes OBS e o plano de controle GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) são dois paradigmas que suportam as aplicações em grade (HONG et al., 2009).

As grades computacionais reduzem o custo computacional e aumentam a flexibilidade e confiabilidade. Mas para sua evolução é necessário determinar as tecnologias, protocolos e arquitetura de rede que irão possibilitar soluções para os requisitos destas aplicações (NEJABATI et al., 2008).

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 et al., 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 et al., 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.

A interação entre a comutação OBS e o protocolo GMPLS em redes ópticas de terceira geração é chamada de LOBS (*Labeled Optical Burst Switching*). Sendo este o melhor mecanismo para integrar o protocolo IP com o plano de dados baseado em WDM, pois o GMPLS cria seus rótulos baseado em comprimento de ondas ópticas ou lambdas (λ), mostrando-se também como a arquitetura mais adequada.

O plano de controle pode localizar os recursos e sinalizar o caminho a ser utilizado de maneira inteligente. O protocolo GMPLS, apesar de mostrar-se muito eficaz no fornecimento de engenharia de tráfego, possui uma grande desvantagem que é o alto tempo de comutação de uma via principal para uma via reserva no caso de falha no enlace principal.

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 imprecisão 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 nos enlaces ópticos e possibilitando a execução de mecanismos reativos para minimizar as perdas de rajadas ópticas ou tarefas (*jobs*).

1.1 TRABALHOS RELACIONADOS

(FILHO et al., 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 et al., 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 et al., 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 se 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 et al., 2011).

1.2 OBJETIVOS e METODOLOGIA

O objetivo geral deste trabalho é realizar a predição de falhas em enlaces ópticos de redes GOBS com plano de controle GMPLS, através da utilização de lógica *Fuzzy* para maximizar a confiabilidade da rede.

Como desdobramento de tal objetivo, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Verificar os trabalhos relacionados ao assunto;
- Avaliar as técnicas de inteligência computacionais adequadas a predição de falhas e as principais métricas que antecedem falhas nos enlaces de redes GOBS;
- Avaliar o comportamento de um enlace óptico e predizer sua falha;
- Realizar uma extensão do trabalho de Esteves et al. (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;
- Fazer uma comparação dos resultados obtidos através de simulação em redes GOBS com plano de controle GMPL utilizando a arquitetura de predição de falhas proposta neste trabalho;
- Avaliar a proposta através do simulador NS-2 (*Network Simulator – 2*).

Além disso, as contribuições desenvolvidas e oferecidas por esta dissertação são:

- Estudo sobre os problemas encontrados nas falhas em enlaces ópticos;
- Desenvolvimento de novas extensões para o simulador de eventos discretos NS-2;
- Desenvolvimento de uma arquitetura de predição de falhas;
- Análise do comportamento da arquitetura na melhora do desempenho da rede.

Espera-se o aumento da confiabilidade da rede, através da diminuição de perdas de rajadas ópticas, o balanceamento de carga na rede e o melhor aproveitamento dos recursos da grade, como armazenamento e processamento.

Uma análise sobre os principais assuntos relacionados ao tema é feita. Os dados primários são coletados através de pesquisa em documentos, sistemas e sites disponíveis na Internet. Os dados secundários são coletados após uma pesquisa em livros, revistas e em documentos disponíveis na Internet do que já existe de trabalhos relacionados à predição de falhas em redes GOBS com GMPLS. Estas fontes forneceram subsídios para a realização da simulação, análise e sistematização dos dados e apresentação dos resultados obtidos.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Além deste capítulo introdutório, o trabalho conta com mais cinco capítulos. No Capítulo 2, são apresentados os conceitos relacionados à computação em Grade, a redes OBS, ao plano de controle GMPLS e outros. No Capítulo 3, são mostrados conceitos relacionados aos sistemas difusos e sua utilização em problemas imprecisos.

No Capítulo 4, é apresentada a arquitetura de predição de falhas em redes GOBS com GMPLS, onde são detalhados o agente de monitoração de recursos (*DQMA-Fuzzy*), o Servidor GOBS e suas modificações e o módulo *fuzzy* desenvolvido para avaliar as métricas e gerar os alarmes realizando a predição de falhas na rede GOBS.

No Capítulo 5, é realizada a análise da proposta para verificar o seu impacto na predição de falhas em enlaces ópticos. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais sobre a pesquisa, enfatizando ainda propostas de trabalhos futuros.

2 REDES ÓPTICAS E GRADES COMPUTACIONAIS

Este capítulo aborda os principais conceitos teóricos relacionados a redes ópticas e grades computacionais necessários para o embasamento da arquitetura proposta.

Ele está subdividido em quatro seções. A Seção 2.1 apresenta os conceitos relacionados a redes ópticas e suas falhas. A Seção 2.2 apresenta os conceitos fundamentais de grades, lista as suas principais características e apresenta algumas aplicações que demandam o uso de grades. A Seção 2.3 discute o papel das redes ópticas no contexto de grades. A Seção 2.4 aborda o uso da comutação de rajadas ópticas em grades, as iniciativas em andamento para padronizar essa integração e o plano de controle, com ênfase na solução GMPLS. Por fim, a Seção 2.5 apresenta as considerações finais do capítulo.

2.1 REDES ÓPTICAS

As redes ópticas tiveram um grande avanço com o surgimento e desenvolvimento da tecnologia *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Essa tecnologia permite o estabelecimento de diversas conexões ópticas simultaneamente em uma mesma fibra óptica, em diferentes comprimentos de onda, resultando em uma melhor utilização da sua enorme capacidade de transmissão (MARANHÃO et al., 2010).

Estas redes compõem a grande maioria das redes de *backbone*. Para o estabelecimento de uma comunicação entre um par de nós de uma rede óptica WDM é necessário construir um caminho óptico fim-a-fim. Cada caminho óptico utiliza uma rota e um comprimento de onda.

O estabelecimento de um caminho óptico se confirma mediante a reserva de um comprimento de onda disponível. O comprimento de onda pode diferir, ou não, ao longo dos enlaces da rota em função da capacidade de conversão de comprimento de onda dos comutadores ópticos. Na ausência de conversores de comprimento de onda disponíveis, a propriedade de continuidade de comprimento de onda precisa ser respeitada ao longo de todos os enlaces do caminho óptico (MARANHÃO et al., 2010).

A evolução das redes ópticas WDM, com conversões eletrônicas para as redes WDM com comutação puramente óptica, trouxe um grande avanço para as redes ópticas WDM, pois permitiu que novos paradigmas de comutação puramente óptica fossem desenvolvidos com o objetivo de aproveitar melhor as potencialidades da tecnologia WDM e das fibras ópticas, principalmente em relação às taxas de transmissão.

Cada sistema de transmissão óptica tem o potencial teórico de prover taxas de transmissão da ordem de Tbit/s. Desde então, diferentes metodologias de transporte óptico

foram criadas visando a melhor integração do transporte de dados no domínio puramente óptico. Como apresentado no capítulo anterior, as principais metodologias de comutação puramente óptica são: OCS, OPS e OBS.

2.1.1 Falhas em Sistemas de Fibras Ópticas

Os sistemas de comunicação são responsáveis pela transmissão de informação de longo e curto alcance. Os sistemas ópticos operam em alta frequência, no espectro da luz visível ou próximo da região infravermelha, o que lhes permite uma grande largura de banda e taxas de transmissão altas (GONÇALVES, 2003).

Os sistemas ópticos de comunicação são também chamados de sistemas de transmissão de ondas de luz. Fibras ópticas são cabos condutores ópticos que permitem o confinamento da luz em seu interior, proporcionando a transmissão de dados em certos tipos de sistemas ópticos, denominados de Sistemas de Fibras Ópticas.

Na prática, o sinal óptico sofre degradações ao se propagar através de enlaces de fibra óptica, matrizes de comutação, amplificadores ópticos e outros elementos. Com o acúmulo destas degradações ao longo da rota, a taxa de erro de bit (BER – *Bit Error Rate*) no receptor se torna cada vez maior e pode atingir níveis intoleráveis (MARANHÃO et al., 2010).

Há diversos fatores que afetam o desempenho de um sistema óptico, por exemplo, fatores externos (temperatura e ruído), natureza do material usado na fabricação dos componentes e dimensões dos componentes. Outras variáveis da camada física que afetam diretamente a qualidade da transmissão em um meio óptico são o atraso (*delay*), o desvio de frequência, a atenuação, a dispersão, a taxa de erros e a relação Sinal/Ruído.

As degradações físicas na transmissão por fibra óptica podem ser classificadas em duas categorias: lineares e não lineares.

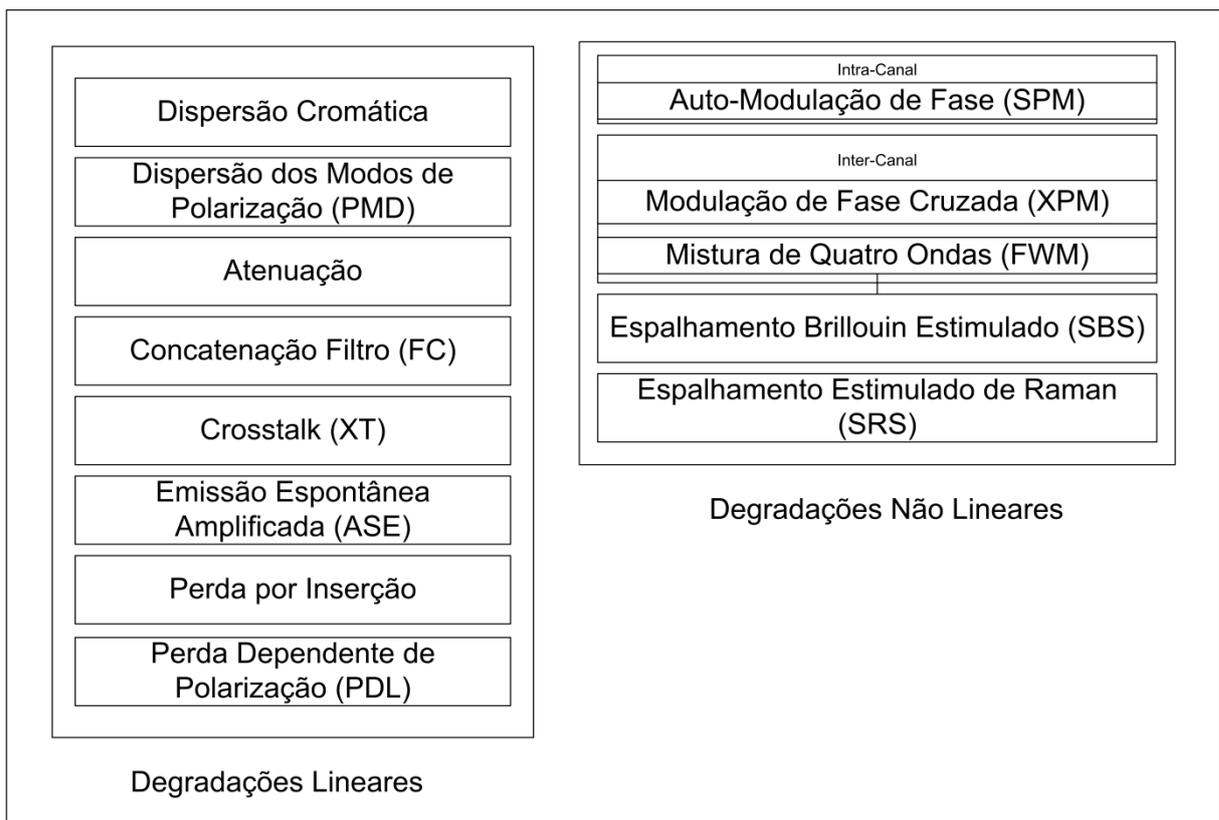
As degradações lineares ocorrem independentemente da potência do sinal óptico e afetam cada comprimento de onda individualmente na fibra. Já os efeitos das degradações não lineares crescem com a potência do sinal óptico e tendem a degradar todos os comprimentos de onda. As principais degradações lineares da camada física óptica tais como, atenuação da fibra, perda de inserção, ruído da emissão espontânea de amplificador, dispersão por modo de polarização e *crosstalk* já estão relativamente bem caracterizadas (AZODOLMOLKY et al., 2009).

Por outro lado, as degradações não lineares da camada física óptica são relativamente complexas de serem caracterizadas e sua modelagem necessita de conhecimentos detalhados

da infraestrutura de componentes ópticos da rede. Pode-se, no entanto, adotar um modelo simplificado onde os efeitos não lineares sejam mitigados através da minimização do número de enlaces que o sinal óptico percorre.

A Figura 1 ilustra a classificação das degradações da camada física, considerando categorias lineares e não-lineares. Elas também podem ser classificadas em degradações estáticas ou dinâmicas, considerando o comportamento da degradação em fatores externos, como o tempo de utilização, a temperatura e o estresse físico.

Figura 1 - Classificação das degradações da camada física.



A maioria dos efeitos de degradação que o sinal óptico sofre ocorre em função da distância e/ou do número de comutadores envolvidos na propagação do sinal óptico de um nó origem para um nó destino. Neste trabalho, considera-se a atenuação e a temperatura como degradações a serem utilizadas no Gerador de Perturbação utilizado na simulação.

Na simulação será aplicado um modelo matemático, sendo o uso de suas fórmulas em softwares que simulam sistemas ópticos. Simuladores deste tipo podem descrever o comportamento de um sistema óptico mediante fatores que afetam seu desempenho, gerando material de análise para engenheiros e/ou administradores destes sistemas.

Para a simulação de um sistema óptico real são necessárias variáveis que descrevam com precisão os vários tipos de ruídos relacionados a um sistema de fibra óptica. Estas

variáveis devem ser aplicadas a fórmulas não expostas aqui. A investigação sobre um sistema óptico matemático que refletisse fielmente o mundo real e sua posterior implementação demandariam um esforço incompatível com o tempo disponível para a conclusão deste trabalho. Preferiu-se trabalhar com um sistema mais próximo do ideal sem fugir do escopo principal que é a busca por um modelo para sistemas ópticos.

O Capítulo 4 trata da arquitetura de predição de falhas em redes GOBS usado GMPLS e mostrará como foi realizada a simulação destas degradações no simulador através do Gerador de Perturbação. Um simulador de sistemas de fibras ópticas pode fornecer os padrões necessários para que os Sistemas Difusos possam ser utilizados na arquitetura proposta (GONÇALVES, 2003).

2.1.2 Comutação de Rajadas Ópticas

A comutação puramente óptica surgiu com o objetivo de eliminar a necessidade de se converter o sinal do domínio óptico para o domínio eletrônico e vice-versa. Essa conversão entre os domínios óptico e eletrônico resulta em uma limitação, pois diminui as taxas de transmissão que podem ser oferecidas, uma vez que os equipamentos de comutação eletrônicos não são capazes de processar informação em taxas muito elevadas quando comparadas à capacidade disponível nas fibras ópticas.

Devido a essa limitação, as redes baseadas nesse tipo de comutação ficam restritas a taxas de transmissão na ordem de dezenas de *gigabits* por segundo. Além disto, essa conversão implica em custos adicionais aos equipamentos de comutação. Na comutação puramente óptica, os dados são transmitidos no domínio óptico, permitido que sejam atingidas taxas de transmissão mais elevadas que as atuais.

Diferentes tecnologias de comutação foram desenvolvidas com o objetivo de viabilizar o uso de redes ópticas WDM sem a necessidade de se realizar o processamento eletrônico intermediário. Foram propostas três alternativas para proporcionar a comutação óptica. Elas diferem basicamente no nível de granularidade da informação e na complexidade/custo de implementação. Essas três formas são descritas a seguir (DUTTA et al., 2011):

- Comutação de circuitos ópticos (OCS) ou comutação de lambdas - se caracteriza por sua semelhança com a comutação de circuitos eletrônicos, pois realiza a reserva de recursos (comprimentos de onda) e configura as matrizes de comutação, dos nós envolvidos, na fase de estabelecimento do circuito óptico (caminho de luz/*lightpath*). Apesar da ineficiência em comunicações de

curta duração, a comutação OCS permite a reserva de recursos com garantia de qualidade de serviço (QoS). Ela também tem como vantagem a baixa complexidade de implementação, mas, como desvantagem, existe a subutilização dos recursos da rede.

- Comutação de pacotes ópticos (OPS) – similar à comutação de pacotes eletrônica, pois esta comutação proporciona multiplexação estatística, resultando em uma alta utilização da rede. No OPS, os dados e as informações de controle são enviados na mesma banda (cabeçalho e carga útil), esta sincronização entre os cabeçalhos e os dados pode diminuir as taxas de transmissão. Além disto, existe a necessidade de armazenar o pacote óptico, processar as informações do cabeçalho para posteriormente encaminhar o pacote óptico. Uma desvantagem da OPS é ausência de uma estrutura de armazenamento temporário a nível óptico que seja simples e barata, chamado de *buffer* óptico.
- Comutação de rajadas ópticas (OBS) - se propõe a contornar as limitações dos outros paradigmas, como a baixa utilização dos recursos e a complexidade de implementação. A comutação OBS trabalha com o envio de rajadas ópticas, um agrupamento de pacotes de dados a serem encaminhados para um mesmo destino, antes de serem transmitidos no domínio óptico. Esta comutação envia um pacote de controle antes da rajada óptica com a intenção de reservar a banda necessária e configurar as matrizes de comutação ao longo do caminho, este pacote com uma sinalização preliminar se chama BCP (*Burst Control Packet*) ou BHP (*Burst Header Packets*). Tipicamente, a rajada óptica é enviada sem a confirmação da reserva dos recursos.

