

# Sobrevivência em Redes Ópticas WDM sob Influência de Algoritmos de Alocação de Rota e de Comprimento de Onda

André C. B. Soares, José C. Maranhão Neto, William F. Giozza  
GRO - Universidade Salvador

**Resumo**—Este artigo apresenta e avalia o desempenho de três estratégias para roteamento em redes ópticas transparentes com proteção dedicada de caminho (*Two Step*, *Two Step* com *backtracking* e *One Step*) sob influência da conversão total e dos principais algoritmos de alocação de comprimento de onda (*Random*, *First-Fit* e *Most Used*), operando em diferentes topologias de redes. Em particular, o estudo avalia o impacto da proteção dedicada de caminho no desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda.

**Palavras-Chave**—RWA, Redes Ópticas.

**Abstract**—This paper describes and evaluates the performance of three path dedicated protection approach (*Two Step*, *Two Step* with *backtracking* and *One Step*) for all-optical networks, operating with full conversion and main wavelength assignment algorithms (*Random*, *First-Fit* and *Most Used*) under different network topologies. Further, this work evaluates the impact of path dedicated protection in the performance of the wavelength assignment algorithms.

**Keywords**—RWA, Optical Networks.

## I. INTRODUÇÃO

A multiplexação de comprimentos de onda WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) é uma tecnologia que permite utilizar melhor a banda passante das fibras ópticas [1]. Dentro de uma única fibra, são estabelecidos, simultaneamente, múltiplos canais ópticos que operam em diferentes comprimentos de onda podendo cada um atingir atualmente taxas de transmissão da ordem de 40 Gbps. Esses canais ópticos podem ser modulados de forma independente com o objetivo de acomodar dados em diferentes formatos e taxas de transmissão.

Nas redes ópticas WDM as informações são roteadas das origens até seus destinos com base nos comprimentos de onda associados aos canais ópticos que compõem os caminhos entre elas. O uso do comprimento de onda para o roteamento de dados é conhecido como *Wavelength Routing* e as redes que empregam esta técnica são conhecidas como *Wavelength Routed Networks*.

Para transportar informações entre clientes de uma rede óptica transparente, uma conexão precisa ser estabelecida na camada óptica. O caminho óptico por onde a conexão é estabelecida recebe o nome de *lightpath*. A banda passante total disponível do *lightpath* fica alocada para a conexão até a sua finalização. Quando a conexão é finalizada, os comprimentos de onda associados aos canais ópticos que estavam sendo utilizados pelo *lightpath* voltam a ficar disponíveis para futuras conexões.

Para o estabelecimento de um *lightpath* é necessário escolher uma rota entre a origem e o destino e alocar um comprimento de onda para cada enlace componente. Esse problema é conhecido na literatura como RWA - *Routing and Wavelength Assignment*. O problema RWA pode ser classificado como estático ou dinâmico. O problema RWA estático tem como objetivo minimizar o número de comprimentos de onda necessários para atender um conjunto de conexões conhecidas previamente. Já no problema RWA dinâmico, as conexões não são previamente conhecidas. Neste caso, o objetivo é minimizar a probabilidade de bloqueio de futuras conexões, dado um conjunto de comprimentos de onda disponíveis [2], [3].

Na ausência de conversores de comprimentos de onda nos nós ao longo da rede óptica transparente, uma conexão deve utilizar o mesmo comprimento de onda em todos os enlaces que compõem o *lightpath*. Esta propriedade é conhecida como continuidade obrigatória de comprimento de onda. Conversores de comprimentos de onda são dispositivos localizados nos nós da rede óptica transparente que possibilitam a conversão de um comprimento de onda de entrada em um outro comprimento de onda de saída. Uma rede óptica transparente com capacidade de conversão total em todos os nós funciona de modo equivalente às redes convencionais de comutação de circuito, sem a restrição de continuidade obrigatória de comprimento de onda [4], [5].

As redes ópticas transparentes permitem transportar grandes volumes de informações e fornecer serviços para aplicações que exigem requisitos de qualidade de serviço tais como por exemplo tempo máximo de atraso. Além da alta sensibilidade ao atraso, essas aplicações geralmente funcionam 24 horas por dia exigindo uma alta disponibilidade de serviços da rede. Uma falha na rede óptica impossibilitando a comunicação entre essas aplicações, pode significar a perda de uma grande quantidade de informações e a parada de serviços críticos. Por isso, as redes ópticas transparentes precisam implementar mecanismos para garantir que falhas de equipamentos e fibras sejam reparadas de maneira rápida e eficiente. Esta capacidade de continuar operando na eventualidade de ocorrência de falhas é conhecida como sobrevivência em redes ópticas transparentes.

