

## Prevenção de desastres em redes EON baseadas em NFV considerando classes de serviço

### Disaster prevention in EON networks based on NFV considering classes of service

#### RESUMO

A virtualização de funções de rede permite a implementação de funções como componentes de software em hardwares de propósito geral, aumentando a flexibilidade e reduzindo o custo. Entretanto a infraestrutura óptica e virtualizadas da tecnologia NFV são suscetíveis a desastres naturais e ataques. Apesar dos esforços para minimizar esta vulnerabilidade, o estudo de provisionamento, com capacidade de sobrevivência, considerando classes de serviço tem sido negligenciado. Neste trabalho propomos um novo algoritmo de mapeamento e roteamento de funções virtuais em redes ópticas elásticas. Utilizou-se um simulador de redes ópticas para avaliar o desempenho do algoritmo proposto e compará-lo com outras estratégias. Os resultados levantados mostraram significativa melhora de desempenho no que se refere a taxa de bloqueio e custos para o provedor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Redes de computadores, Comunicações ópticas, Desastres.

**Matheus Giovanni Dias**  
[matheusdias@alunos.utfpr.edu.br](mailto:matheusdias@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Juliana de Santi**  
[jsanti@utfpr.edu.br](mailto:jsanti@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



#### ABSTRACT

NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION (NFV) ALLOWS THE DEPLOYMENT OF NETWORK FUNCTIONS AS SOFTWARE COMPONENTS ON COMMODITY HARDWARE, INCREASING THE FLEXIBILITY AND REDUCING THE COST OF THE SERVICE DEPLOYMENT FOR THE NETWORK OPERATORS. IN THIS PAPER, WE PROPOSE A NEW QOS-AWARE MAPPING AND ROUTING OF VIRTUAL FUNCTION TRAFFIC ALGORITHM FOR DISASTER RECOVERY IN ELASTIC OPTICAL NETWORKS (EONS). THE ALGORITHM CONSIDERS DEFERENT REQUIREMENTS OF CLASS OF SERVICE AND THE DISASTER ZONES RISK IN ORDER TO PROVIDE RELIABILITY ACCORDING TO THE SPECIFIED REQUIREMENTS AS WELL REDUCE DEPLOYMENT AND ROUTING COST.

**KEYWORDS:** COMPUTER NETWORKS, OPTICAL COMMUNICATIONS, DISASTERS

## INTRODUÇÃO

As Redes Ópticas Elásticas (*Elastic Optical Networks – EONs*) “surgiram com uma proposta capaz de diminuir a disparidade entre a granularidade das demandas das redes cliente e aquela usada nos canais de transmissão” (HOROTA, 2014, p. 2), possibilitam o provisionamento de caminhos ópticos (*lightpaths*) proporcionais aos requisitos do tráfego, o que é de suma importância para suportar o crescimento rápido da internet em termos de requisitos de largura de banda, diversidade e qualidade de serviços e eficiência energética.

Sobre as EONs, o paradigma de Virtualização de Funções de Rede (*Network Functions Virtualization – NFV*) permite a implementação de funções de rede, baseadas em software, em servidores de propósito geral possibilitando a instanciação, sob demanda, de funções em datacenters independente da localização física para o provisionamento rápido e flexível de serviços de rede. “A virtualização de funções de rede foi recentemente proposta para melhorar a flexibilidade do provisionamento de serviços de rede e redução do tempo de mercado de novos serviços” (HAN, 2015, p. 90).

Apesar das vantagens das tecnologias, suas infraestruturas ópticas e virtualizadas são suscetíveis a desastres naturais e a ataques maliciosos.

Apesar da grande disponibilidade de banda passante e capacidade de adaptação, desastres naturais em grande escala (como por exemplo, desastres naturais devido à furacões, terremotos, etc., ou ataques maliciosos) podem afetar a infraestrutura óptica com múltiplas falhas diretas ou indiretas nos enlaces e equipamentos (REGIS, 2018, p. 2).

Assim a capacidade de sobrevivência<sup>1</sup> dos serviços tem se tornado crucial para operadores de rede, de forma a manter as expectativas dos clientes e evitar redução dos lucros. “À medida que os paradigmas NFV ganham força, os pesquisadores começaram a abordar uma série de questões de provisionamento” (OLIVEIRA, 2018, p. 1). Vários esforços foram empregados para garantir o provisionamento de serviços NFV com capacidade de sobrevivência, tais como estudos de posicionamento (*placement*) de funções virtualizadas (*Virtual Network Functions – VNFs*), almejando minimizar as falhas de links. Entretanto o provisionamento de NFV com diferenciação de classes sobre EONs para sobrevivência a desastres tem sido negligenciado.