Segundo Esteves et al. (2010), as vantagens da comutação de rajadas ópticas são: a alocação sob demanda dos recursos permite uma utilização mais eficiente, já que os recursos são reservados somente durante o tempo necessário para a transmissão da rajada; na maioria das implementações de OBS não há a necessidade de confirmação acerca da reserva dos recursos, o que diminui a latência; o processamento eletrônico dos pacotes de controle abre possibilidades para a implementação de esquemas de QoS, segurança, entre outros e a granularidade intermediária de uma rajada permite a utilização de dispositivos de comutação menos complexos e, conseqüentemente, mais baratos.

O Quadro 1 mostra uma comparação entre os paradigmas de comutação óptica.

Quadro 1- Comparação entre os paradigmas de comutação óptica.

Paradigma de Comutação	Utilização da Banda	Latência de Sinalização	Velocidade de Comutação	Overhead de processamento e sincronização	Adaptação ao tráfego
OCS	Baixa	Alta	Baixa	Baixo	Baixa
OPS	Alta	Baixa	Alta	Alto	Alta
OBS	Alta	Baixa	Média	Baixo	Alta

Fonte: VOKKARANE; JUE, 2005.

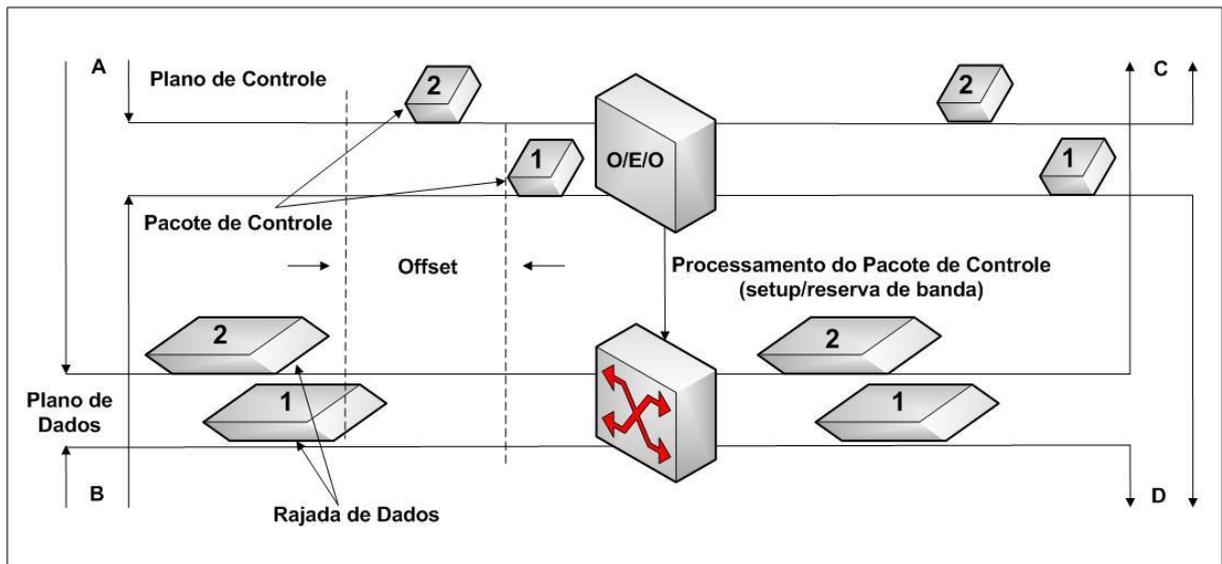
Após a análise do Quadro 1, é possível observar que a comutação de rajadas ópticas reúne os aspectos positivos dos demais paradigmas, como a alta utilização dos recursos disponíveis, a baixa latência de sinalização devido à ausência de confirmação, um baixo *overhead* de processamento e sincronização, uma velocidade de comutação intermediária. Além disso, como as rajadas podem ser de diferentes tamanhos, a comutação OBS pode atender diferentes tipos de aplicação.

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 ou BCP, sendo transmitidas separadamente sob um canal de controle dedicado (SAHA;NEJAPADA;DEOGUN, 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.

A Figura 2 ilustra o funcionamento básico do OBS. Ela ilustra o processo de sinalização em redes OBS conhecido como JET (*Just Enough Time*) (YOO; QIAO;DIXIT, 2001). Nesse esquema, os pacotes de controle (BCP ou BHP), numerados 1 e 2, são enviados em um canal de controle e são processados eletronicamente com o objetivo de configurar os dispositivos ao longo da rota para a chegada futura da rajada de dados. Após o tempo de ajuste (*offset*), as rajada são enviadas no domínio óptico em comprimentos de onda distintos através de encaminhamento direto (*cut-through*) sem a necessidade de conversão para o domínio eletrônico.

Figura 2 - Comutação de Rajadas Ópticas.



2.2. COMPUTAÇÃO EM GRADE

O conceito de grade (*grid*) foi inspirado nos experimentos para redes experimentais de alta velocidade, em meados da década de 90, onde os cientistas da computação começaram a explorar o projeto e o desenvolvimento de uma nova infraestrutura computacional pelo acoplamento de recursos distribuídos geograficamente como bases de dados, servidores de armazenamento, redes de alta velocidade, supercomputadores e aglomerados para solucionar problemas de grande escala, levando ao termo popularmente conhecido como *computação em grade* (FOSTER, 2002).

Impulsionada pelo aumento de problemas complexos e aliada aos avanços tecnológicos, a computação em grade se baseia na colaboração, muito mais do que em esforços individuais e teóricos.

Neste contexto, 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 um alto poder de computação, que são geralmente associados com aplicações científicas, o que não seria possível com recursos locais.

Em ASAGBA (2008), grade computacional é definida como um tipo de computação paralela que se baseia na utilização de computadores completos com CPU, armazenamento, fonte de alimentação, interface de rede e etc., conectados a uma rede (pública, privada ou pela Internet) em contraste com o conceito tradicional de supercomputador.

A computação em grade teve um crescimento significativo em um momento onde a demanda por aplicações científicas sofisticadas impulsionou o desenvolvimento de soluções que fossem capazes de contornar as limitações de processamento e armazenamento dos sistemas de computação a nível local.

Ela provê escalabilidade, segurança, mecanismos de alto desempenho para realizar a descoberta e negociação de acesso a recursos remotos, o que permite a colaboração científica e o compartilhamento de recursos em uma escala imprescindível e para grupos geograficamente distribuídos, possibilita trabalhar em conjunto de maneira que não era possível antes. Além disso, as grades surgiram como uma alternativa de custo relativamente mais baixo para viabilizar diversas pesquisas científicas.

A ideia fundamental das grades é o compartilhamento de recursos de forma coordenada. Isto implica que deve haver regras que regem esse compartilhamento. Por exemplo, que recursos estão disponíveis, quem pode acessar esses recursos e de que forma ocorrerá o acesso (FOSTER; KESSELMAN; TUECKE, 2001).

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.

2.2.1 Características de uma grade

As grades se caracterizam de uma forma geral pelo baixo custo comparado a alternativas locais como *clusters* e supercomputadores paralelos, pois utilizam uma grande quantidade de recursos já existentes.

Segundo Foster (2002) as três características básicas são:

- Recursos coordenados que não se sujeitam a um controle centralizado. Sistemas em grade podem englobar recursos entre os mais variados tipos;
- Utiliza protocolos e interfaces de propósito geral, abertos e padronizados, facilitando o desenvolvimento de novos serviços. A utilização de protocolos e padrões abertos é essencial para que os sistemas em grade possam realizar funções fundamentais como autenticação, autorização, descobrimento de recursos e acesso a eles, sem perder a capacidade de escalar e interagir com diferentes plataformas de *hardware* e *software*;

- Prover o mínimo em qualidade de serviço (QoS), o que permite atender aos diferentes perfis de usuários que fazem parte da grade.

Outras características da computação em grade são:

- Heterogeneidade - pois a grade é composta de uma variedade de sistemas cada um com suas particularidades de *hardware* e *software*;
- Abstração – que facilita o compartilhamento e a integração desses recursos. Permitindo a definição de uma variedade de serviços customizáveis sem que se precise conhecer detalhes dos componentes que implementam esses serviços. Do ponto de vista do usuário, a grade é um aglomerado de recursos que podem ser solicitados e integrados para servir a um propósito específico;
- Flexibilidade: a flexibilidade está relacionada com a capacidade que a grade tem de se organizar para atender determinadas solicitações. Por exemplo, pode-se agendar a utilização de um serviço para um período de tempo futuro, realizar mudanças na alocação de recursos em tempo real, e assim por diante;
- Escalabilidade - uma grade deve crescer de algumas dezenas de recursos para milhões de recursos sem perda de desempenho. Mas devido à alta dispersão geográfica, as aplicações de uma grade devem ser projetadas levando-se em consideração problemas com a latência e a largura de banda para a transmissão de dados;
- Compartilhamento de Recursos - os recursos de uma grade computacional não podem ser dedicados para nenhuma aplicação específica;
- Pervasividade - as grades podem englobar uma infinidade de sistemas e se espalhar em áreas geográficas bastante extensas, inclusive rompendo barreiras continentais;
- Controle Descentralizado - grades se caracterizam por proporcionar funcionalidades que não dependem da existência de uma entidade centralizada de gerenciamento. Os recursos são controlados de forma distribuída, pois estão normalmente localizados em domínios administrativos distintos. Não existindo um gerenciador centralizado que possui uma visão global do sistema;
- Dinamicidade e Adaptabilidade - em uma grade, a falha de um recurso é uma regra. Portanto, as aplicações e gerenciadores de recursos devem mudar seu comportamento de acordo com a disponibilidade dos recursos;

- Determinismo - em grades é desejável que certas aplicações possam ter garantias de níveis de serviço e de recursos disponíveis para que funcionem adequadamente;
- Segurança - a questão da segurança é fundamental em grades, principalmente para ambientes de grande extensão, que englobam entidades (reais ou virtuais) distintas, que por sua vez possuem restrições de acesso a determinados recursos e informações.

2.2.2 Padronização de grades

No intuito de realizar a visão da orientação a serviços, houve uma convergência de tecnologias da área de computação de alto desempenho e de padrões bem consolidados pela indústria, isso ocorreu através da união de tecnologias e conceitos de grades com *web services*. A partir disto e para facilitar o desenvolvimento de aplicações e serviços para esses ambientes é necessária a criação de padrões bem definidos.

A principal instituição responsável por regulamentar e padronizar as grades é o *Open Grid Forum* (OGF) (OGF, 2012). O OGF é a fusão do *Global Grid Forum* (GGF) e da *Enterprise Grid Alliance* (EGA).

Dentre os diversos padrões estabelecidos pelo OGF pode-se destacar o OGSA (*Open Grid Services Architecture*) que define uma arquitetura aberta e padronizada para o desenvolvimento de aplicações de grade. O OGSA especifica uma arquitetura orientada a serviços para a construção de grades computacionais baseados em serviços (*Web Services*), definindo serviços como: Gerência de Execução, Dados, Gerência de Recursos, Autogerenciamento e Informações (FOSTER, 2002).

2.3 REDES ÓPTICAS EM GRADES

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 infraestrutura de rede que dava suporte à computação em grade era considerada um componente importante, porém não integrada aos demais recursos da grade, mas 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; MAMBRETTI; KARMOUS-EDWARDS, 2006).

Além disso, em virtude do grande volume de dados manipulado, as grades necessitam de uma infraestrutura de comunicação robusta que seja adaptável as 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 (ESTEVEES et al., 2009).

As redes ópticas constituem a base da infraestrutura de comunicação de grades que estão sendo construídas atualmente, em virtude principalmente das altas taxas de transmissão possíveis com essa tecnologia, o que é fundamental para as grades, uma vez que certas aplicações científicas geram uma grande quantidade de dados.

Portanto, para facilitar e agilizar a transmissão dos dados utilizados em aplicações de grade computacional é necessário uma rede de alta largura de banda operando em taxas de transmissão que variam em torno de gigabits por segundo até terabits por segundo.

As grades que utilizam redes ópticas na sua infraestrutura são denominadas “grades ópticas” (*optical grid ou photonic grid*) (WANG et al., 2007). As grades ópticas visam atender a necessidade de aplicações que demandam a transmissão de grandes conjuntos de dados em longas distâncias. Alguns exemplos de aplicações e iniciativas que fazem o uso de grades e que utilizam redes ópticas são: o LHC (*Large Hadron Collider*) (LHC, 2012) é o maior acelerador de partículas do mundo; VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), onde informações coletadas a partir de rádios telescópios distribuídos pela Europa são processadas em uma grade local; o CineGrid (CINEGRID, 2012) é uma iniciativa que propõe a distribuição de conteúdo multimídia em altíssima definição; entre outros.

Com o avanço dos computadores, das tecnologias de comunicação, de aplicações que necessitam de processamento de dados distribuídos, tornou-se comum as aplicações em rede que necessitam de uma enorme quantidade de largura de banda, as redes WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) surgem como uma solução para isto.

A multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM) e a sua variante em larga escala (*DWDM – Dense WDM*), permitem que sinais distintos possam ser transmitidos simultaneamente na mesma fibra em diferentes comprimentos de onda cada um operando na casa de gigabits por segundo. (ESTEVEES et al., 2009)

WDM consiste em nós de roteamento óptico e enlaces de fibra óptica que podem ser usados para comutar comprimentos de ondas. Entre os vários paradigmas de comutação

óptica, as redes OBS oferecem vantagens em termos de comutação mais eficiente e são a arquitetura promissora para os *backbones* ópticos no futuro (DUTTA et al., 2011).

Além disso, as redes ópticas de próxima geração deverão ser baseadas na comutação puramente óptica, que elimina a necessidade de conversão do domínio eletrônico para o domínio óptico e vice-versa (OEO) dentro dos dispositivos de comutação. Por meio de tecnologias como MEMS (*Micro-Electrical Mechanical Systems*) e SOA (*Semiconductor Optical Amplifiers*), pretende-se desenvolver dispositivos de comutação capazes de realizar o encaminhamento de sinais totalmente no domínio óptico (OOO), sem a necessidade de conversão, o que permitiria taxas de transmissão mais altas que as obtidas atualmente devido às limitações de velocidade de inerentes aos dispositivos eletrônicos de comutação (ABELÉM; STANTON, 2002).

O GMPLS é a solução proposta pela IETF (*Internet Engineering Task Force*) para ser o plano de controle para a próxima geração de redes ópticas, a fim de lidar com novos desafios de engenharia de tráfego em redes ópticas e provê-las com mecanismos confiáveis de QoS fim-a-fim (JELINSKIS et al., 2011). Ele é uma extensão do MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) que permite o estabelecimento automático e a desconexão dos caminhos de comutação de rótulos (*Label Switched Path* – LSP) generalizados através da utilização de protocolos de sinalização como o RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering*).

Este plano de controle difere do MPLS tradicional, pois possui capacidade de comutação baseada em lambdas e fibras. GMPLS é o primeiro passo para a integração do plano de dados e as arquiteturas de redes ópticas, além de diminuir significativamente os custos operacionais com gerenciamento e operação de redes (JELINSKIS et al., 2011).

O GMPLS permite que os recursos de rede sejam acessados de forma direta e dinâmica pelos usuários e aplicações, o que facilita a visão da rede como uma coleção de recursos que podem ser reservados de acordo com uma demanda específica.

Esses e outros avanços contribuíram para que as redes ópticas sejam consideradas como blocos essenciais para a construção de uma infraestrutura de comunicação que atenda as exigências da computação em grade. Esforços estão sendo realizados para identificar e explorar as vantagens de se utilizar redes ópticas em grades e propondo formas de se abstrair os recursos das redes ópticas.

Nesse sentido, se faz necessária a integração do plano de controle com o *middleware* da grade, para proporcionar alocação de recursos de rede de forma transparente, semelhante ao que ocorre com os recursos de computação (ESTEVEES et al., 2009). O grupo de trabalho

NSI (*Network Service Interface*) do OGF (*Open Grid Forum*) atua no desenvolvimento e na padronização de soluções para criar uma interface entre o *middleware* da grade e a infraestrutura de rede que a suporta (NSI, 2011).

Existem várias iniciativas que utilizam redes ópticas para interligar recursos de computação de alta capacidade que vêm sendo desenvolvidas ao redor do mundo. Algumas destas iniciativas são:

- DRAGON (*Dynamic Resource Allocation via GMPLS Optical Networks*) (DRAGON, 2012) tem como objetivo investigar questões relacionadas ao estabelecimento de conexões que podem atravessar vários domínios e que serão disponibilizadas para aplicações avançadas, como as grades. O DRAGON propõe um plano de controle baseado no GMPLS para garantir, além do estabelecimento dinâmico de caminhos em domínios distintos, o cumprimento de políticas de AAA (Autenticação, Autorização e Aferição) e de QoS.
- GENI (*Global Environment for Network Innovations*) (GENI, 2012) é a iniciativa norte-americana que tem o objetivo de montar um grande laboratório em larga escala para experimentações em redes de computadores. Nessa estrutura, os usuários podem solicitar uma quantidade específica de recursos para um determinado experimento cuja realização não seria possível localmente.
- A iniciativa FIRE (*Future Internet Research and Experimentation*) na Europa visa à pesquisa experimental e ao financiamento de projetos que produzam infraestruturas para experimentação. A meta é que as pesquisas em tecnologias sejam direcionadas à rede ou a serviço e tenham a possibilidade de comparar as soluções correntes com as propostas futuras (FIRE, 2012).
- A iniciativa AKARI (AKARI, 2012), no Japão, propõe a construção de uma rede de nova geração que visa contornar as limitações existentes na Internet atual no que diz respeito ao desenvolvimento de uma nova arquitetura de rede que atenda requisitos tecnológicos e sociais.
- No Brasil, a iniciativa FIBRE (*Future Internet testbeds/experimentation between BRazil and Europe*) em conjunto com a União Europeia propõe a concepção, implementação e validação de infraestruturas de rede e computação compartilhadas para apoiar a realização conjunta por pesquisadores brasileiros

e europeus de experimentos voltados à Internet do Futuro em escalas e condições mais próximas da realidade (FIBRE, 2012).