Neste artigo são avaliadas três estratégias de roteamento (*One Step*, *Two Step* e *Two Step* com *backtracking*) para redes ópticas transparentes com proteção dedicada de caminho sob influência dos principais algoritmos de alocação de comprimento de onda (*Random*, *First-Fit* e *Most Used*). Para cada

estratégia, o desempenho dos algoritmos RWA é comparado com a conversão total, em diferentes topologias da rede.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta o problema da sobrevivência em redes ópticas transparentes, descrevendo os principais mecanismos de proteção e restauração. A Seção III apresenta as três estratégias para roteamento em redes ópticas transparentes com proteção dedicada de caminho abordadas neste trabalho. Na Seção IV apresentamos os principais estudos disponíveis na literatura sobre proteção em redes ópticas e destacamos nossas contribuições. A Seção V apresenta e discute os resultados das simulações comparando as estratégias de roteamento para redes ópticas com proteção dedicada de caminho descritas nas seções anteriores, e as conclusões são apresentadas na última Seção.

## II. SOBREVIVÊNCIA EM REDES ÓPTICAS

À medida em que a infra-estrutura de transmissão das redes ópticas evolui com a possibilidade de um número cada vez maior de *lightpaths* passando por uma única fibra, a falha de algum dos componentes da rede óptica se torna cada vez mais crítica. Caso haja a quebra de um enlace da rede, todos os *lightpaths* atravessando o enlace serão afetados, podendo causar grandes danos à integridade do serviço para inúmeros usuários. Portanto, é fundamental considerar a sobrevivência no planejamento de redes ópticas transparentes. Para isso, é necessário o uso de técnicas capazes de manter os serviços da rede óptica mesmo na presença de falhas, tais como **proteção** ou **restauração**.

Em média, a quebra de fibras ocorre a uma taxa de 4,39 vezes a cada 1610 Km de extensão durante um ano e o tempo médio para reparação de uma fibra é de 12 horas [6] [7]. Como o tempo de reparo de uma fibra é significativamente menor do que o tempo entre falhas, a probabilidade de existirem duas ou mais falhas simultâneas é muito baixa. Este modelo de falha única, isto é, onde nunca ocorrerá duas ou mais falhas simultâneas na rede óptica transparente, é utilizado pela maioria dos estudos relatados na literatura [8], [9] e é adotado neste trabalho.

A técnica de proteção consiste na reserva prévia (i.e. antes da ocorrência de falhas) de recursos sobressalentes que na eventual ocorrência de falhas substituirão os recursos falhos. A técnica de proteção pode ser subdividida basicamente em **proteção de caminho**, **proteção de enlace** ou **proteção de sub-caminho** [10].

Na proteção de caminho, duas rotas disjuntas são alocadas para cada conexão (origem, destino). A primeira rota é chamada de **rota primária** ou **rota de trabalho** que será utilizada na ausência de falhas. A segunda rota, chamada de **rota secundária** ou **rota backup**, será utilizada somente se algum dos recursos da rota primária for afetado por uma falha da rede.

Na proteção de enlace, é associada uma rota secundária para cada enlace que compõe a rota primária. Se a rota primária for composta de 3 enlaces ((1,2), (2,3) e (3,4), por exemplo, são estabelecidas 3 rotas secundárias (A, B e C, respectivamente) cada uma responsável pela proteção de apenas um enlace da rota primária.

Com a proteção de caminho, o tempo necessário para restabelecer a conexão utilizando a rota secundária é, geralmente, maior do que o tempo gasto com a proteção de enlace. Entretanto, a proteção de enlace exige a reserva de um maior número de recursos, uma vez que existe uma rota secundária para cada enlace da rota primária.

Na proteção de sub-caminho, somente sub-caminhos com  $k$  enlaces são protegidos com rotas secundárias. Com a proteção de sub-caminho, busca-se encontrar o ponto de equilíbrio entre o tempo para restabelecer a conexão utilizando a rota secundária e o número de recursos reservados previamente.