Neste trabalho propomos uma estratégia para roteamento e posicionamento de funções para prevenção de desastres em EONs no modelo multi-falhas. Serviços de VNFs são dinamicamente provisionados através de enlaces (*links*) ópticos para datacenters baseados em quatro classes de serviço e na vulnerabilidade dos links a desastres. Tal diferenciação de serviços é utilizada para explorar melhor os riscos das zonas de desastre e evitar a interrupção de serviços da alta prioridade e, conseqüentemente, aumentar o lucro dos provedores.

---

<sup>1</sup> Capacidade de continuar funcionando durante e após um desastre.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O algoritmo proposto realiza o mapeamento e roteamento das funções virtualizadas explorando um modelo de risco de múltiplas falhas e a flexibilidade fornecida pelas conexões de diferentes classes de serviço, permitindo diferentes níveis de degradação de largura de banda e atrasos durante a fase de recuperação.

A rede EON é representada por um grafo, cujos nós representam os OXC (*Optical Cross-Connect*), e as arestas os enlaces. Um subconjunto dos OXC possuem acesso a um datacenter, capazes de instanciar um VNF. Cada datacenter contém diferentes recursos limitados (como memória, processamento e armazenamento), instanciar uma *NF* consome recursos e a função poderá atender um número máximo de requisições, excedendo esta quantidade uma nova função deverá ser instanciada. As requisições são representadas por uma 8-tupla contendo: origem, destino, largura de banda requisitada, duração, classe de serviço, tolerância de degradação de largura de banda, tolerância a atraso e um conjunto das funções requisitadas. Os valores de tolerância de degradação de largura de banda e tolerância de atraso estão dentro dos limites estabelecidos pela SLA (*Service Level Agreement – Acordo de Nível de Serviço*), de acordo com a classe de serviço (ver tabela 1). Subconjuntos de enlaces constituem as zonas de desastres, regiões da rede vulneráveis a desastres, nas quais os enlaces constituintes possuem uma probabilidade de falha associada. Após um desastre os enlaces afetados permanecem interrompidos por um certo período de tempo até que haja a reparação da rede, o tempo de reparação é proporcional à quantidade de links interrompidos.

Um evento de desastre ocasiona um sério dano na infraestrutura da rede, reduzindo os recursos disponíveis. Uma política de restauração diferenciada por prioridade é essencial para melhorar o número de conexões restauradas, respeitando os limites da SLA. A tabela 1 ilustra as prioridades, requerimentos e custos (de bloqueio ou perda) para o provedor das conexões consideradas neste trabalho.

Tabela 1 – Prioridade das conexões, requerimentos e custos de conexões

| Classe de Serviço | Prioridade | Tolerância largura de banda | Tolerância a atrasos | Custo de bloqueio ou perda (dólar/GBit) |
|-------------------|------------|-----------------------------|----------------------|---|
| Hard Real-time    | Urgente    | Não aceita                  | Não aceita           | 0,005625                                |
| Soft-bandwidth    | Alta       | 10% a 50%                   | Não aceita           | 0,0045                                  |
| Soft-delay        | Média      | Não aceita                  | 10% a 50%            | 0,00225                                 |
| Non Real-time     | Baixa      | 10% a 50%                   | 10% a 50%            | 0,0                                     |

Fonte: REGIS (2018, p. 5).

O algoritmo proposto baseia-se no RA-GH (OLIVEIRA, 2018, p. 5), utilizado no posicionamento e roteamento das funções requisitadas nos diversos datacenters disponíveis da rede. Comparado ao algoritmo original, foi proposta uma modificação no estágio de posicionamento e a inclusão das classes de serviço.