2.3.1 Requisitos de Rede para Grades

Os sistemas de Computação em Grade surgiram nos anos 90 para atender a necessidade do compartilhamento de recursos para a execução de uma tarefa distribuída que utilize esses recursos, como processamento de alto desempenho, manipulação de grandes volumes de dados, simulações, entre outros.

Devido às novas exigências impostas pelas aplicações de grades, surgem novos requisitos que as redes devem satisfazer para se adequar às características de computação em grade, que se caracteriza por permitir o controle e o gerenciamento descentralizado dos recursos que fazem parte da mesma, ou seja, os recursos podem ser alocados e controlados de forma dinâmica e independente, sendo que a aplicação tem papel fundamental na reserva dos recursos interagindo com o *middleware* da grade e com o plano de controle da rede.

Alguns dos principais requisitos de rede que surgem no contexto de grades são listados a seguir (TRAVOSTINO; MAMBRETTI; KARMOUS-EDWARDS, 2006):

- Roteamento interdomínio - como em uma Grade Computacional os recursos estão geograficamente distribuídos, a localização de tais recursos torna-se uma tarefa bastante complexa, especialmente quando há uma grande quantidade de recursos envolvidos. Portanto, protocolos eficientes para o compartilhamento de recursos entre diferentes domínios tornou-se uma grande necessidade. Estes recursos de computação são heterogêneos podendo estar situados em domínios diferentes, passando por redes que pertencem a organizações distintas. Nesse contexto, algumas questões que devem ser levantadas estão principalmente relacionadas à confidencialidade das informações que trafegarão nessas redes; ao provisionamento automático de recursos sem a intervenção humana; e ao oferecimento de garantias de QoS fim-a-fim.
- Agendamento Futuro de Conexões - muitas aplicações de grade, com as de *e-science*, necessitam solicitar recursos para um tempo futuro. Isto é mais rotineiro quando se deseja reservar uma grande quantidade de recursos por um período de tempo definido. Por essa razão, se fazem necessárias extensões aos protocolos de sinalização e controle, para que estes sejam capazes de reservar recursos para um tempo futuro com uma duração específica.

- Estabelecimento Rápido de Conexões - certas classes de aplicações, com as aplicações multimídia, são sensíveis a propriedades da rede como atraso e variação de atraso, podendo comprometer o desempenho da aplicação.
- Suporte a diferentes perfis de utilização - as grades são normalmente utilizadas por uma grande quantidade de usuários e aplicações que possuem diferentes perfis de tráfego e de utilização dos recursos da grade.
- Determinismo - certas aplicações de grade necessitam de garantias de desempenho para o seu funcionamento adequado. Essas garantias podem envolver um limite máximo para as perdas, latência, disponibilidade de uma determinada quantidade de recursos para um período específico de tempo, entre outras. Determinismo está associado a proporcionar QoS de forma absoluta.

2.4 GRID OBS

Redes ópticas para computação em grade é uma proposta bastante interessante, pois oferece uma grande quantidade de largura de banda e o alcance global aos recursos. Segundo Nejabati et al. (2008), as grades que utilizam a infraestrutura de redes ópticas são dedicadas a organizações que necessitam de tarefas (*jobs*) enormes. Este tipo de grade se baseia em fornecer recursos de rede óptica para as aplicações de grade, enquanto os usuários da grade não têm visibilidade da infraestrutura óptica baseada em comprimentos de onda (λ).

Como a rede OBS é uma opção atrativa para ser utilizada na computação em grade, sua combinação resulta no conceito de Grid-OBS (GOBS - *Grid Optical Burst Switched Networks*) (NEJABATI et al., 2008).

2.4.1 Redes OBS em Grades

A comutação OBS vem sendo considerada uma excelente candidata para atender a computação em grade por devido a várias razões, dentre as quais se destacam (NEJABATI et al., 2008):

- Os *jobs* (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;

- O processamento eletrônico dos pacotes de controle permite a adição de novas funcionalidades no contexto de grades, como descoberta inteligente de recursos e segurança.

2.4.1.1 Arquitetura de uma rede Grid-OBS

Em uma rede GOBS, podem-se destacar dois tipos de nós: os nós de núcleo (*core nodes*) e os nós de borda (*edge nodes*).

Dentro do contexto de grades, existem diferentes perfis de utilização dos recursos disponíveis que resultam em requisições (*jobs*) de tamanho e duração variáveis. Portanto, existe a necessidade de utilizar tecnologias que realizem a comutação de maneira rápida, sendo essencial para as redes OBS de alta velocidade que suportam as aplicações de grade. Logo, os nós de núcleo necessitam de dispositivos que sejam capazes de fazer a comutação em velocidades muito altas e realizar o processamento das informações de controle e do BCP de maneira inteligente.

Segundo Nejabati et al. (2008), uma solução de rede OBS apropriada para grade precisa considerar a combinação de comutadores de alta velocidade baseados em SOAs, para as rajadas menores, e de comutadores de baixa velocidade baseados em MEMS, para as rajadas de maior granularidade.

Os nós de borda em uma rede GOBS são responsáveis pelas funções de:

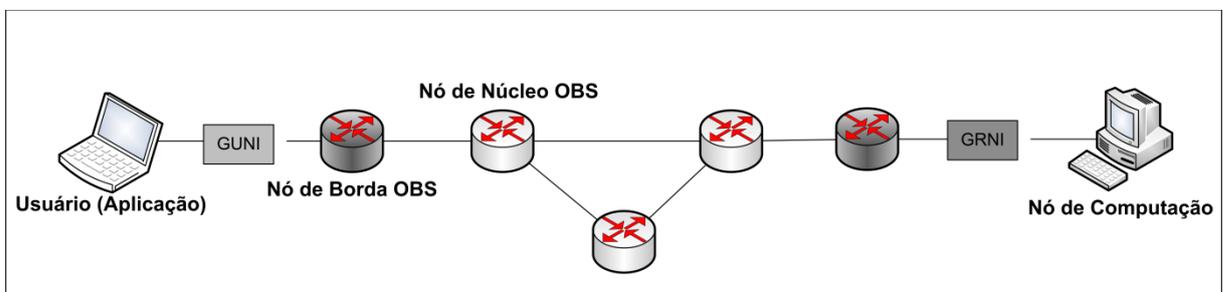
- Classificação de tarefas na borda da rede - deve prover serviço justo e especializado – serviço diferenciado em grade (GridDiffServ) e também no escalonamento de tarefas e na descoberta de recursos (NEJABATI et al., 2008). O mecanismo de classificação de tarefas deve ser flexível e escalável processando os *jobs* de acordo com as requisições da grade, acionando *triggers* nos roteadores de borda da rede GOBS como o escalonamento de *jobs* e a descoberta de recursos para prover GridDiffServ.
- Agregação de tráfego e montagem de rajadas – tem grande impacto no funcionamento da rede, pois depende das características das rajadas. Variam de acordo com o tipo de mecanismo para determinar o processo de montagem, por exemplo, um tempo máximo de montagem ou o tamanho máximo de rajadas.
- Definição de interfaces entre a rede e os usuários (*GUNI – Grid User to Network Interface*) e entre a rede e os recursos da grade (*GRNI – Grid Resource to Network Interface*) (NEJABATI et al., 2008), que são ilustradas na Figura 3.

Na Figura 3, a GUNI se constitui de um conjunto de funcionalidades que permitem que o usuário interaja diretamente com os serviços oferecidos pela grade. Por exemplo,

usuário pode solicitar caminhos para uma determinada tarefa que obedecem a certas restrições, como banda. Para isso, são necessários aperfeiçoamentos ao plano de controle das redes para proporcionar essas facilidades. Algumas funções da GUNI são: alocação flexível de banda, solicitação de acordos de serviço já existentes, estabelecimento de caminhos de forma automática, classificação e agregação de tráfego.

Para garantir que a rede tenha conhecimento sobre a disponibilidade dos recursos de computação como processamento e armazenamento, é necessário que exista uma interface entre a rede e os demais componentes da grade. Esse papel é feito pela GRNI, cujas funções principais são: envio das tarefas para os sistemas finais, suporte a esquemas de reserva antecipada de recursos e propagação do estado dos recursos de computação disponíveis.

Figura 3 - GUNI e GRNI em rede OBS.



2.4.1.2 Sinalização e Controle

A sinalização representada pelo BCP nas redes OBS é responsável por reservar os recursos ao longo da rota e configurar os dispositivos de comutação para que a rajada possa ser encaminhada totalmente no domínio óptico. O BCP é processado de forma eletrônica e, após o tempo de ajuste (*offset*), a rajada é enviada. As alternativas de sinalização para redes OBS mais conhecidas são o JET (*Just Enough Time*) (YOO; QIAO; DIXIT, 2001) e o JIT (*Just In Time*) (WEI; MCFARLAND, 2000).

Os protocolos JET e JIT diferem quanto ao instante em que os recursos são reservados para uma determinada rajada. Em ambos, o tempo de ajuste é fixo para rajadas com o mesmo endereço de destino. No JET, a reserva pode ser atrasada para um tempo futuro e a liberação dos recursos é implícita sem a necessidade de nenhum tipo de mensagem, enquanto no JIT, a reserva é imediata e a liberação deve ser feita de forma explícita através de uma mensagem que sinalize a liberação.

Existem várias maneiras de manipular esse tempo de ajuste, sendo normalmente relacionadas com a implementação de esquemas de qualidade de serviço. Um tempo de ajuste pequeno diminui o atraso de uma maneira geral, porém gera muita informação de controle e

exige dispositivos de comutação mais rápidos. Por outro lado, um tempo de ajuste mais elevado pode reduzir o bloqueio e a quantidade de sinalização, no entanto, a latência é maior.

Outra questão importante é o escalonamento de rajadas, que é responsável por determinar qual o comprimento de onda mais adequado para receber uma rajada, procurando evitar ao máximo o bloqueio e minimizar a latência. Alternativas como o LAUC-VF (XIONG;VANDENHOUTE;CONKOYA, 2000) procuram reduzir o espaço (*gap*) entre as rajadas, alocando novas rajadas nos espaços vazios quando for possível.

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).

Um plano de controle caracteriza uma série de funcionalidades, e seus respectivos protocolos, relacionadas à operação de uma infraestrutura de rede. Entre as principais funções de um plano de controle estão o roteamento, que define o caminho por onde as informações serão encaminhadas, e a sinalização que é responsável pela reserva efetiva dos recursos ao longo da rota definida pelo protocolo de roteamento.

Portanto, o plano de controle é parte fundamental das redes de próxima geração e na computação em grade essa importância é acentuada, uma vez que os usuários e aplicações deverão ter acesso direto aos recursos e aos serviços da grade, e para isso é necessário que a rede tenha inteligência suficiente para proporcionar o controle dinâmico de conexões de forma automática e transparente.

Segundo Esteves et al. (2010), o GMPLS estende a comutação baseada em rótulos para incluir vários tipos de interface, como:

- Interfaces PSC (*Packet Switch Capable*): são interfaces que reconhecem pacotes e encaminha dados com base no cabeçalho do pacote ou no valor do rótulo MPLS.
- Interface L2SC (*Layer-2 Switch Capable*): são interfaces que reconhecem frames/células, comutando dados com base no cabeçalho do frame/célula. São exemplos de dispositivos que suportam interfaces desse tipo: comutadores Ethernet e comutadores ATM.
- Interfaces TDM (*Time Division Multiplexing Capable*): esse tipo de interface comuta dados com base em intervalos de tempo fixos que se repetem em ciclos, a exemplo do que ocorre nas redes SONET/SDH.

- Interfaces LSC (*Lambda Switch Capable*): são interfaces baseadas no comprimento de onda que transporta os dados, normalmente utilizadas em OXCs e PXCs, dispositivos capazes de operar no nível de comprimento de onda.
- Interfaces FSC (*Fiber Switch Capable*): são interfaces que comutam dados com base na posição física dos dados, por exemplo, uma porta física de um comutador óptico OXC.

O GMPLS é baseado em três funcionalidades principais: roteamento, sinalização e gerenciamento de enlaces. Roteamento nesse contexto está mais associado à descoberta de recursos na rede através do gerenciamento e na divulgação de informações sobre a topologia, utilizando para tal o protocolo OSPF-TE (KATZ; KOMPPELLA; YEUNG, 2003). A sinalização é responsável por reservar os recursos para o estabelecimento de conexões, sendo os protocolos de sinalização mais utilizados o RSVP-TE (AWDUCHE et al., 2001) e o CR-LDP (JAMOUSSE et al., 2002). O gerenciamento de enlaces permite que cada nó da rede determine a identidade dos seus vizinhos e os detalhes da conectividade entre esses nós, essas informações são necessárias para a descoberta de topologias e para a sinalização. O gerenciamento de enlaces na arquitetura GMPLS é realizado pelo LMP (LANG, 2005).

A utilização de um plano de controle distribuído como o GMPLS em grades é adequada para situações onde se deseja um estabelecimento rápido de conexões e facilidades de descoberta de recursos e engenharia de tráfego.

O GMPLS suporta esquemas de proteção e restauração de enlaces. Existem diferentes métodos para prover restauração em redes ópticas, eles são chamados de M:N, em que M é o número de canais de backups pré-alocados que podem ser compartilhados entre N caminhos primários ou de restauração. Há subcasos de restauração M:N bastante usados como o 1:N, no qual um canal de backup é compartilhado entre N caminhos primários e 1:1 em que um canal de backup é reservado para um único caminho primário. Note que a diferença entre os mecanismos 1+1 e 1:1 é que no primeiro, o canal redundante é um espelho do principal, ou seja, os dados são transmitidos em paralelo, enquanto que no segundo caso, o canal de backup ficará ocioso até ser solicitado. A diferenciação entre os métodos é determinada pelo momento em que são realizadas as ações, antes ou depois da falha.

Caso ocorra uma falha em um enlace, este poderá ser recuperado utilizando um dos seguintes mecanismos: Proteção de LSP (*1+1 LSP Protection, 1:1 LSP Protection*), Proteção de enlace (*1+1 Link Protection, 1:1 Link Protection, 1:N Link Protection*), Restauração de

LSP (*End-to-end LSP Restoration with Re-provisioning*), Otimizado (*Enhanced*) e Tráfego Extra (*Extra Traffic*) (BERGER, 2003) (LANG; RAJAGOPALAN, 2004).

O esquema otimizado define que outros mecanismos, como anéis de proteção, devem ser utilizados para assegurar um grau de confiabilidade mais elevado do que o esquema 1+1. No mecanismo de Tráfego Extra, um LSP pode ser estabelecido a partir de recursos que estão protegendo outros tráfegos, sendo que na ocorrência de falhas, este LSP pode sofrer preempção, isto é, pode dar lugar ao tráfego dos enlaces que falharam. No esquema de restauração de LSP, uma nova rota é calculada somente após a ocorrência da falha sem nenhuma garantia acerca da existência de recursos para o estabelecimento dessa nova rota (VIANA, 2006).

O gerenciamento de falha consiste em identificar de forma inteligente as quatro etapas importantes do processo de tratamento de falhas: detecção, localização, notificação e atenuação. A melhor forma de detecção de falhas é fazer seu tratamento na camada mais próxima da ocorrência da mesma. Em redes ópticas, deve-se procurar sinais de falha na camada física.

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 et al. (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.