O mecanismo de proteção ainda pode ser classificado em **proteção dedicada** e **proteção compartilhada**, segundo a capacidade de compartilhamento dos recursos das rotas secundárias. Na proteção dedicada, os recursos da rota secundária são utilizados exclusivamente para proteger um único *lightpath*. Já na proteção compartilhada, também conhecida como proteção 1:N, procura-se compartilhar os recursos das rotas secundárias. Levando-se em conta o modelo de falha única, somente uma de duas conexões disjuntas poderá ser interrompida na ocorrência de uma falha. Dessa forma, suas respectivas rotas secundárias podem compartilhar os mesmos recursos. Esta alternativa consegue reduzir significativamente o número de recursos necessários para prover sobrevivência nas redes ópticas.

Na sobrevivência provida pelo mecanismo de restauração dinâmica não existe reserva prévia de recursos, proporcionando uma maior capacidade no atendimento de futuras conexões. Na restauração é preciso localizar a falha e em seguida descobrir uma rota capaz de restabelecer a conexão. Entretanto, o tempo necessário para restabelecer a conexão é maior do que o tempo gasto pelo mecanismo de proteção. Além disso, a não reserva prévia de recursos não garante que no momento da falha haverá recursos disponíveis para prover a restauração. Assim como na técnica de proteção, a restauração também pode ser aplicada ao caminho, ao enlace e ao sub-caminho.

## III. ROTEAMENTO DE COMPRIMENTO DE ONDA EM REDES ÓPTICAS COM PROTEÇÃO DEDICADA DE CAMINHO

Em uma rede óptica transparente com proteção dedicada de caminho para cada *lightpath* devem ser associadas duas rotas disjuntas (primária e secundária). Se nesta rede deseja-se garantir que todas as conexões possuam proteção, então uma requisição de conexão será atendida se e somente se existirem recursos disponíveis para as duas rotas disjuntas (primária e secundária). Caso contrário, a conexão será bloqueada. Alguns algoritmos de roteamento foram propostos na literatura para escolher as rotas primária e secundária [11], [12] e [8].

O algoritmo mais simples é o **Two Step** que primeiramente computa a rota de menor caminho para a rota primária, e depois computa a menor rota disjunta da rota primária para a rota secundária.

Uma segunda política de roteamento é a **Two Step** com *backtracking* [8]. Esta alternativa evita a alocação de uma rota primária que impossibilite a computação de uma rota secundária. A Figura 1(a, b) ilustra esta situação. Na tentativa

de atender a conexão (17,15), é computada a rota de menor caminho (17, 11, 12, 13, 14 e 15) para a rota primária. Esta escolha provocará o bloqueio da conexão (17, 15), pois não existe outra rota disjunta da rota primária. É importante observar que se a rota (17, 18, 19, 20, 21, 14 e 15) fosse escolhida como primária, outra rota disjunta seria encontrada para a rota secundária, evitando o bloqueio da conexão (17,15).

Outra política de roteamento é a *One Step*. Esta alternativa, além de realizar *backtracking*, se propõe a computar o par de rotas primárias e secundárias cujo o valor da soma dos seus tamanhos é o menor dentre todos os possíveis pares.

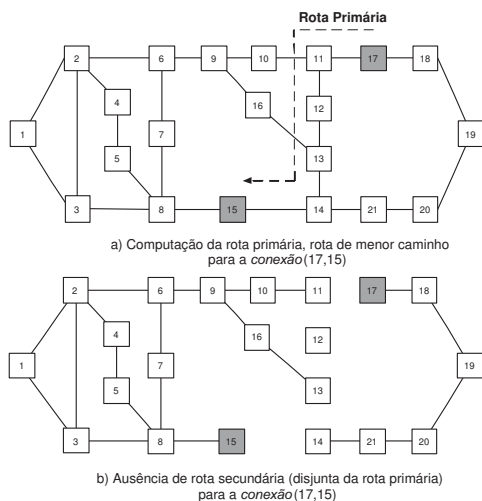


Fig. 1. Exemplo de estratégias de roteamento para redes ópticas transparentes com proteção de caminho com e sem *backtracking*.

#### IV. TRABALHOS RELACIONADOS

Vários trabalhos relatados na literatura abordam o problema de proteção de caminho em redes ópticas WDM. Em [13] formulações de programação linear inteira são feitas para o problema RWA para um tráfego estático com proteção dedicada de caminho e de enlace. Em [9] o desempenho da proteção de sub-caminho é estudado em termos da capacidade de utilização e do tempo de recuperação, comparado com os esquemas de proteção de caminho e de enlace. Em [11] e [12] é utilizada a estratégia *One Step* para computar as rotas disjuntas. Em [8] é feito um estudo comparando as estratégias *One Step* e *Two Step*, com e sem conversão, em malhas ópticas WDM sob roteamento fixo e adaptativo, utilizando o algoritmo *First-Fit* para alocação de comprimento de onda.