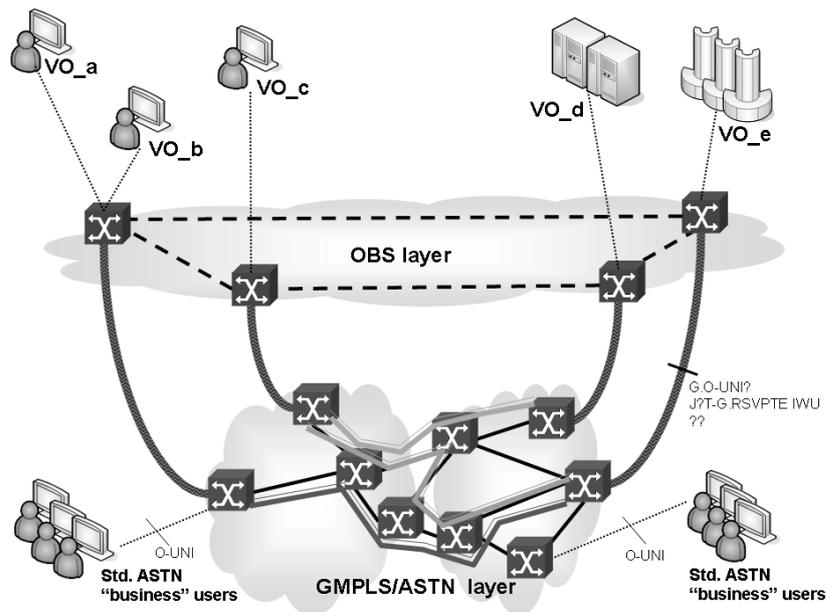
Perdas de rajadas ópticas são críticas, especialmente as que possuem requisitos de QoS, pois cada rajada contém uma grande quantidade de dados. Entre os problemas que podem ocorrer na fibra, podem-se citar os erros relacionados com as variáveis da camada física, que afetam diretamente a qualidade da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

Em relação à sinalização, existem discussões a respeito da coexistência da sinalização nativa das redes OBS (JET/JIT) com um plano de controle como o GMPLS. Portanto, conciliar a existência dessas duas abordagens de sinalização é necessário para garantir que diversos tipos de usuários que fazem uso dos serviços da grade possam ser atendidos satisfatoriamente. Assim, o OGF propõe uma arquitetura sobreposta para combinar essas duas dimensões de controle (NEJABATI, 2006). A visão geral da arquitetura é apresentada na Figura 4.

A arquitetura proposta pelo OGF é composta por nós OBS de borda e de núcleo; bem como por nós híbridos, capazes de entender tanto a sinalização OBS e os protocolos da arquitetura GMPLS. Por essa razão, pode-se considerar que essa arquitetura é um modelo de rede híbrida, que pode trabalhar com diferentes tipos de comutação e esquemas de sinalização. Em grades, essa característica é fundamental uma vez que as demandas dos usuários e aplicações podem mudar com bastante frequência.

Figura 4 - Arquitetura OBS sobre GMPLS



Fonte: NEJABATI, 2006.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou conceitos básicos de redes ópticas, falhas relacionadas aos enlaces, computação em grade, desafios de rede que aparecem no contexto de grades e apresentou motivos para que a comutação de rajadas ópticas seja considerada uma excelente alternativa para as novas gerações de grades. Além de apresentar os conceitos relacionados ao plano de controle GMPLS e o gerenciamento de falhas.

Na próxima seção, são apresentados os principais conceitos relacionados a Sistemas Difusos.

3 SISTEMAS DIFUSOS

A lógica clássica aristotélica é bivalente, isto é, reconhece somente dois valores: verdadeiro ou falso; enquanto a lógica difusa (ou *fuzzy*) é multivalorada, ou seja, reconhece diversos valores, assegurando que a verdade é uma questão relativa ou de graduação (CHEN, 2000).

A lógica *fuzzy* (Lógica Nebulosa) é utilizada em aplicações nas quais a imprecisão é parte inerente do problema. Ela possibilita tratar de um modo mais adequado expressões verbais, imprecisas, qualitativas, inerentes da comunicação humana, que possuem vários graus de imprecisão e podem sistematicamente traduzir os termos difusos da comunicação humana em valores compreensíveis por computadores (CHEN, 2000).

Portanto, pode-se definir a Lógica Fuzzy como uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em linguagem natural (palavras), e convertê-las em um formato numérico, de fácil manipulação, com o objetivo de incorporar os diferentes graus de verdade existentes em situações da vida real e modelá-los em uma forma matemática.

Os sistemas *Fuzzy* têm sido utilizados, nos últimos anos, para tratar os problemas que envolvem imprecisão. No entanto, algumas vezes é difícil para o especialista representar seu conhecimento através de números reais. Além disso, quando a aquisição do conhecimento é realizada entre vários especialistas, é comum haver diferença entre alguns valores de pertinência fornecidos pelos mesmos.

Um sistema que utilize lógica *fuzzy* ou sistema difuso pode resolver problemas, tal como faria um ser humano; como controlar a precisão e a temperatura de uma caldeira na indústria, processar e reconhecer imagens ou controlar uma lavadora de roupas, estas são situações que têm em comum a complexidade, dinamismo e também serem mais facilmente caracterizadas por palavras do que por expressões matemáticas (ZANUSSO, 1997).

Os sistemas desenvolvidos com a aplicação de Conjuntos *fuzzy* são considerados sistemas inteligentes que permitem a programação evolutiva, ou seja, a possibilidade de aumentar a capacidade de aprendizado do próprio sistema. Os conceitos e as ideias atrás da lógica difusa conduziram a representações matemáticas mais realísticas e mais exatas da percepção da verdade. Ela é uma técnica que incorpora a forma humana de pensar em computadores.

Um sistema *fuzzy* típico pode ser projetado para comportar-se conforme o raciocínio dedutivo, isto é, o processo que as pessoas utilizam para inferir conclusões baseadas em informações que elas já conhecem.

A lógica difusa trabalha com a imprecisão das variáveis da entrada e de saída do sistema, definindo os números difusos e os conjuntos difusos que podem ser expressos em variáveis linguísticas (por exemplo: frio, normal e quente). Os conjuntos difusos são combinados com as regras difusas que são obtidas dos especialistas humanos ou baseadas no conhecimento do domínio. A coleção obtida de regras é combinada em um único sistema.

Embora outras técnicas de inteligência computacional possam ser implementadas por outros meios, as implementações por lógica *fuzzy* frequentemente se tornam muito mais eficientes, pois sua utilização:

- Nasce da experiência e de experimentos, em vez de modelos matemáticos. Portanto, uma implementação linguística é muito mais rápida de se implementar;
- Envolve um número muito grande de entradas, a maioria das quais relevantes apenas para condições especiais. Tais entradas são ativadas apenas quando condições específicas prevalecem. Dessa forma, algumas condições raras ou excepcionais podem ser incorporadas com pouquíssimo *overhead* computacional, e ainda assim, a estrutura de software permanece transparente e compreensível;
- É, frequentemente, mais eficiente, em termos de codificação e o tempo computacional de execução.

Esta dissertação utiliza sistema *fuzzy* para predizer situações problemáticas nos enlaces através da avaliação de variáveis escolhidas pelo especialista em redes GOBS, proporcionando assim a diminuição de perdas de rajadas nas redes, conseqüentemente o balanceamento de carga e a engenharia de tráfego.

3.1 TEORIA DOS CONJUNTOS DIFUSOS

Segundo Kickert (1978), a teoria dos conjuntos difusos foi criada pelo professor Lofti Zadeh, professor da Universidade da Califórnia em Berkeley, quando, em 1965, publicou o artigo intitulado *Fuzzy Sets* como uma alternativa genérica à lógica convencional, chamada *Crisp*. Zadeh coloca a questão do verdadeiro/falso como a pertinência de um determinado elemento a um desses conjuntos. A pertinência, no âmbito de 0 a 1, pode ser falsa (zero), verdadeira (um) ou ainda passar pelos infinitos valores entre um e o outro.

Zadeh (1965) propôs uma caracterização mais ampla, generalizando a função característica f_A em um conjunto *fuzzy*, de modo que ela pudesse assumir um número infinito de valores no intervalo $[0,1]$.

Conjuntos difusos são funções que mapeiam um valor x em um valor dentro do intervalo $[0, 1]$, indicando assim seu grau de pertinência ao conjunto. Um conjunto *fuzzy* A em um universo X é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x): x \rightarrow [0, 1]$, e representado por um conjunto de pares ordenados.

$$A = \{\mu_A(x)/x\}$$

Onde μ_A indica o quanto x é compatível com o conjunto A . Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *fuzzy*, com diferentes graus de pertinência, ou seja, traduzindo para linguagem de conjuntos temos:

- $\mu(x) = 1$ indica que x é completamente compatível com A ;
- $\mu(x) = 0$ indica que x é completamente incompatível com A ;
- $0 < \mu(x) < 1$ indica que x é parcialmente compatível com A , com grau $\mu(x)$.

A forma geométrica de uma função de pertinência é a caracterização da imprecisão na variável difusa correspondente. A função triangular é a forma de função de pertinência mais frequentemente usada e a mais prática. Outras formas tais como o trapezoidal, Gaussiana, Sigmóide são também usadas.

No Quadro 2 estão apresentadas as funções de pertinências mais utilizadas na Lógica Difusa.

Quadro 2: Funções de Pertinência.

Função	Equação
Triangular	$\mu_{tri}(x, a, b, c) = \max\left(0, \min\left[\frac{(x-a)(c-x)}{(b-a)(c-b)}\right]\right)$ (1)
Trapezoidal	$\mu_{tra}(x, a, b, c) = \max\left[0, \min\left[\frac{(x-a)}{(b-a)}, 1, \frac{(c-x)}{(c-b)}\right]\right]$ (2)
Gaussiana	$\mu_{gau}(x, s, c) = \exp\left\{\frac{-(x-c)^2}{s}\right\}$ (3)
Sigmóide	$\mu_{sig}(x, a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x-c)]}$ (4)

Na Figura 5,

Figura 6, Figura 7 e na Figura 8 estão as representações das quatro funções de pertinência do Quadro 2.

Figura 5: Função de Pertinência Triangular.

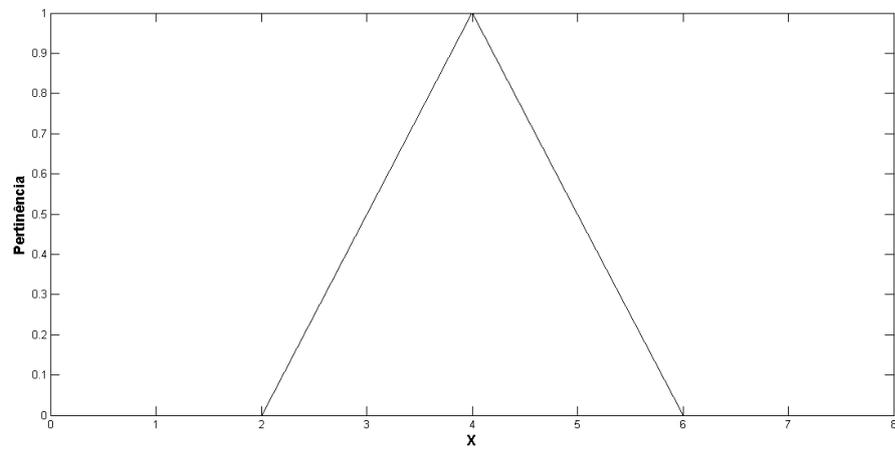


Figura 6: Função de Pertinência Trapezoidal.

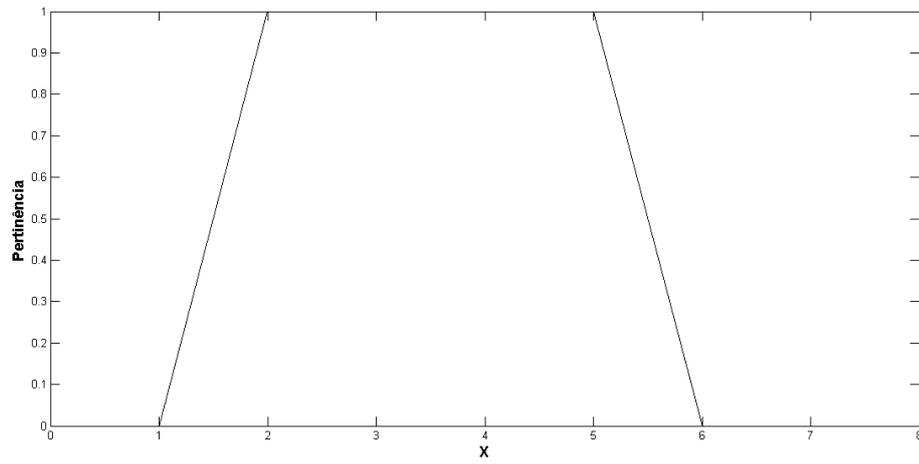


Figura 7: Função de Pertinência Gaussiana.

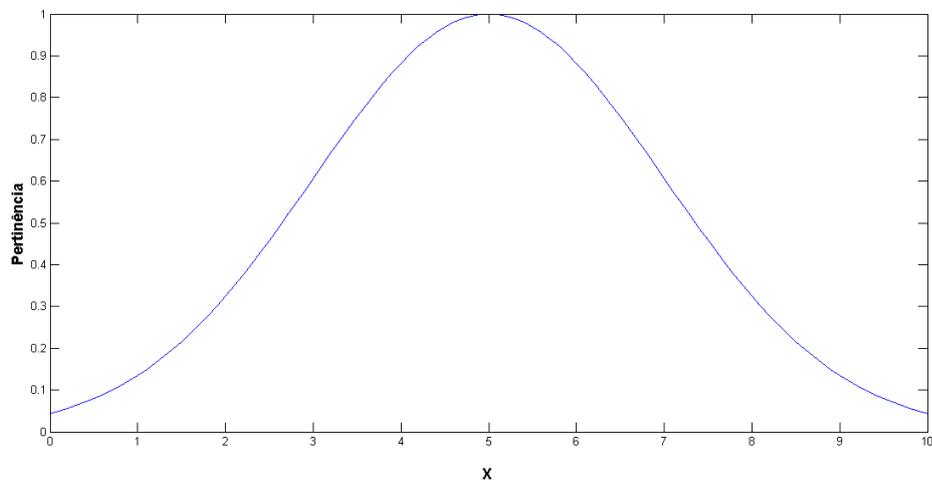
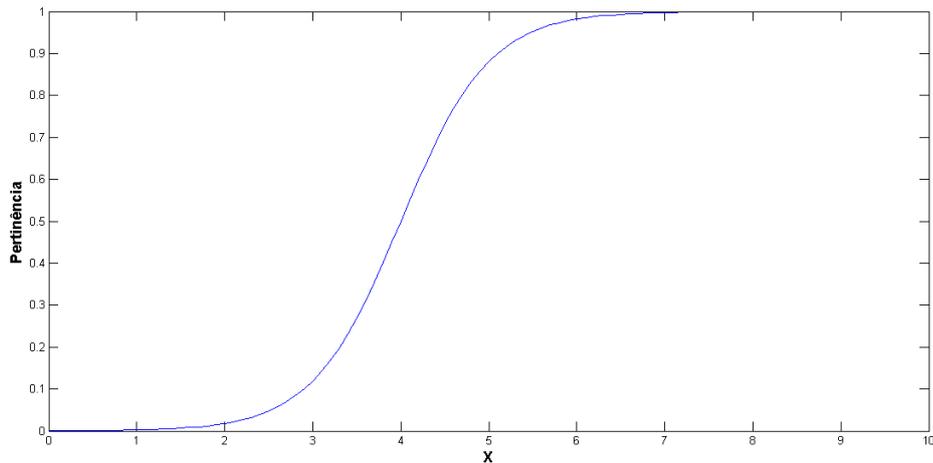


Figura 8: Função de Pertinência Sigmóide.

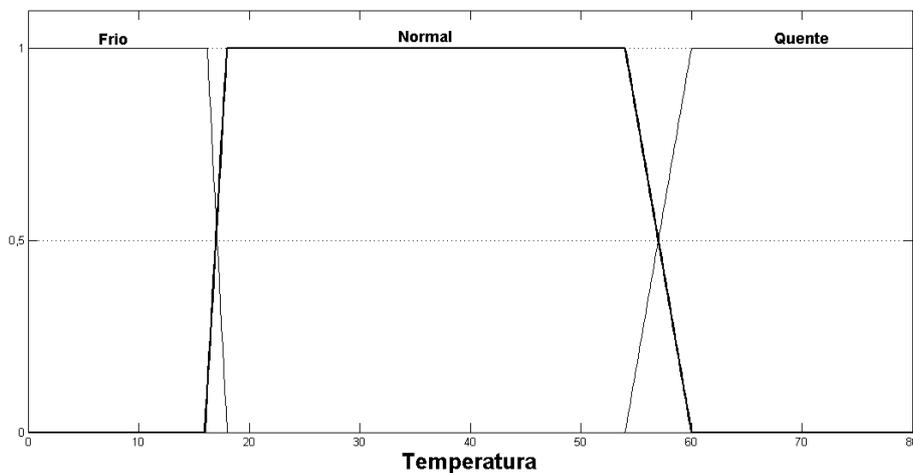


3.2 VARIÁVEL LINGUÍSTICA

Uma variável linguística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos *fuzzy*, estes valores são palavras na linguagem natural (WANG, 1997). Por exemplo, a temperatura de um determinado processo pode ser uma variável linguística assumindo valores: quente, frio e normal. E as palavras são caracterizadas por conjuntos difusos definidos no universo de discurso no qual a variável está definida, sendo representados por funções de pertinência.

Um exemplo com conjuntos difusos pode ser visto na Figura 9. O eixo vertical representa os graus de pertinência variando de 0 a 1. O eixo horizontal representa as temperaturas em graus Celsius. Temperatura é uma variável linguística com três termos (frio, normal e quente) representados através de funções de pertinência. A definição de cada conjunto difuso depende do contexto em que o sistema difuso irá manipular.

Figura 9 - Conjunto Difuso.