Neste trabalho, estudamos as estratégias de roteamento *Two Step*, *Two Step* com *backtracking* e *One Step* para malhas ópticas WDM com tráfego dinâmico, com proteção dedicada de caminho sob roteamento fixo, com e sem conversão de comprimentos de onda, utilizando diferentes algoritmos para alocação de comprimento de onda (*First-Fit*, *Random* e *Most Used*) e diferentes topologias como a Arpanet e a Abilene. Este estudo procura avaliar o efeito das políticas aplicadas por cada estratégia de roteamento individualmente, ou seja, a influência do *backtracking* e a influência da minimização do tamanho do par de rotas para cada topologia estudada. Além

disso, avaliamos o desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda para as mesmas topologias, porém, em um cenário sem proteção a fim de avaliar o efeito da proteção de caminho no comportamento destes algoritmos, e avaliar o desempenho da conversão total para estes dois cenários.

#### V. RESULTADOS

Dada a complexidade da solução analítica para o cálculo da probabilidade de bloqueio de conexões em redes ópticas transparentes, sob tráfego dinâmico, com proteção dedicada de caminho, e a inexistência de sistemas reais disponíveis para medições, foi utilizada neste estudo a técnica de simulação. Para isso, estendemos a ferramenta SimRWA [15], implementando novas funcionalidades (*One Step*, *Two Step* e *Two Step* com *backtracking*) para proteção dedicada de caminho. Validamos a ferramenta de simulação comparando com resultados de outros trabalhos [8] e [14].

As topologias de rede estudadas (Figura 2) incluem duas das infraestruturas de redes mais citadas na literatura (Arpanet e Abilene) e uma terceira específica que também serviu como referência para a validação dos resultados.

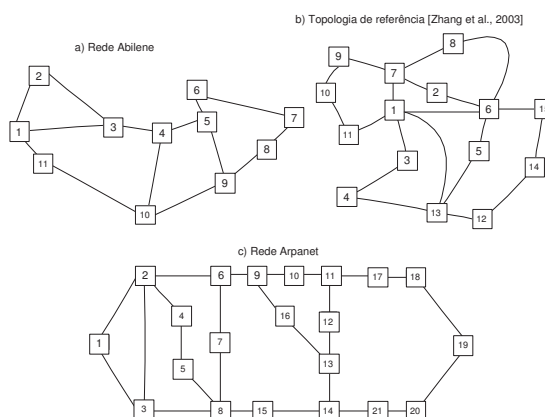


Fig. 2. Topologias utilizadas no estudo.

No modelo utilizado, todos os enlaces são bidirecionais com uma fibra em cada sentido e 40 comprimentos de onda por fibra. As requisições de conexões são uniformemente distribuídas entre todos os pares de origem-destino. A chegada de conexões é um processo poissoniano e o tempo entre chegadas de requisições é distribuído exponencialmente com média  $1/\lambda$ . O tempo de retenção das conexões é distribuído exponencialmente com média  $1/\mu$  e a intensidade de tráfego na rede em erlangs é  $\rho = N \cdot \lambda/\mu$ , onde  $N$  é o número de nós da rede. Os algoritmos de alocação de comprimento de onda utilizados são: *First-Fit*, *Random* e *Most Used*. O roteamento é fixo, utilizando as estratégias *Two Step*, *Two Step* com *backtracking* e *One Step*. Para cada experimento, realizamos 10 replicações gerando 100.000 requisições. Toda conexão estabelecida possui proteção de caminho. Os gráficos apresentam probabilidade de bloqueio entre 0% e 20%.

##### A. Desempenho com a Topologia Abilene

No estudo utilizando a topologia Abilene (Fig. 2a), observamos o desempenho dos algoritmos de alocação de compri-

mento de onda *First-Fit* (FF), *Most Used* (MU) e *Random* (RD), utilizando as estratégias *Two Step*, *Two Step* com *backtracking*, *One Step* e o mesmo cenário sem proteção, através de curvas apresentadas nas figuras 3, 4 e 5, respectivamente. O limite inferior, em termos de probabilidade de bloqueio, para o problema de alocação de comprimento de onda é representado pela conversão total (CT).

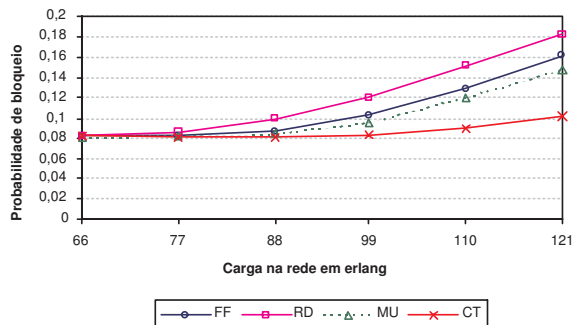


Fig. 3. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia Abilene com a estratégia *Two Step* sem *backtracking*.

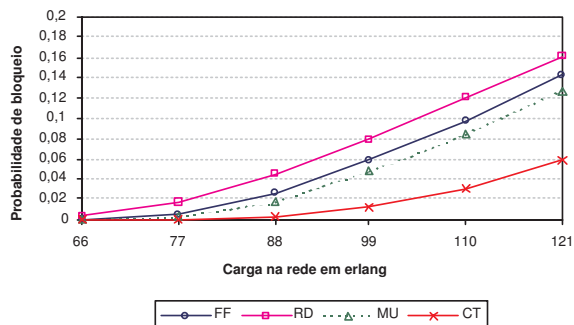


Fig. 4. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia Abilene com a estratégia *Two Step* com *backtracking*.

Observa-se nas figuras 3 e 4, o melhor desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda obtido com o uso do *backtracking* no caso da topologia Abilene. Neste caso, o estabelecimento das rotas primárias pelo menor caminho ocasionou o bloqueio de algumas conexões. Isto porque a escolha de uma rota primária sem considerar a necessidade de alocar uma rota secundária disjunta pode levar ao bloqueio da conexão, mesmo havendo recursos disponíveis. Para esta topologia cerca de 8.100 conexões foram bloqueadas de um total de 100.000 ( $P_b \cong 0,08$ ) mesmo havendo recursos disponíveis, somente por não realizar *backtracking*. É importante ressaltar que o *backtracking* passa a exercer menor influência no desempenho da rede com o aumento da carga.

Das figuras 4 e 5 pode se observar que, no caso da Abilene, as estratégias *Two Step* com *backtracking* e *One Step* apresentaram o mesmo desempenho. Isto resulta do fato de não ter havido realocação dos pares de rota primária e secundária na busca pela minimização de recursos utilizados.

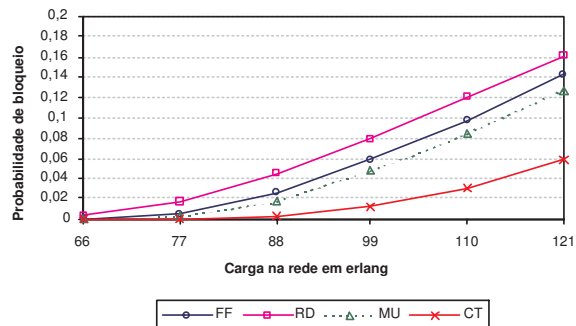


Fig. 5. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia Abilene com a estratégia *One Step*.

### B. Desempenho com a Topologia de Referência

As figuras 6, 7 e 8 mostram o desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda para a topologia de referência (Fig. 2b) utilizando as estratégias *One Step*, *Two Step* e *Two Step* com *backtracking*, respectivamente.

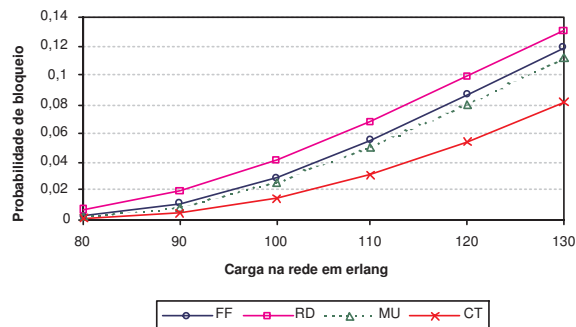


Fig. 6. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia de referência com a estratégia *Two Step*.

Observa-se que no caso da topologia de referência (Fig. 2b) não houve diferença de desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda trabalhando com as estratégias de roteamento *Two Step* e *Two Step* com *backtracking* (figs 6 e 7).