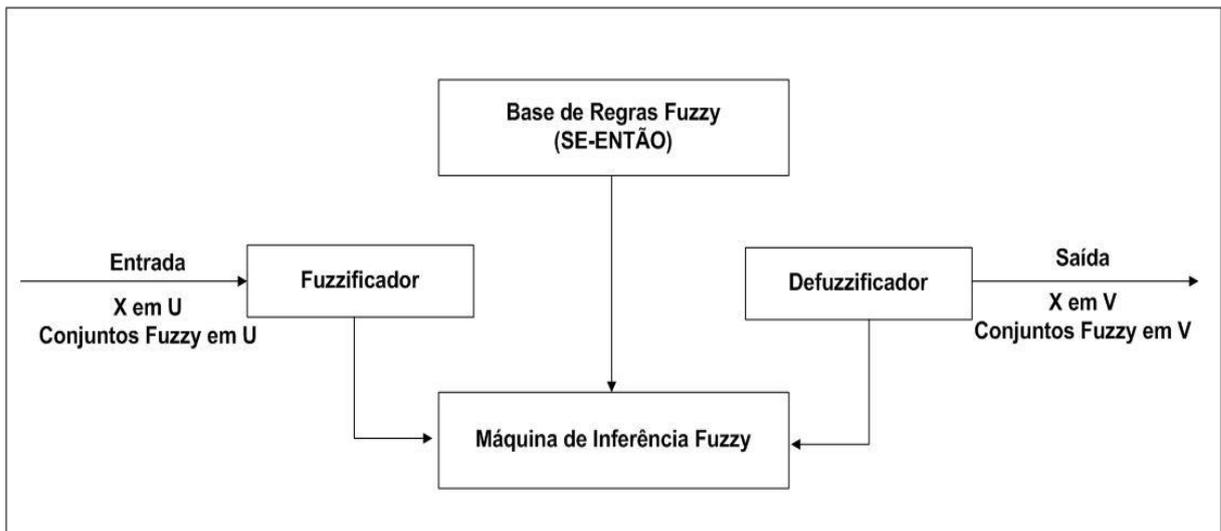


Formalmente uma variável linguística é caracterizada por (X, T, U, M) , onde X é o nome da variável linguística; T é o conjunto dos valores linguísticos possíveis para X ; U é o domínio físico atual o qual a variável linguística pode obter seus valores quantitativos e; M é a regra semântica que relaciona cada valor linguístico em T com um conjunto difuso em U .

3.3 SISTEMA BASEADO EM REGRAS DIFUSAS

De acordo com Wang (1997), genericamente, um sistema baseado em regras difusas é composto de quatro componentes conforme especificado na Figura 10.

Figura 10 - Componentes de um Sistema Fuzzy.



a) Fuzzificador - no processo de fuzzificação é realizada a análise do ambiente e são utilizadas as funções de pertinência pré-definidas que mapeiam cada entrada do sistema em um ou mais graus de pertinência. Como os sistemas Fuzzy trabalham com termos linguísticos, há a necessidade de se transformar esses dados de entrada em conjuntos *fuzzy*. Portanto, é executado um mapeamento dos dados de entrada (em geral, números discretos) em números *fuzzy*.

Para que haja essa transformação, os valores numéricos dados para cada variável de entrada são avaliados contra as funções de pertinência associadas à variável correspondente, resultando o grau de pertinência de cada valor nos termos linguísticos correspondentes. Dentre os fuzzificadores mais utilizados, destacam-se: Trapezoidal, Gaussiano e Triangular (WANG, 1997).

b) Máquina de Inferência *Fuzzy* - onde os princípios da lógica *fuzzy* são usados para combinar as regras *fuzzy* “SE-ENTÃO” (IF-THEN) existentes na base de regras em um mapeamento de um conjunto *fuzzy* de entrada para um conjunto *fuzzy* de saída.

Pode-se inferir um conjunto de regras de duas formas: inferência baseada em composição e inferência baseada em regras individuais. Na inferência baseada em composição, utilizada neste trabalho, todas as regras da base de regras são combinadas com uma relação *fuzzy* simples, união ou interseção (operadores E ou OU). Essas combinações podem ser a Mamdani (S-norma) ou de Gödel (T-norma) (ZADETH, 1965).

Na inferência baseada em regras individuais, cada regra da base de regras determina um conjunto *fuzzy* de saída e a saída da máquina de inferência é a combinação de vários conjuntos *fuzzy* individuais, a combinação pode ser feita pela união ou interseção.

Existe uma variedade de escolhas para máquinas de inferência. A utilização deste tipo de máquina de inferência é devido ao fato das suas vantagens como simplicidade computacional e apelo intuitivo. Nesta dissertação, utiliza-se a máquina de inferência de Mandani (ZANUSSO, 1997).

c) Base de Regras *Fuzzy* - a maioria dos sistemas computacionais tem o seu conhecimento representado por regras que ditam a maneira como ele deve agir. Nos sistemas *fuzzy*, seus comportamentos também são ditados por regras. A base de regras *fuzzy* representa o conhecimento humano através de um conjunto de regras “SE-ENTÃO”, que especifica uma relação linguística entre as variáveis de entrada e saída do sistema.

Nesta base, são definidas as regras, com base no conhecimento adquirido pelo especialista no ambiente de rede GOBS. Estas regras são avaliadas combinando graus de pertinência para formar as saídas. Uma regra *fuzzy* caracteriza-se por ser uma expressão condicional sob a forma: SE (antecedente/expressão *fuzzy*) ENTÃO (consequente/expressão *fuzzy*).

O antecedente é formado por uma proposição simples ou uma combinação de proposições que descreve condições verificadas pela regra. E o consequente descreve uma ação a ser tomada no caso de todas as proposições do antecedente serem atendidas. A combinação ente proposições é feita pelos operadores lógicos “E” e “OU”, onde o grau de pertinência do consequente dependerá do antecedente.

Variáveis linguísticas podem ser sentenças em uma linguagem específica, construída a partir de termos primários (alto, baixo, pequeno, médio, grande), de conectivos lógicos (negação: não, conectivos: e, ou), de modificadores (muito, pouco, levemente, extremamente) e de delimitadores (parênteses).

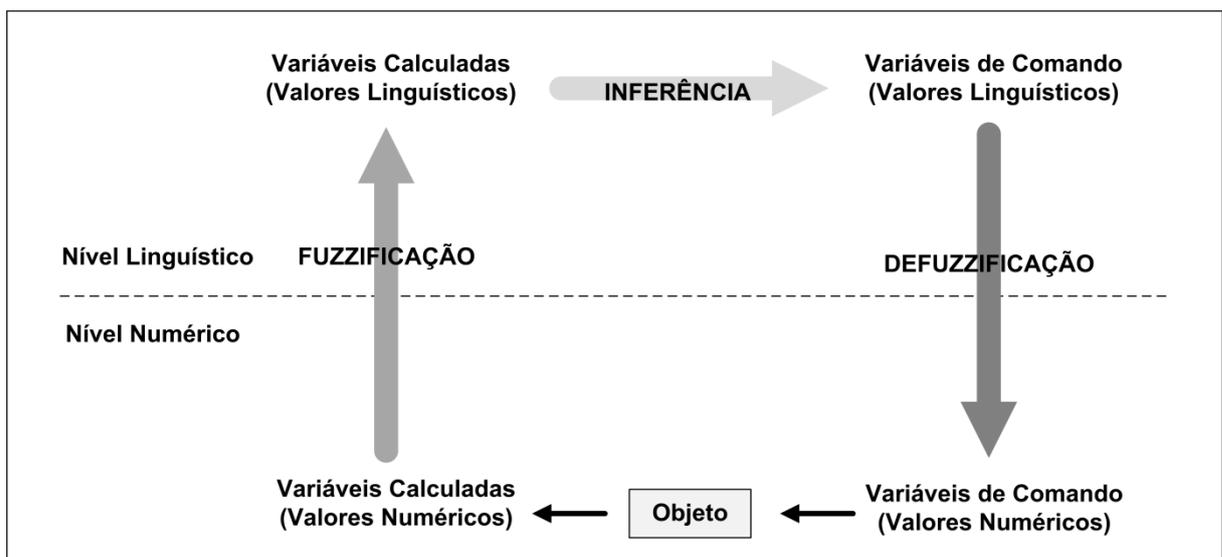
d) Defuzzificador - o processo de defuzzificação calcula as saídas do sistema, obtendo a melhor representação para o conjunto de saída difuso. Também pode ser definido, como um mapeamento de um conjunto difuso saído da máquina de inferência em um valor real. Isto é, especifica um ponto na saída que melhor represente o conjunto difuso. Na escolha de um defuzzificador, os critérios de plausibilidade (o valor de saída é intuitivo), simplicidade computacional e de continuidade devem ser considerados. Segundo Wang (1997), os defuzzificadores mais utilizados são: Centro de Gravidade, Centro Ponderado e Média do Máximo.

Nesta dissertação, foi utilizado o 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.

3.4 AS ETAPAS DO RACIOCÍNIO DIFUSO

As etapas do raciocínio difuso correspondem a fuzzificação, a inferência de regras e a Defuzzificação, como descrito na Figura 11.

Figura 11 - Etapas do Raciocínio Difuso.



Na fuzzificação é realizada a transformação das variáveis do problema em valores fuzzy, transformando um dado numérico em um termo de linguagem natural. Cada valor de um dado ocorre a ativação de uma função de pertinência para que seja possível fazer o mapeamento das variáveis de entrada para os valores *fuzzy*. Por exemplo, o peso e a altura de uma pessoa são chamados de variáveis fuzzy. Às variáveis fuzzy são atribuídos os conjuntos

fuzzy, como “muito”, “pouco”, “alto” ou “baixo”. Estes tipos de atribuições são chamadas de valores fuzzy.

Nesta etapa, é realizada a análise do ambiente, pois é de extrema importância conhecer o problema a ser manipulado, como o especialista trabalha e como ele entende sua realidade, quais as decisões e quando elas são tomadas. A partir da aquisição deste conhecimento, pode-se saber em qual contexto o sistema baseado em lógica difusa será aplicado. Nesta etapa são definidos os conjuntos difusos, escolhendo qual o tipo de conjunto a ser adotado, as variáveis linguísticas e as funções de pertinência.

A segunda fase é a inferência das regras. É através dela que é feita a tomada de decisão. Nela são determinados os graus de pertinência de cada elemento ao conjunto, para posterior utilização das regras do tipo *SE-ENTÃO*, ou seja, são regras definidas com base no conhecimento adquirido no ambiente.

O processo de inferência avalia os níveis de “compatibilidade” das variáveis de entrada com os antecedentes das várias regras, ativando os consequentes com intensidades proporcionais aos mesmos. Disso resulta um conjunto difuso, que será convertido em escalar (defuzzificado), fornecendo a saída do sistema.

A última etapa é a defuzzificação, onde o valor da variável linguística de saída inferida pelas regras fuzzy será traduzido num número. O objetivo é obter um único valor numérico que melhor represente os valores fuzzy inferidos da variável linguística de saída.

O sistema *fuzzy*, ao receber uma entrada, transforma-a em uma entrada *fuzzy* que, por sua vez, é submetida ao sistema de inferência (regras *fuzzy*) que devolve uma saída *fuzzy* para este sistema.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou uma revisão dos mais importantes conceitos e definições relacionados aos sistemas difusos, que são necessários para o bom entendimento do sistema difuso desenvolvido neste trabalho para a avaliação do estado do enlace óptico, auxiliando na predição de falhas em enlace ópticos de redes GOBS.

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

Este capítulo apresenta a arquitetura proposta para predição de falhas em redes baseadas na comutação de rajadas ópticas que utilizam um plano de controle GMPLS em um ambiente de grade computacional.

A Seção 4.1 discute aspectos relacionados à predição de falhas em redes GOBS baseadas no GMPLS. As seções seguintes tratam os componentes utilizados na proposta, sendo na Seção 4.2 apresentado o agente de monitoração de recursos, denominado *DQMA-Fuzzy*. A Seção 4.3 apresenta o Servidor GOBS. O componente principal da arquitetura proposta, o Módulo Fuzzy, é descrito na Seção 4.4. A Seção 4.5 descreve a arquitetura de predição de falhas utilizada para minimizar as perdas de *jobs* e balancear a utilização dos recursos de grade. Por fim, a Seção 4.6 conclui o capítulo.

4.1 PREDIÇÃO DE FALHAS EM REDES GOBS BASEADAS EM 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 inteligência computacional é uma técnica viável para ser utilizada na predição de falhas em redes GOBS, principalmente quando se utiliza a Lógica *Fuzzy* devido sua natureza incerta, pois trata variáveis distintas, em geral descritas em linguagem natural, e utiliza a lógica difusa para representá-la. Além da facilidade de implementação em computadores.

A Lógica Fuzzy incorpora os diferentes graus de verdade existentes em situações da vida real, neste caso a predição de falhas, e modela-os em uma forma matemática e possível de ser avaliada pelo computador.

A arquitetura adotada neste trabalho é baseada na proposta de Esteves et al. (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 predição de falhas de maneira proativa para minimizar as perdas de *jobs*.

4.2 MONITORAÇÃO DE RECURSOS – *DQMA-Fuzzy*

Um agente de monitoração denominado DQMA (*Dynamic QoS Management Agent*) foi proposto em (FARIAS;ESTEVES;ABELÉM, 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. Os agentes realizam a monitoração através da utilização do Módulo Fuzzy, que será explicado a seguir e utiliza Lógica Fuzzy nesta avaliação do 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 12.

O agente de núcleo é responsável por coletar informações à medida que o tráfego passa pelo nó e analisar o estado do enlace. Na ocorrência de problema, este agente envia um sinal de alarme para o agente de borda caso ocorra problema no enlace.

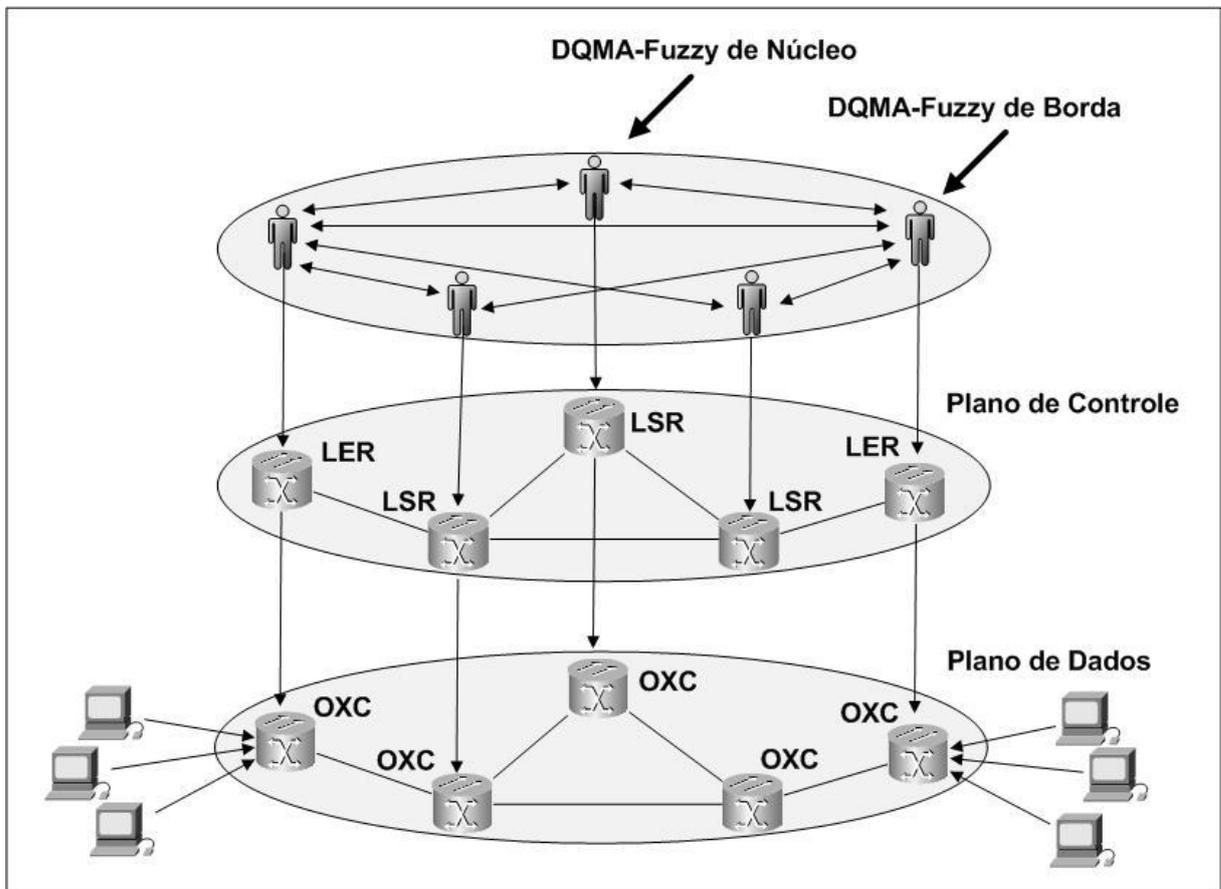
O agente de borda possui as mesmas funções do de núcleo, com a diferença de que o agente de borda é capaz de receber e processar sinais de alarme enviados por agentes de núcleo e interagir com o plano de controle GMPLS para desviar fluxos que estejam com problemas no enlace, utilizando, para isso, a característica de engenharia de tráfego do GMPLS. Sendo assim, ele toma uma decisão de engenharia de tráfego no recebimento do alarme e gera uma solicitação de nova rota para o servidor GOBS, o qual será explicado a seguir.