A estratégia de roteamento *One Step* evidenciou melhor desempenho, conforme observado na Figura 8. De uma maneira geral a estratégia *One Step* superou a estratégia *Two Step*, conseguindo minimizar o tamanho do par de rotas (número de enlaces da rota primária + número de enlaces da rota secundária) em 10.200 de 100.000 conexões.

### C. Desempenho da Topologia Arpanet

No estudo utilizando a topologia Arpanet (Fig. 2c), observamos o desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda utilizando as estratégias *Two Step*, *Two Step* com *backtracking*, *One Step*. Nesse estudo foi possível observar que a estratégia *Two Step* com *backtracking* apresentou melhor desempenho do que a estratégia *Two Step* para a topologia Arpanet. Isto ocorreu pela realização do

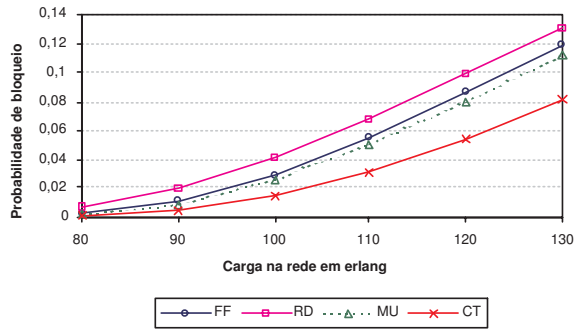


Fig. 7. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia de referência com a estratégia *Two Step* com *backtracking*.

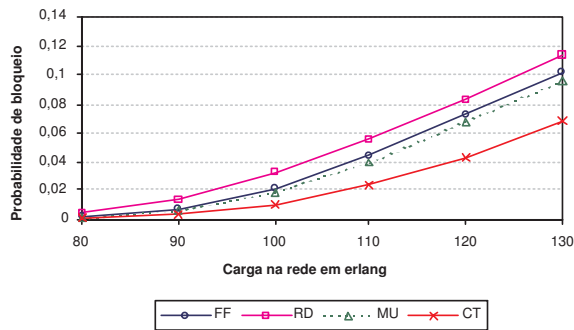


Fig. 8. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia de referência com a estratégia *One Step*.

*backtracking* em cerca de 1.200 conexões de um total de 100.000 ( $P_b \cong 0,012$ ) sob baixa carga.

Em cerca de 250 conexões de um total de 100.000, a política de otimização da estratégia *One Step*, que minimiza o tamanho do par de rotas primária e secundária, escolheu pares de rotas diferentes da estratégia *Two Step* com *backtracking*. Entretanto, esta diferença foi insignificante no desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda em termos de probabilidade de bloqueio. Os gráficos de desempenho referente a topologia ARPANET foram omitidos por limitação de espaço.

A Figura 9 mostra o nível de otimização das políticas empregadas pelo *Two Step* com *backtracking* e *One Step* com relação a estratégia *Two Step*. Vale ressaltar, que a estratégia *One Step* emprega as duas políticas de otimização avaliadas na figura abaixo.

O quadro comparativo da Figura 9 evidencia a influência da topologia no desempenho das políticas de otimização utilizadas pelas estratégias *Two Step* com *backtracking* e *One Step*.

**D. Desempenho para as Topologias no Cenário sem Proteção**

As figuras 10, 11 e 12 mostram o desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda para as topologias Abilene, topologia de referência e Arpanet no cenário sem proteção.

Nível de otimização alcançado com as técnicas de <i>backtracking</i> e escolha do par de rotas de menor tamanho em relação a estratégia <i>Two Step</i>			
Topologias	Abilene	Topologia Referência	Arpanet
Técnicas de otimização			
<i>Backtracking</i>	8,10%	0%	1,20%
Escolha do par de menor tamanho	0%	10,20%	0,25%

Fig. 9. Comparativo das políticas de otimização.

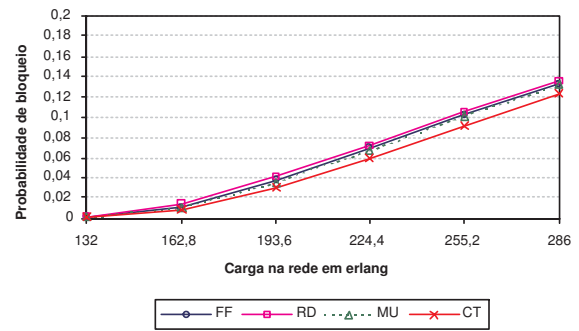


Fig. 10. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia Abilene sem proteção.