O agente *DQMA-Fuzzy* pode enviar dois tipos de alarmes: o alarme alerta e o alarme problema. São eles:

- Alarme Alerta - indica a anormalidade (atenção) no enlace óptico, o qual possui problemas, mas ainda está operando dentro dos limites toleráveis. Neste caso, é criada uma rota alternativa para o tráfego em questão, que só será utilizada quando houver falha no enlace.

- Alarme Problema - informa que o enlace já ultrapassou o limite pré-estabelecido e poderá falhar, sendo obrigatória uma nova rota. Ou seja, as variáveis utilizadas já ultrapassaram os valores permitidos e a falha no enlace é possível, pois sua utilização está prejudicada. Neste caso, o agente *DQMA-Fuzzy* de borda irá verificar se já existe uma rota alternativa pré-definida (criada durante um alarme alerta) e a utilizará, caso não exista, irá solicitar uma nova rota ao servidor GOBS. Esta comunicação está ilustrada na Figura 13, que será detalhada na próxima seção.

Figura 12 - Agente *DQMA-Fuzzy*.



4.3 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 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. Este servidor foi proposto por Esteves et al. (2009), sendo estendido neste trabalho para receber os alarmes provenientes dos agentes DQMA-Fuzy e então decidir sobre a rota.

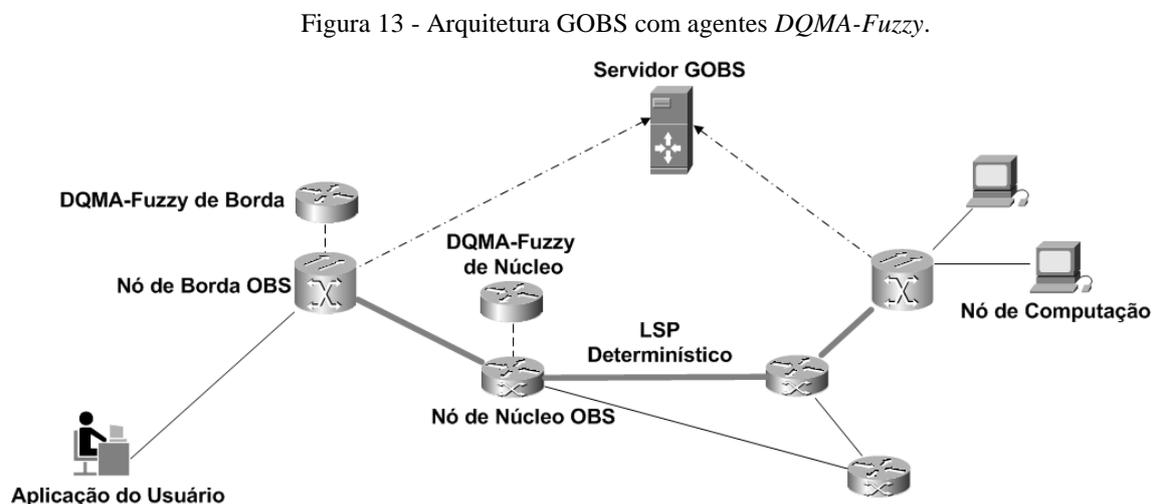
O servidor GOBS deve verificar que possíveis rotas são mais adequadas para uma determinada requisição (*job*), com base em consultas efetuadas em elementos da rede e da grade.

Quando um nó for inserido na grade, ele precisa ser registrado em um servidor GOBS específico que conterà as informações referentes ao mesmo, como o tipo do nó (grade ou rede), capacidade de processamento e armazenamento, nível de bloqueio atual e classe de serviço. Os nós de grade são os responsáveis por gerar e receber tarefas, os nós de rede representam os comutadores ópticos.

Além dessas informações referentes aos recursos, o servidor GOBS deve ter acesso a dados da topologia da rede para realizar o cálculo da rota mais adequada para uma determinada tarefa.

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 13 ilustra a visão do servidor GOBS e seu domínio de atuação.

Vale ressaltar que deverá existir um servidor GOBS responsável por um domínio particular da rede. Um domínio, neste contexto, deve ser entendido como um subconjunto de uma topologia maior. Em redes com múltiplos domínios deverá existir um Servidor GOBS responsável por cada domínio.



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.

A seleção de rotas realizada pelo servidor GOBS leva em consideração parâmetros da rede e da grade e foi baseada na seleção proposta em Esteves et al. (2009), sendo estendida para excluir da rota de resposta, os enlaces que tenham maiores chances de problemas.

4.4 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 entrada/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 $[0^{\circ}\text{C}, 60^{\circ}\text{C}]$ para a temperatura e o intervalo entre $[0\text{db}, 50\text{db}]$ 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 et al. (2010).

Todos os intervalos das variáveis estão representados na Tabela 1. Baseados nestes valores, construiu-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)		$0 < A < 25$	$25 < A < 50$	$A > 50$
Probabilidade de Bloqueio (Pb)	Classe 0 (Pb ₀)	$0 < \text{Pb}_0 < 0.0005$	$0.0005 < \text{Pb}_0 < 0.001$	$\text{Pb}_0 > 0.001$
	Classe 1 (Pb ₁)	$0 < \text{Pb}_1 < 0.0025$	$0.0025 < \text{Pb}_1 < 0.005$	$\text{Pb}_1 > 0.005$
	Classe 2 (Pb ₂)	$0 < \text{Pb}_2 < 0.005$	$0.005 < \text{Pb}_2 < 0.01$	$\text{Pb}_2 > 0.01$
Temperatura (T)		Frio	Normal	Quente
		$0 < T < 18$	$18 < T < 60$	$T > 60$

A Figura 14, Figura 15, Figura 16 e a Figura 17 mostram 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:

Figura 14, Figura 15 e Figura 16, 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).

Figura 14: Variável Linguística - Atenuação.

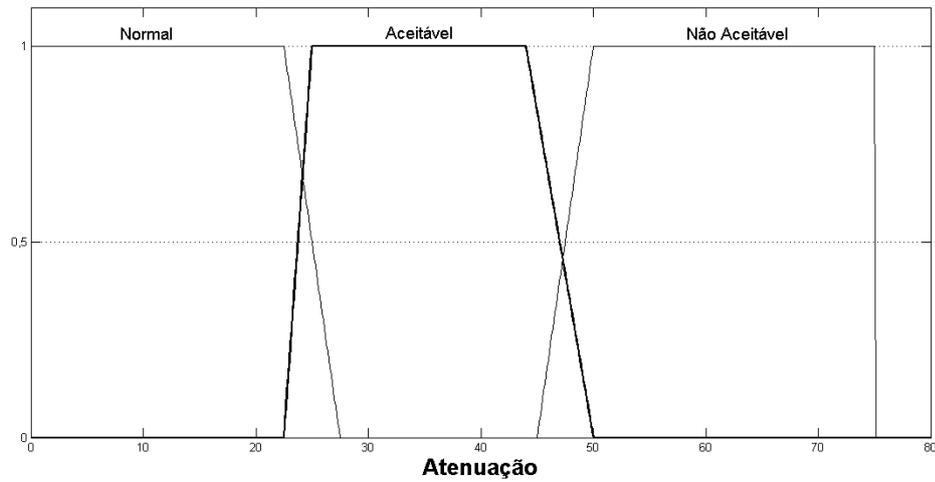
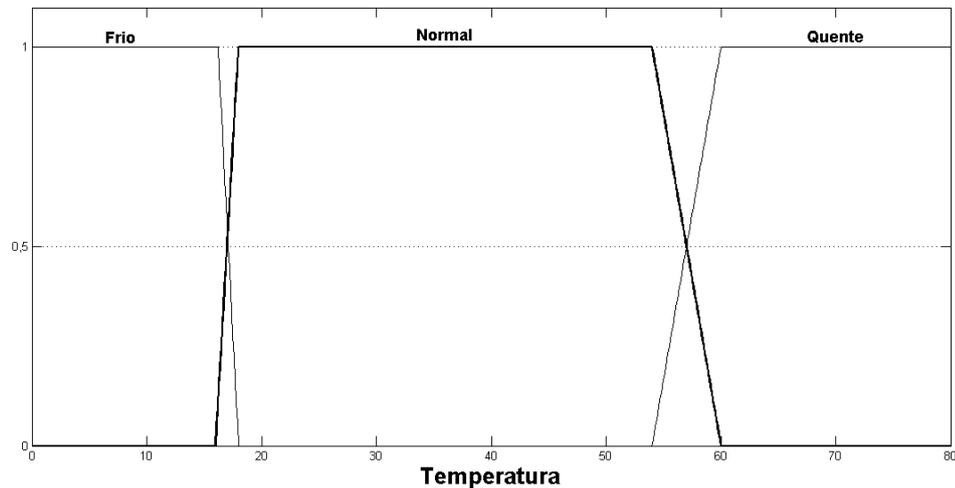


Figura 15 - Variável Linguística - Temperatura.



Uma função trapezoidal possui quatro parâmetros: a , b , $m1$ e $m2$. Sendo a o primeiro e b o último ponto onde $\mu(x)$ é zero, os parâmetros $m1$ e $m2$ representam o intervalo de pontos, onde $\mu(x)$ possui valor 1. O grau de pertinência $\mu(x)$ de uma função trapezoidal é dado pela Equação 5.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ (x - a)/(m - a), & \text{se } x \in [a, m1] \\ 1, & \text{se } x \in [m1, m2] \\ (b - x)/(b - m), & \text{se } x \in [m2, b] \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (5)$$

A Figura 16 apresenta as funções de pertinência para as classes 0, 1 e 2, respectivamente e a Figura 14 representa a atenuação. Para elas, são utilizados os seguintes termos linguísticos: normal, aceitável e não aceitável. Enquanto a Figura 15 representa a temperatura e utiliza os termos linguísticos: normal, quente e frio.

Figura 16 - Variáveis Linguísticas – Probabilidades de Bloqueio por Classe.

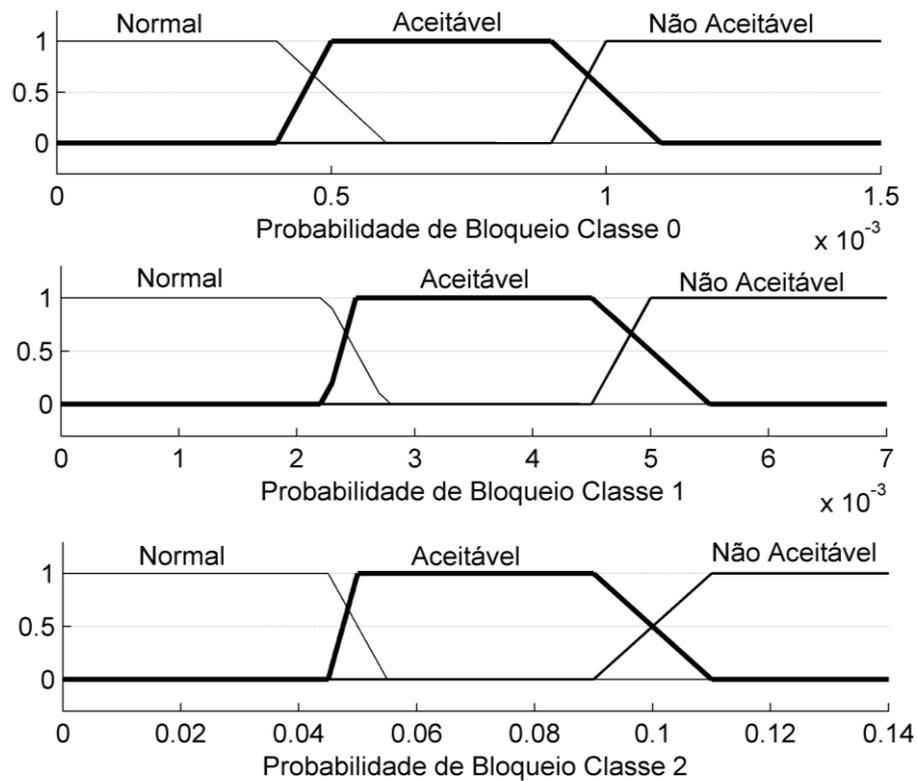
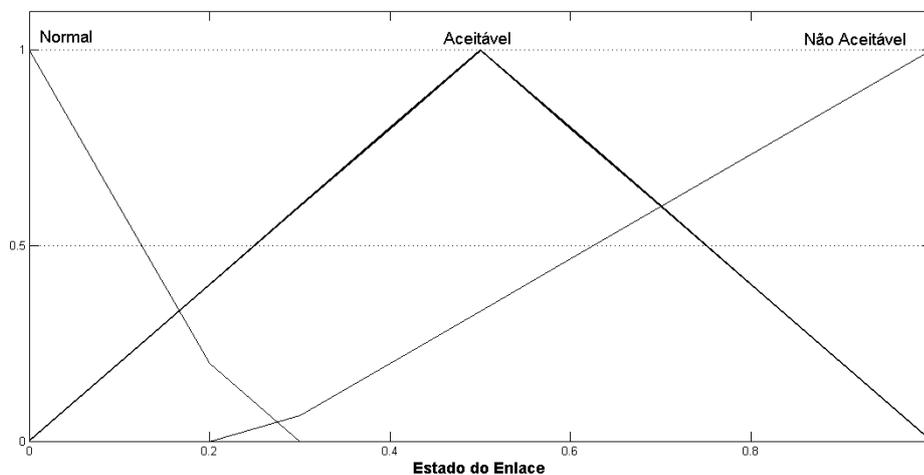


Figura 17 - Variável Linguística - Estado do Enlace.



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, representadas no Quadro 3. Estas regras levam em consideração o conhecimento explícito do especialista no ambiente.

Quadro 3 - Conjunto de Regras.

ENTRADAS				SAÍDAS
	ATENUAÇÃO	TEMPERATURA	Probabilidade de Bloqueio	SITUAÇÃO DO TRÁFEGO
1	normal	frio	aceitável	ceitável
2	normal	frio	normal	aceitável
3	normal	frio	não aceitável	não aceitável
4	normal	normal	aceitável	aceitável
5	normal	normal	normal	normal
6	normal	normal	não aceitável	não aceitável
7	normal	quente	aceitável	não aceitável
8	normal	quente	normal	não aceitável
9	normal	quente	não aceitável	não aceitável
10	aceitável	frio	aceitável	aceitável
11	aceitável	frio	normal	aceitável
12	aceitável	frio	não aceitável	não aceitável
13	aceitável	normal	aceitável	aceitável
14	aceitável	normal	normal	Normal
15	aceitável	normal	não aceitável	não aceitável
16	aceitável	quente	aceitável	não aceitável
17	aceitável	quente	normal	não aceitável
18	aceitável	quente	não aceitável	não aceitável
19	não aceitável	frio	aceitável	não aceitável
20	não aceitável	frio	normal	não aceitável
21	não aceitável	frio	não aceitável	não aceitável
22	não aceitável	normal	aceitável	não aceitável
23	não aceitável	normal	normal	não aceitável
24	não aceitável	normal	não aceitável	não aceitável
25	não aceitável	quente	aceitável	não aceitável
26	não aceitável	quente	normal	não aceitável
27	não aceitável	quente	não aceitável	não aceitável

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*.

Uma vez variando estes parâmetros (entradas) dentro dos limites citados, programou-se o sistema *Fuzzy* para obter três saídas distintas, que serão utilizadas pelo DQMA para gerar os alarmes. As saídas são baseadas em três situações: normal, quando o tráfego está pelo enlace principal; não aceitável, quando o tráfego está pelo enlace reserva; e em situação de aceitável, quando o tráfego do enlace principal está com problemas, mas ainda é possível uma certa tolerância.

A função de pertinência de saída foi baseada na função triangular e é mostrada na Figura 17, 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.

A saída foi baseada na função triangular, que possui três parâmetros: a , b , e m . Sendo a o primeiro e b o último ponto, onde $\mu(x)$ é zero e m o ponto onde $\mu(x)$ possui valor 1. O grau de pertinência $\mu(x)$ de uma função triangular é descrito na Equação 6.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ (x - a)/(m - a), & \text{se } x \in [a, m] \\ (b - x)/(b - m), & \text{se } x \in [m, b] \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (6)$$

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.

4.5 ARQUITETURA 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 a probabilidade de bloqueio dos nós OBS e repassá-las ao módulo *DQMA-Fuzzy*, o qual pode prever situações de falhas e gerar os alertas, minimizando assim as perdas de rajadas ópticas.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, observa-se a criação e o funcionamento da arquitetura de predição de falhas em redes GOBS que utilizam o plano de controle GMPLS.

Verificou-se também detalhes do agente de monitoração *DQMA-Fuzzy*, que utiliza o Módulo Fuzzy para a avaliação de variáveis a fim de verificar problemas nos enlaces da rede GOBS e a utilização do Servidor GOBS na seleção de rotas com menor probabilidade de perda de *jobs*.

Neste capítulo, foram apresentados os principais elementos que auxiliam a arquitetura a desenvolver o seu objetivo de prever falhas de enlace de redes GOBS, auxiliam na diminuição de perda de *jobs* e no balanceamento de carga entres os nós de rede e de grade.

Na próxima seção, será realizada uma análise da proposta, apresentado o cenário, o ambiente de simulação e por fim, mostrado os resultados obtidos.

5 ANÁLISE DA ARQUITETURA

Este capítulo tem o objetivo de validar a proposta e avaliar o impacto da arquitetura definida na predição de falhas em redes GOBS utilizando o plano de controle GMPLS e a lógica Fuzzy para avaliação dos enlaces ópticos.