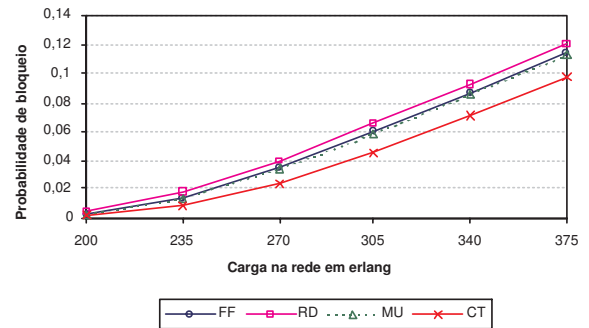


Fig. 11. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia de referência sem proteção.

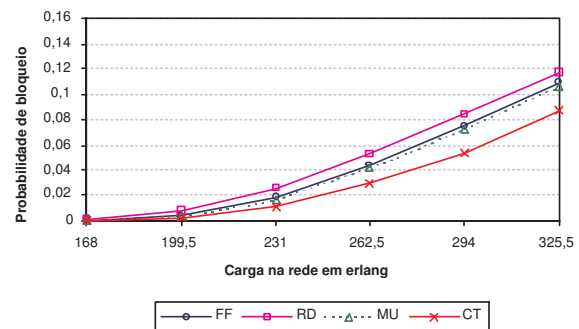


Fig. 12. Desempenho dos algoritmos RWA na topologia Arpanet sem proteção.

Observa-se nas figuras 10, 11 e 12 que os algoritmos de alocação de comprimento de onda, diferentemente dos cenários com proteção de caminho, apresentaram desempenho semelhantes para cada uma das topologias.

A Figura 13 mostra o desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda em relação à conversão total (limite inferior) para as topologias estudadas. Esta comparação é feita entre as estratégias *One Step* e o cenário sem proteção. Assumindo a carga máxima alcançada para 5% de bloqueio, a Figura 13 expressa a relação entre a carga alcançada para cada algoritmo e a carga alcançada para a rede com conversão total. Por exemplo, para a topologia Abilene no cenário sem proteção, a carga máxima na rede alcançada utilizando conversão total, para o limite de 5% de bloqueio, foi de 213,6 erlangs. Enquanto que para o algoritmo *Random* a carga máxima na rede alcançada foi de 202,6 erlangs. Assim, o algoritmo *Random* nesta situação chega a 94,9% da carga alcançada pela conversão total.

Desempenho dos algoritmos em relação a conversão total utilizando a estratégia <i>One Step</i> . Resultados para 5% de bloqueio na rede.				Desempenho dos algoritmos em relação a conversão total sem proteção de caminho. Resultados para $P_b = 5\%$		
Topologias Algoritmos	Abilene	Topologia Referência	Arpanet	Abilene	Topologia Referência	Arpanet
<i>Random</i>	76,5%	87,7%	77,0%	94,9%	91,3%	89,8%
<i>First-Fit</i>	81,8%	91,1%	81,8%	96,0%	93,7%	93,2%
<i>Most Used</i>	85,2%	92,8%	84,4%	97,0%	94,2%	94,0%

Fig. 13. Comparativo do desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda utilizando a estratégia *One Step* e o cenário sem proteção.

Para todas as topologias estudadas, a escolha dos algoritmos de alocação de comprimento de onda no cenário sem proteção apresentou menor influência na probabilidade de bloqueio quando comparada com o cenário com proteção. Para a topologia Abilene sem proteção, com carga relativa a 5% de bloqueio, por exemplo, a diferença entre o pior e o melhor algoritmo, em termos de probabilidade de bloqueio, foi de 2,1%. Já para mesma topologia com proteção a diferença foi de 8,7%. Ainda comparando os cenários com proteção e sem proteção, o uso de conversores apresentou maior impacto para todas as topologias estudadas com proteção.

## VI. CONCLUSÕES

A implantação de redes ópticas transparentes para compor a futura infraestrutura de transporte dos backbones dos provedores de serviço de telecomunicações é uma tendência mundial. Diante do volume de dados e da importância dos serviços que serão providos com a utilização das redes ópticas transparentes, é necessária a utilização de mecanismos para proporcionar a sobrevivência destas redes.

Os algoritmos de alocação de comprimento de onda e as estratégias de roteamento para proteção dedicada de caminho aqui estudados constituem-se em instrumentos valiosos na otimização dos recursos das rede ópticas transparentes. Principalmente quando a tecnologia de conversores de comprimento de onda ainda não está amadurecida e competitiva.

Neste estudo pôde-se observar para diferentes topologias de rede, o desempenho dos algoritmos de alocação de comprimento de onda sob influência de três diferentes estratégias de roteamento para proteção dedicada de caminho, *Two Step*, *Two Step* com *backtracking* e *One Step*. Foi observado, de maneira geral, o melhor desempenho da estratégia *One Step*. Entretanto, nossos resultados mostram que o impacto das políticas de otimização sofre influência da topologia de rede. Com relação aos algoritmos de alocação de comprimento de onda, o *Most Used* evidenciou melhor desempenho, especialmente nos cenários com proteção. De maneira geral, observou-se que as diferenças de desempenho dos algoritmo de alocação de comprimento de onda ficam mais evidentes nos cenários com proteção. Já nos cenários sem proteção, para as cargas de tráfego estudadas, os algoritmos de alocação de comprimento de onda apresentaram resultados semelhantes. Outros tipos de roteamento, como roteamento fixo-alternativo e adaptativo estão sendo investigados atualmente.

## REFERÊNCIAS

- [1] Murthy, C. S. R. and Gurusamy, M., *WDM Optical Networks - Concepts, Design and Algorithms*. Prentice Hall PTR, 2002.
- [2] Zang, H., Jue, J. P., and Mukherjee, B. "A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM network". *Optical Network Magazine*, v. 1(1):47 – 60, 2000.
- [3] Soares, A. C. B. and Giozza, W. F. (2004). "Avaliação de desempenho de algoritmos para alocação dinâmica de comprimentos de onda em redes ópticas transparentes". In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, p. 661 – 674, 2004.
- [4] Chu, X., Li, B., and Zhang, Z. "A dynamic RWA algorithm in a wavelength-routed all-optical network with wavelength converters". In *IEEE INFOCOM'03*, p. 1795 – 1804, 2003.
- [5] Chu, X., Liu, J., and Zhang, Z. "Analysis of sparse-partial wavelength conversion in wavelength-routed WDM networks". In *IEEE INFOCOM'04*, 2004.
- [6] Zang, H. and Mukherjee, B. "Connection management for survivable wavelength routed WDM mesh networks". *SPIE Optical Network Magazine*, 2(4):17-28, 2001.
- [7] To, M. and Neusy, P. "Unavailability analysis of long-haul networks". *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 12(4):100-109, 1994.
- [8] Zhang, J., Zhu, K., Sahasrabudhe, L., Ben, S. J., and Mukherjee, B. "On the study of routing and wavelength assignment approaches for survivable wavelength routed wdm mesh networks". *Optical Network Magazine*, 4(6):16-28, 2003.
- [9] Anand, V., Chauhan, S., and Qiao, C. "Sub-path protection: A new framework for optical layer survivability and its quantitative evolution". Technical report, Dept. of computer science and engineering, state university of New York at Buffalo, 2002.
- [10] Mouftah, H. T. and Ho, P. "Optical Networks - Architecture and Survivability". Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [11] Sen, A., Shen, B. H., and Bandyopadhyay, S. "Survivability of lightwave networks path lengths in WDM protection scheme". *Jornal of High Speed Networks*, 4(10):303-315, 2001.
- [12] Xin, C., Ye, Y., Dixit, S., and Qiao, C. "A joint lightpath routing approach in survivable optical networks". *SPIE Asia-Pacific Optical and Wireless Communication*, p. 139-146, 2001.
- [13] Ramamurthy, S. and Mukherjee, B. "Survivable WDM mesh networks, part I protection". In *IEEE INFOCOM'99*, p. 744 - 751, 1999.
- [14] Anand, V. and Qiao, C. (2002). "Effect of wavelength conversion in survivable wavelength". Technical report, Dept. of computer science and engineering, state university of New York at Buffalo, 2002.
- [15] Soares, A. C. B., Maranhão, J. C., and Giozza, W. F. "Simrwa: Uma ferramenta para avaliação de desempenho de algoritmos para alocação de comprimentos de onda e rotas em redes ópticas transparentes". In *III Salão de Ferramentas do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, p. 915 - 922, 2004.