A metodologia utilizada para a análise é a simulação computacional. A Seção 5.1 apresenta o ambiente de simulação empregado nesta avaliação. A Seção 5.2 descreve o cenário proposto para as simulações. Os resultados obtidos são discutidos na Seção 5.3. A Seção 5.4 conclui o capítulo.

5.1 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Para viabilizar pesquisas na área de redes existem alternativas como modelagem analítica, implementação de protótipo e simulação. Em virtude dos custos associados à implantação de um protótipo real para a computação em grade é interessante, em um primeiro momento, a realização de estudos através de ambientes computacionais que permitam a simulação de diferentes cenários, bem como o teste de soluções propostas dentro do contexto apresentado.

O uso de ferramentas de simulação é fundamental para avaliar novas propostas antes da implantação de um ambiente real de produção para que se tenha um melhor planejamento na definição dos requisitos que um protótipo real deve possuir, bem como corrigir possíveis erros e limitações do modelo.

A ferramenta de simulação utilizada para viabilizar a análise da proposta é o NS-2 (NS, 2012). Essa opção se deu pelo fato de que o NS-2 é uma ferramenta bastante difundida na comunidade, permite a adição de novos módulos e é livre. O NS-2 trabalha com a linguagem de scripts OTcl para a construção das simulações sendo que o seu núcleo é desenvolvido em C++.

O NS-2 permite a simulação de diferentes protocolos e tecnologias de rede como as várias versões do TCP, diversos protocolos de roteamento, redes locais, redes sem fio, etc. Existe também uma comunidade ativa de usuários que contribui no desenvolvimento de novos módulos para suprir as demandas que surgem.

Para avaliar o impacto da utilização desta arquitetura foram realizadas simulações computacionais através da utilização da ferramenta NS-2 (2012). Devido às extensões do NS-2 não serem compatíveis entre si, a inexistência e a dificuldade de acesso a outros módulos que pudessem ser utilizados na análise, foi necessário desenvolver extensões, baseando-se nas

utilizadas em Farias (2008) e Esteves et al. (2009), sendo adicionadas as seguintes modificações:

- Um módulo *Fuzzy* – utiliza um sistema Fuzzy a fim de verificar o estado do enlace óptico baseado na atenuação, temperatura e na probabilidade de bloqueio por classe;
- Um agente *DQMA-Fuzzy* – coleta informações, envia ao módulo *Fuzzy* e gera os alarmes, realizando a engenharia de tráfego. Além disto, quando necessário o agente *DQMA-Fuzzy* de borda solicita uma nova rota, com menor probabilidade de perda, ao Servidor GOBS;
- Um módulo Gerador de Perturbação – com a função de fornecer 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).

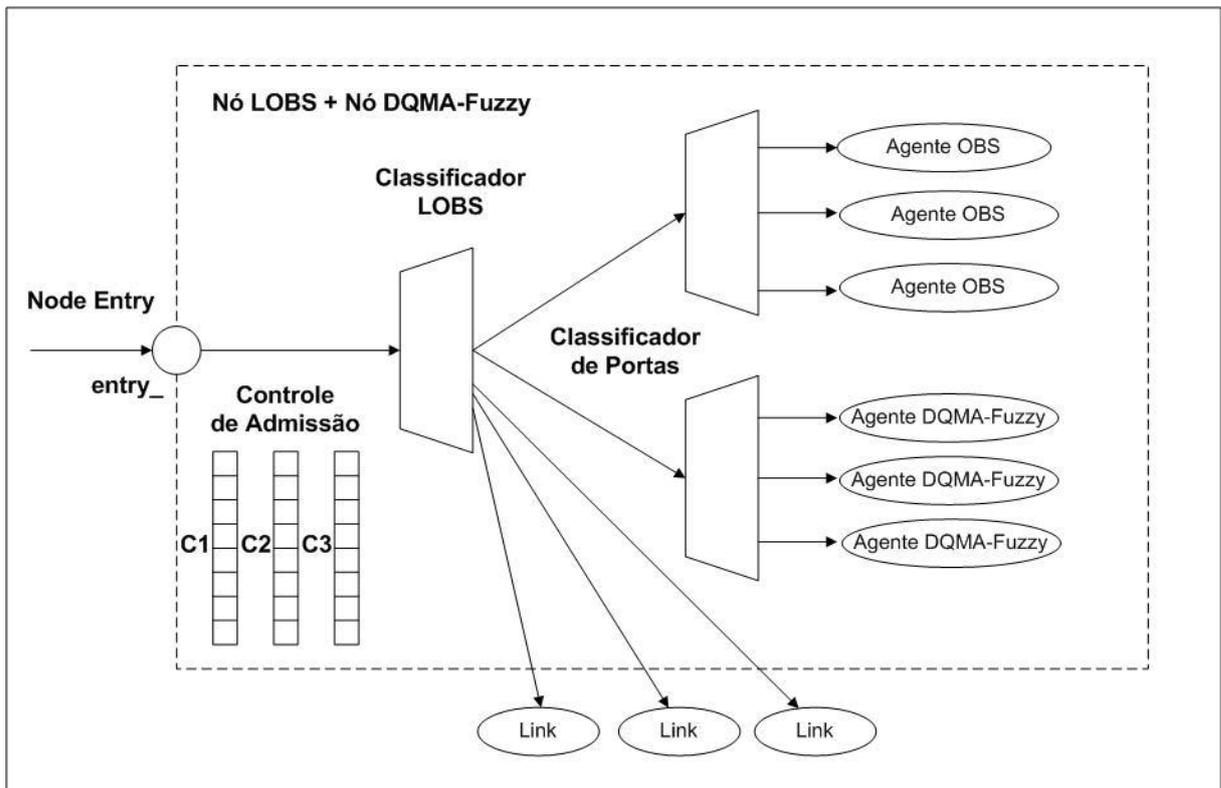
Em conjunto foi criada a extensão denominada de *DQMA-Fuzzy*, que representa a arquitetura de gerenciamento dinâmico de QoS (DQM) e realiza a previsão de falhas usando sistemas difusos. Este agente foi descrito nesta dissertação, necessitando de modificações na estrutura do nó NS-2 para que o agente *DQMA-Fuzzy* funcionasse de maneira correta.

O agente *DQMA* (Farias, 2008) reconhece (processa) os pacotes que não são endereçados ao próprio agente. Para este problema, foram inseridas estruturas no classificador do agente LOBS para que ele pudesse enviar essas informações também ao agente *DQMA-Fuzzy*. Na Figura 18, temos a nova estrutura do nó LOBS integrada com agente *DQMA-Fuzzy*, que por sua vez está integrado ao módulo *Fuzzy*.

Com isso, o agente *DQMA-Fuzzy* pode fazer a coleta das informações a respeito do tráfego OBS na rede óptica, mesmo que pacote não seja endereçado a ele, possibilitando fazer o cálculo da probabilidade de bloqueio para cada classe de serviço por ele experimentada. Com base nesses valores, o agente os envia ao módulo *Fuzzy*.

O módulo *Fuzzy* foi desenvolvido na linguagem do simulador utilizando as regras SE-ENTÃO criadas pelo especialista no ambiente de redes GOBS. Os valores de entrada do módulo é a probabilidade de bloqueio coleta pelo Agente *DQMA-Fuzzy*, além da atenuação e temperatura que são geradas pelo Módulo Gerador de Perturbação, usando uma função Normal, como explicado anteriormente.

Figura 18 - Nova estrutura do nó LOBS integrado com agente *DQMA-Fuzzy*.



Estas entradas são *fuzzificadas* de acordo com as funções de pertinência específicas de cada variável que passam pela base de regras (SE-ENTÃO) e então são *defuzzificadas* gerando o valor/resultado que representa o estado do enlace, sendo utilizado para a geração do alarme, como descrito na seção 4.4.

Todas as anomalias encontradas no estado do enlace são rapidamente anunciadas para o nó *DQMA-Fuzzy* de borda que está associado ao nó OBS correspondente, sendo este o responsável pela construção da rajada, para que seja solicitada uma nova rota para esta rajada através do Servidor GOBS, aplicando assim a engenharia de tráfego.

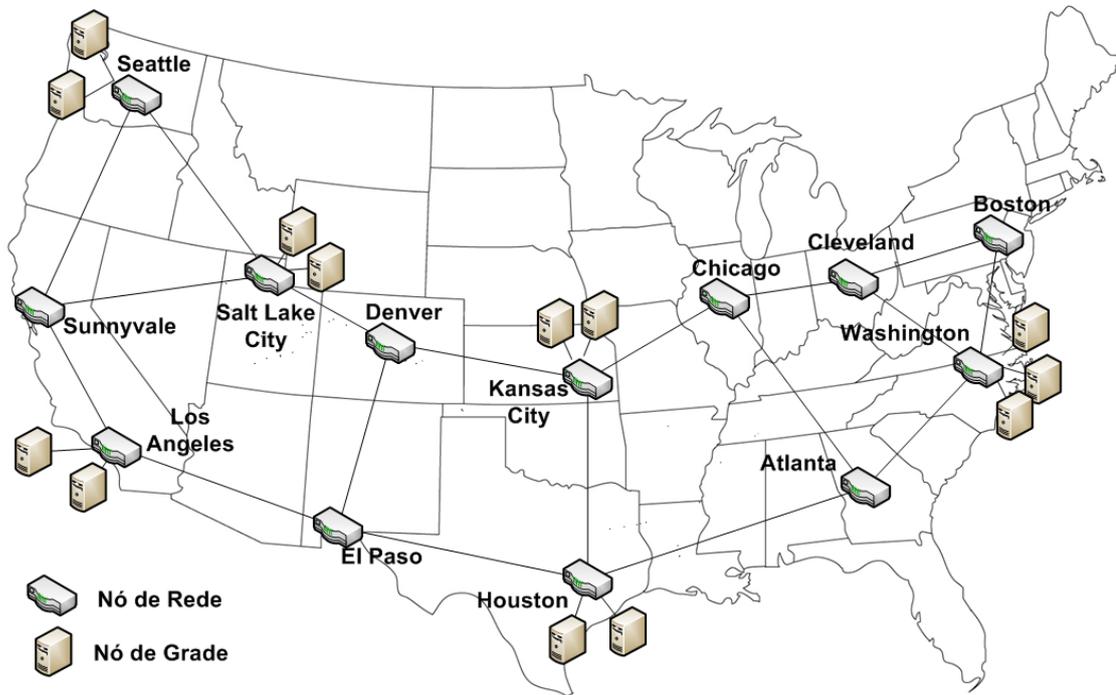
5.2. CENÁRIO AVALIADO

Este trabalho faz uso da topologia baseada no *backbone* da Internet 2 (Internet2, 2012) por conter vários caminhos alternativos, entre os nós de grade/computação, o que possibilita a aplicação da engenharia de tráfego e por ser uma topologia real que é ilustrada na Figura 19. Para a simulação, foram considerados como nós de redes todos os nós de comutação óptica que na Figura 19 estão representados pelos roteadores 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 19 - 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 (ESTEVEES et al., 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.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos em simulação. 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 (FARIAS, 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. Neste cenário, na carga de mais alta intensidade, a informação gerada na rede chega a aproximadamente 2000 rajadas por segundo, o que nos oferece mais de 2 Gb/s de informação na rede.

A probabilidade de bloqueio de cada fluxo é calculada com base na média da probabilidade de bloqueio registrada nos agentes *DQMA-Fuzzy* localizados em cada nó da rota determinada pelo protocolo de roteamento. A probabilidade de bloqueio de cada classe é determinada pela média das probabilidades de bloqueio de cada fluxo pertencente a classe.

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, recebendo a maior parte das requisições.

A Figura 20, a Figura 21 e a Figura 22 mostram 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.

Figura 20 - Probabilidade de Bloqueio da Classe 0.

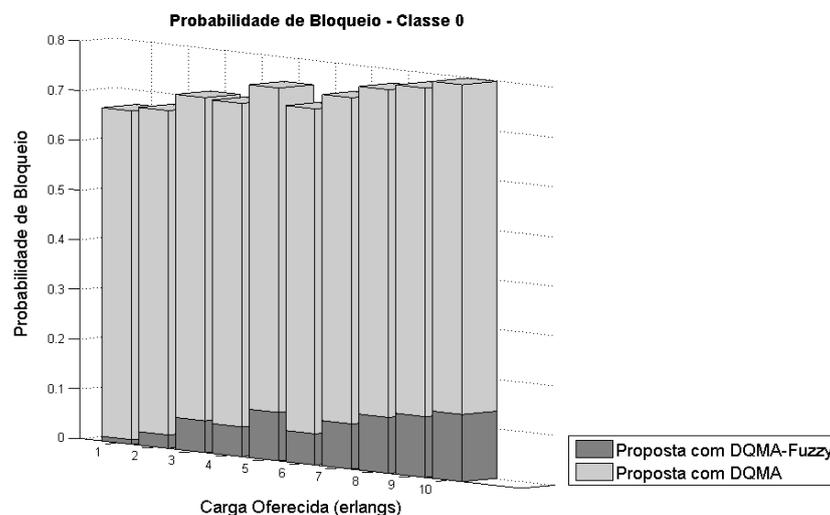


Figura 21- Probabilidade de Bloqueio da Classe 1.

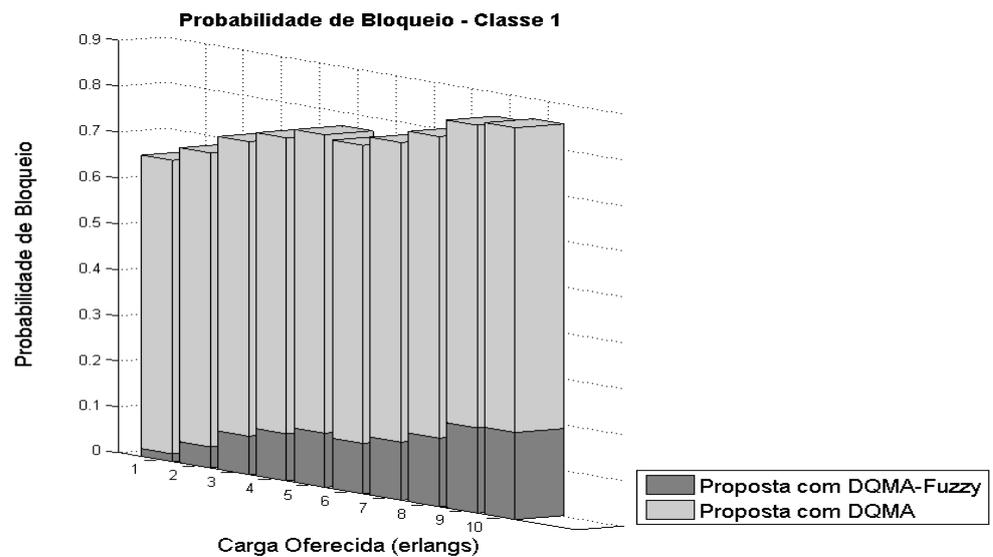
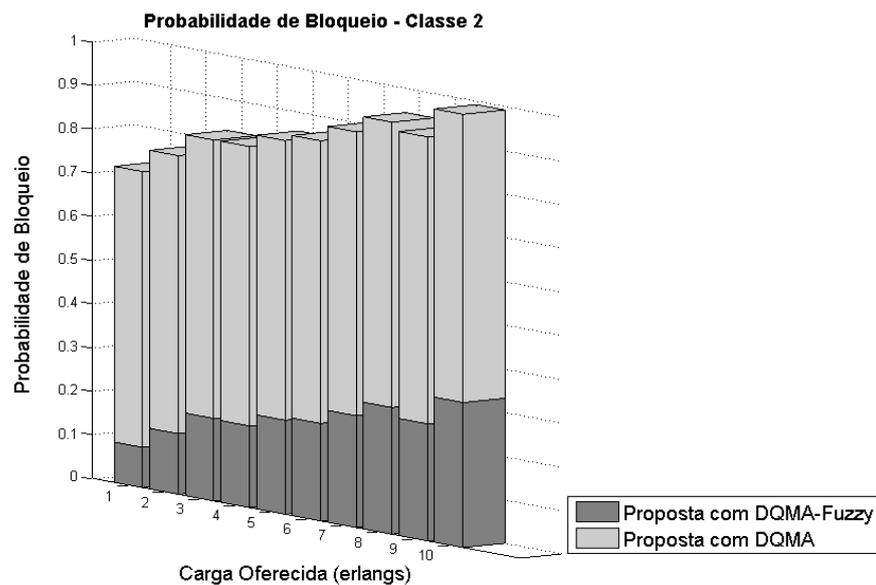


Figura 22 - Probabilidade de Bloqueio da Classe 2.



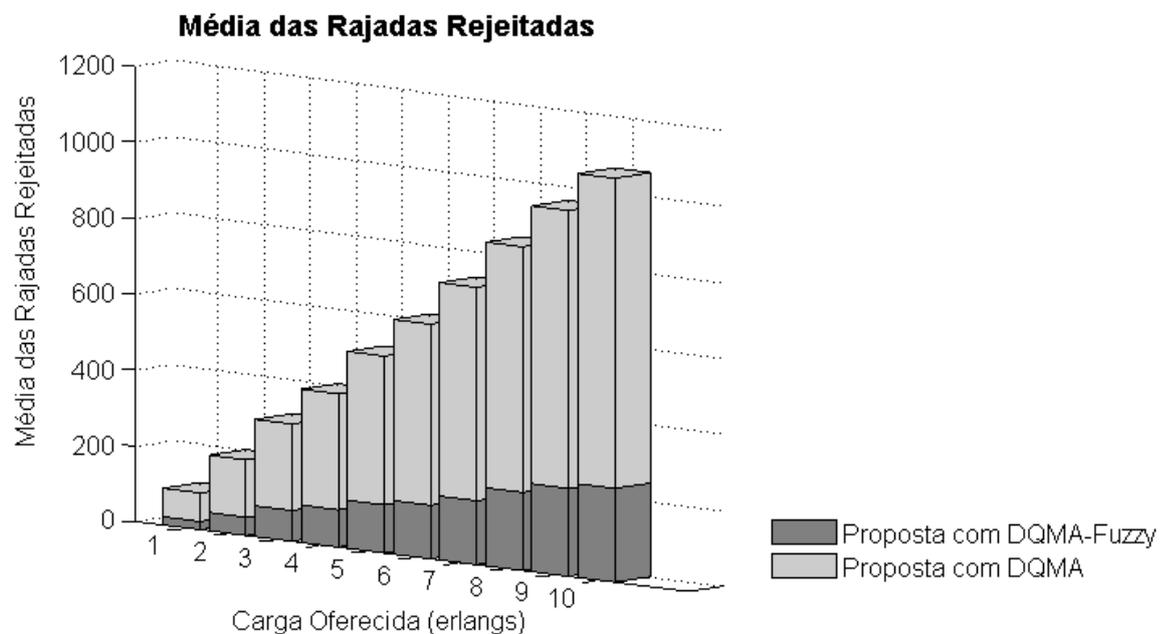
Já para os resultados relacionados à grade, foram selecionadas informações relacionadas às rajadas rejeitadas, onde são mostradas: as requisições descartadas exclusivamente devido à ausência de recursos de computação (processamento e armazenamento) nos nós da grade; a média de processamento, referente à utilização dos recursos de processamento nos nós de computação da grade; e a média de armazenamento. Esses valores são apresentados nas Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26, explicadas a seguir.

Os resultados ilustrados nos gráficos da Figura 23 também mostram que de uma maneira geral a proposta *DQMA-Fuzzy* consegue reduzir em mais de 70% 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.

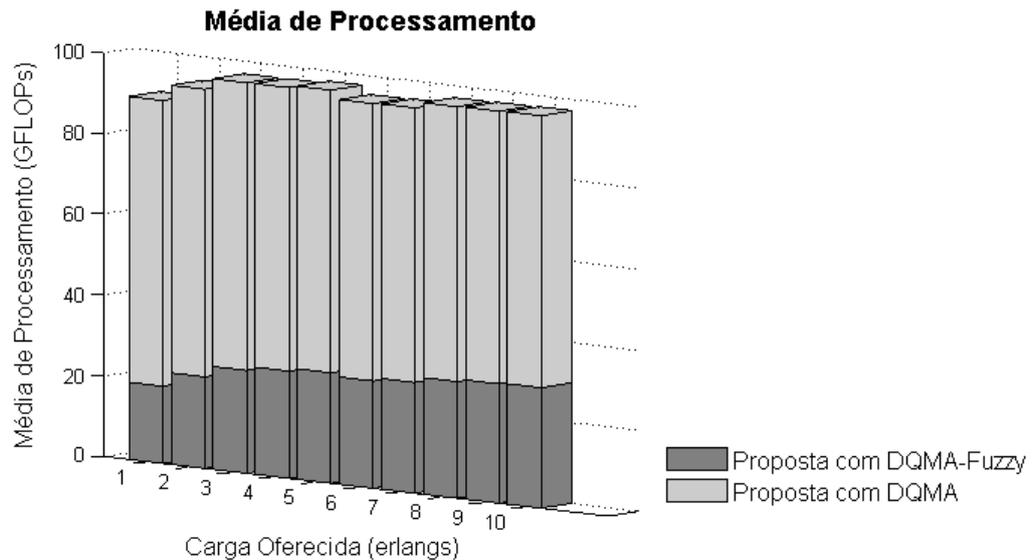
O número de requisições descartadas no nó de *Kansas*, que é o destino padrão quando nenhum mecanismo de seleção de rotas é usado, obteve uma diminuição de 80% de rajadas rejeitadas, como mostra a Figura 23. Isto significa que uma parte das rajadas que seriam normalmente destinadas a este nó, são encaminhadas 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 23 - Média das Rajadas Rejeitadas.



O gráfico da Figura 24 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 75% entre as cargas utilizadas na simulação.

Figura 24 - Média de Processamento.



O gráfico da Figura 25 apresenta o resultado da média de armazenamento obtido em todos os nós de grade usando a proposta com *DQMA-Fuzzy*, enquanto a Figura 26 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.

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.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou a metodologia utilizada para a análise da arquitetura proposta nesta dissertação. O ambiente de simulação usado na validação foi descrito, bem como as devidas extensões ao simulador necessárias para caracterizar a proposta. Os cenários utilizados na avaliação e os principais resultados obtidos foram apresentados e discutidos.

Os resultados mostram que a proposta é capaz de proporcionar níveis absolutos de qualidade de serviço para as rajadas dentro do contexto apresentado, minimizando a perda de *jobs* e realizando um balanceamento de carga da rede.

A próxima seção mostrará as considerações finais e os trabalhos futuros propostos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo descreve as considerações finais sobre a proposta de uma arquitetura de predição de falhas em redes GOBS com plano de controle GMPLS, bem como sugere possíveis trabalhos futuros visando ampliar as funcionalidades da arquitetura.

Esta dissertação apresentou um estudo sobre redes ópticas, mostrando suas principais características, falhas e suas classificações, focando na rede óptica baseada em comutação de rajadas ópticas. Mostrou um estudo sobre a associação de redes OBS e grades computacionais. E, por fim, apresentou um estudo teórico sobre sistemas difusos e seus principais conceitos a fim de embasar o entendimento da proposta deste trabalho.

Em trabalhos recentes aqui referenciados, verificou-se que existem pesquisas que utilizam a inteligência computacional em soluções de problemas de redes ópticas, mas ainda são soluções escassas. Além disto, foi apresentada uma proposta de uma arquitetura de provisão de QoS em redes GOBS que pôde ser adaptada e obteve melhores resultados através da utilização de lógica *Fuzzy*.

O objetivo deste trabalho foi apresentar a proposta de uma arquitetura que realiza a predição de falhas em redes GOBS com plano de controle GMPLS, baseando-se na utilização de um sistema difuso, presente no módulo *Fuzzy* desenvolvido neste trabalho.

O módulo *Fuzzy* verifica parâmetros de QoS (a probabilidade de bloqueio baseada em classes) e de camada física (atenuação e temperatura), a fim de analisar o estado do enlace óptico da rede GOBS, gerando alertas, que sinalizam os problemas encontrados e permitem que soluções proativas possam ser realizadas para minimizar as perdas de *jobs*, além de realizar um balanceamento de carga na rede em questão.

Outro aspecto importante na proposta foi a utilização do servidor GOBS, que seleciona uma rota que contenham os nós com menor probabilidade de perda na rede, garantindo maior confiabilidade ao tráfego da rede.

Vale a pena ressaltar que este trabalho resultou também no desenvolvimento e aperfeiçoamento de extensões na plataforma de simulação NS-2, que atende a necessidade de se oferecer gerenciamento da qualidade de serviço e predição de falhas nos enlaces de rede GOBS baseadas no GMPLS.

As principais contribuições deste trabalho foram:

- Adicionar inteligência as nós de rede OBS, através da utilização do sistema difuso;

- Ampliar as métricas analisadas pelos agentes *DQMA-Fuzzy* presentes na arquitetura da rede OBS baseada no GMPLS;
- Predizer falhas nos enlaces ópticos de redes GOBS;
- Reduzir o número de contenção de forma absoluta e o número de *jobs* perdidos nesta arquitetura;
- Realizar o balanceamento de carga entre os nós da rede;
- O desenvolvimento de extensões para a plataforma de simulação NS-2 que gerenciam de forma dinâmica e inteligente a qualidade de serviço.

A solução proposta foi avaliada através de simulação e 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 trabalho, foi utilizado um agente *DQMA-Fuzzy*, presente em todos os equipamentos de núcleo da rede GOBS com plano de controle GMPLS, que coletou as informações e tomou decisões e os resultados obtidos comprovam que esta proposta, quando utilizada na avaliação do estado do enlace óptico, conseguiu prover tolerância a falhas, minimizando o número de perdas na rede. Também permitiu 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. Mostrando-se uma proposta viável de ser implementada, pois traz diversos benefícios ao ambiente de rede GOBS com GMPLS.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Dando prosseguimento a esta dissertação, 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 uma melhor distribuição das tarefas em grade, pode-se utilizar outras técnicas de inteligência computacional. Outros desafios estão no desenvolvimento de qualidade na transmissão ou no RWA-IA.

Por fim, investigar o uso de um mecanismo de controle de admissão mais eficiente para evitar que fluxos de baixa prioridade possam perturbar fluxos de alta prioridade. Para isso o controle de admissão poderia obter essas informações dos agentes *DQMA-Fuzzy* e tomar decisões que evitariam estes problemas. Estas decisões também poderiam ser baseadas em técnicas de inteligência computacional.

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.
- AKARI Project. AKARI Architecture Design Project for New Generation Network. Disponível em: <<http://akari-project.nict.go.jp/>>. Acesso em: ago. 2012
- ALCATEL-LUCENT. Disponível em: <<http://www.alcatel.it/>>. Acesso em: nov. 2011.
- ASAGBA, Prince Oghenekaro., Ogheneovo, Edward E.. **Qualities of Grid Computing that can last for Ages**. J. Appl. Sci. Environ. Manage., Vol. 12(4) 47 – 52. 2008.
- AWDUCHE, D. B., et al. **RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels**. RFC 3209. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2001.
- AZODOLMOLKY, Siamak et al. **A survey on physical layer impairments aware routing and wavelength assignment algorithms in optical networks**, Computer Networks, p. 926-944, Janeiro, 2009.
- BATHULA, Balagangadhar G.; et al. **Quality-of-Transmission-Aware Multicasting Over Optical Burst-Switched Networks**. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, Outubro, 2010.
- BLACK, Uyless. **Optical Networks Third Generation Transport Systems**, Prentice Hall PTR, 2002.
- BERGER, L. **Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description**. RFC 3471. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2003.
- CHEN, Z. **Computational Intelligence for Decision Support**, New York: CRC Press LLC, 2000.
- CINEGRID. **CineGrid**. Disponível em: <<http://www.cinegrid.org/>>. Acesso em: jul. 2012.
- DATAKOM. Disponível em: <<http://www.datacom-telematica.com.br/new/>>. Acesso em: nov. 2011.
- DRAGON Project. **Dynamic Resource Allocation via GMPLS Optical Networks**. Disponível em: <<http://dragon.maxgigapop.net>>. Acesso em: ago. 2012.
- DUTTA, Manoj Kumar et al. **Design and performance analysis of deflection routing based intelligent Optical Burst Switched (OBS) network**. 2011 International Conference on Devices and Communications (ICDeCom), 2011.
- ESTEVEES, Rafael, et al. **Provisionamento Automático de Conexões Determinísticas para Redes GOBS**. In: 27º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2009), Recife, PE, pp. 481-494. 2009.
- ESTEVEES, Rafael Pereira; et al. **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, 2010.
- FARIAS, F. N. N.; ESTEVEES, R. P.; Abelém, A. J. G. **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.

- FIBRE Project. **Future Internet testbeds/experimentation between BRazil and Europe**. Disponível em: <<http://www.fibre-ict.eu/>>. Acesso em: ago. 2012
- FIRE INITIATIVE. **Future Internet Research and Experimentation**. Disponível em: <<http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/>>. Acesso em: ago. 2012.
- FILHO, Joaquim F. Martins, et al. **Applications of Computational Intelligence in Optical Networks**. 13th International Conference on Transparent Optical Networks - ICTON 2011. Agosto, 2011.
- FOSTER, I.; KESSELMAN, C.; TUECKE, S. **The anatomy of the Grid: Enabling scalable virtual organizations**. International Journal on Supercomputer Applications, v. 15, n. 3, p. 200-222, 2001.
- FOSTER, I. **Grid: A New Infrastructure for 21st Century Science**. Physics Today, v. 42, n. 2, fev. 2002.
- GENI.NET. **Global Environment for Network Innovations**. Disponível em: <<http://www.geni.net>>. Acesso em: ago. 2012.
- GONÇALVES, Carlos Hairon R. **Utilizando Redes Neurais Artificiais para Predição de Falhas em Links de Redes Ópticas**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- GONÇALVES, Carlos Hairon R., et al. **Aplicando Agentes Inteligentes Preditivos na Rede Experimental Giga**. XIII Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços, Rio de Janeiro, 2008.
- HONG, Xiaobin, et al. **A Resilient OBS/GMPLS Network for Survival Optical Grids**, Proceedings of the 15th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), 2009.
- INTERNET 2. **The Internet2 Network**. <<http://www.internet2.edu/network/>>. Acesso em: jan. 2012.
- JAIN, Raj. **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, 1991.
- JAMOUSSE, B., et al. **Constraint-Based LSP Setup using LDP**. RFC 3212. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2002.
- JELINSKIS, Jans, et al. **Fuzzy-CAC Driven MPLS-TE Realization**, IEEE High Performance Switching and Routing (HPSR), Spain, Cartagena, 4.-6. Julho, 2011.
- KATZ, D.; KOMPELLA, K.; YEUNG, D. **Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2**. RFC 3630. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2003.
- KICKERT, W. J. M. **Fuzzy theories on decision-making: a critical review**. London, Martinus Nijhoff Social Sciences Division, 1978.
- LANG, J. **Link Management Protocol (LMP)**. RFC 4204. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2005.
- LANG, J.; RAJAGOPALAN, P. **Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Recovery Functional Specification**. Internet Draft, draft-ietf-ccamp-gmplsrecovery-functional-03.txt. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2004.
- LHC. Large Hadron Collider. Disponível em: <<http://lhc.web.cern.ch/lhc/>>. Acesso em: jan. 2012.

- LUI, K. H. **IP over WDM**. 1 ed, England, John Wiley & Sons LTD, 2002.
- MANNIE E. **Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture**. RFC 3945. Outubro, 2004.
- MARANHÃO, José, et al. **Alocação de Comprimento de Onda em Redes Ópticas Considerando as Degradações de Camada Física**. 30º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Anais do SBRC 2010.
- NEJABATI, R. **Grid Optical Burst Switched Networks (GOBS): Informational Track**. [S.l.]: Open Grid Forum, Grid High-Performance Networking Research Group, jul. 2006.
- NEJABATI, R., et al. **Grid Optical Burst Switched Networks (GOBS)**. Open Grid Forum, Draft GFD.128, Abril, 2008.
- NS-2. **Network Simulator**. Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acesso em: dez. de 2012.
- NSI. **Network Service Interface Working Group**. Open Grid Forum, Disponível em: <http://forge.gridforum.org/sf/projects/nsi-wg>. Acesso em: set. 2011.
- OGF. **Open Grid Forum**. Disponível em: <http://www.ogf.org>. Acesso em: ago. 2012.
- PERROS, H. G. **Connection-Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS, Optical Networks**, John Wiley and Sons, Ltd, ISBN 0-470-02163-2, Ed. Wiley, England, 2005.
- SAHA, Shivashis; NeJapada, Chandra Has; Deogun, Jitender S. **Hybrid All-Optical Networks: Routing and Wavelength Assignment**, IEEE 4th International Symposium on Advanced Networks and Telecommunication Systems, 2010.
- TRAVOSTINO, F.; MAMBRETTI, J.; KARMOUS-EDWARDS, G. **Grid Networks: Enabling Grids with Advanced Communication Technology**, 1 ed., John Wiley and Sons, 2006.
- VIANA, Jaime. **Tolerância à Falhas em Redes Ópticas de Nova Geração**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, Brasil. 2006.
- VOKKARANE, V. M.; JUE, J. P. **Optical Burst Switched Networks**. 1st ed. Springer, 2005.
- 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, pag. 69-84, Ago, 1999.
- WANG, Li-Xin. **A Course in Difuso Systems and Control**, IEEE Transactions on Power Delivery, volume 11, nº 6, OUTUBRO, 1997.
- WANG, Yan, et al. **Joint scheduling for optical grid applications**, Journal of Optical Networking, volume 6, nº 3, 2007.
- WEI, J. Y.; MCFARLAND, R. I. **Just-in-time Signaling for WDM Optical Burst Switching Networks**. Journal of Lightwave Technology, v. 18, n. 12, p. 2019–2037, dez. 2000.
- XIONG, Y.; VANDENHOUTE, M. e CONKOYA, H. **Control Architecture in Optical Burst Switched WDM Networks**. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, v.18, n. 10, p. 1838-1851, out. 2000.
- YOO, M.; QIAO, C.; DIXIT, S. **Optical Burst Switching for Service Differentiation in the Next-Generation Optical Internet**. IEEE Communications Magazine, v. 39, n. 2, p. 98-104, fev. 2001.

ZADETH, L. **Fuzzy sets.** *Information and control*, volume 8, p. 338-353, 1965.

ZANUSSO, M. B. **Famílias de T-normas Diferenciáveis, Funções de Pertinência Relacionadas e Aplicações.** UFSC-EPS, Florianópolis-SC, Dezembro, 1997.