Quadro 1 – algoritmo RA-COS

| RA-COS   |
|--|
| <p><b>Entrada:</b> Gráfico da rede <math>G(V,E)</math>. Requisição de serviços <math>r</math> requisitando um conjunto de funções de rede <math>F_R</math> e <math>b_R</math> unidades de banda entre <math>src_R</math> e <math>dst_R</math><br/>//Estágio de posicionamento</p> <p><b>Para cada</b> função <math>i</math> em <math>F_R</math> <b>faça</b><br/> <math>D(r) = D(r) \cup d_k</math>   <math>d_k</math> é o datacenter que implementa <math>i</math> com o menor custo e está mais próximo de <math>src_R</math> ou <math>dst_R</math>.<br/>           Atualiza os recursos de <math>d_k</math>.</p> <p><b>Fim Para</b><br/>           //Estágio de Roteamento<br/> <math>src \leftarrow src_R</math><br/> <math>C(r) \leftarrow C(r) \cup src</math></p> <p><b>Para cada</b> <math>d_k \in D(r)</math> <b>faça</b><br/> <math>dst \leftarrow d_k</math><br/> <b>Se</b> <math>d_k \notin C(r)</math> <b>então</b><br/> <math>p \leftarrow \text{Shortest-path}(src, dst)</math><br/> <math>p_R \leftarrow p_R \parallel p</math><br/> <math>C(r) \leftarrow C(r) \cup d_k</math><br/> <math>C(r) \leftarrow C(r) \cup d_j</math>   (<math>d_j \in p_R \wedge d_j \in D(r)</math>)<br/> <math>src \leftarrow dst</math></p> <p><b>Fim Se</b></p> <p><b>Fim Para</b><br/> <math>dst \leftarrow dst_R</math><br/> <math>p \leftarrow \text{Shortest-path}(src, dst)</math><br/> <math>p_R \leftarrow p_R \parallel p</math></p> |

Fonte: Autoria própria (2019).

Onde  $D(r)$  é o conjunto de datacenters selecionados para servir a requisição  $r$ ;  $C(r)$  é o conjunto dos datacenters que servem  $r$  e já estão conectados a seus respectivos vizinhos dentro do caminho entre  $src_R$  e  $dst_R$ .

O algoritmo é dividido em dois estágios: no primeiro é feita a escolha dos datacenters para instanciar as funções, escolhe-se aquele que oferece a função pelo menor *setup cost* e que está a menos *hops* da origem ou destino da requisição, desta forma distribui-se a carga pela rede evitando a aglomeração de requisições em uma única região. Ao escolher um datacenter, verifica-se se o mesmo possui uma função instanciada que possa atender uma requisição, caso haja utiliza-se esta instância, sem custos adicionais de recursos, caso contrário, instancia-se uma nova função ao custo de recursos do datacenter.

Na segunda fase é feita o roteamento entre a origem, os datacenters selecionados e o destino da requisição. Utiliza-se o algoritmo de dijkstra considerando a equação 1 para o cálculo do peso de cada link:

$$peso = \left( \frac{lsc}{70.0} + \frac{r}{abr} * (4 - \cos) + ldp \right) * (1 + ldp + (4 - \cos)) \quad (1)$$

Onde  $lsc$  é o custo de *setup* do enlace,  $r$  é a banda requerida,  $abr$  a banda disponível no enlace,  $ldp$  é a probabilidade de falha e  $\cos$  um valor inteiro entre 0 e 3 para cada classe de serviço, sendo 0 a mais prioritária e 3 a menos prioritária. A equação 1 é baseada na equação utilizada pelo RA-GH, que busca

minimizar o uso de enlaces com alta probabilidade de falha, pouca banda disponível ou alto custo de *setup*. O termo dependente da classe de serviço foi adicionado para priorizar o uso de enlaces com baixa probabilidade de falha e grande disponibilidade de banda por requisições prioritárias. Diversas versões foram testadas e a descrita em 1 obteve melhores resultados.

Utilizou-se o simulador de eventos discretos ONS (*Optical Network Simulator*), para avaliar o desempenho do algoritmo.

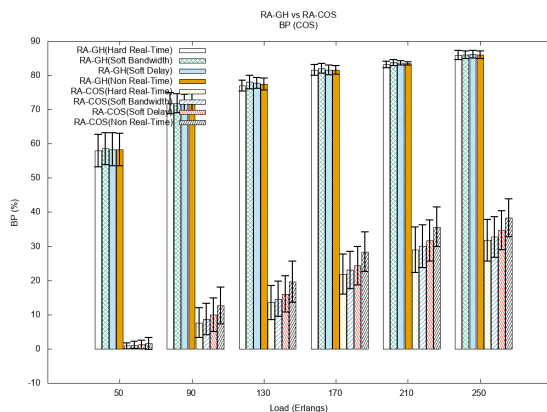
A topologia escolhida para rede foi a CORONET *Continental United States* (CONUS) com 75 nós e 99 enlaces, uma rede óptica hipotética desenvolvida para uso em pesquisas de rede. Como esta topologia está associada à geografia dos Estados Unidos, definiu-se as zonas de desastre de acordo com a probabilidade de ocorrência de furacões nos estados do país. Cinco zonas foram definidas, sendo elas: Flórida, Texas, Louisiana, Carolina do Norte e Nova Iorque, considera-se um único evento de desastre por simulação.

Cada simulação continha dez mil requisições geradas aleatoriamente dentre as quatro classes de serviço: *Hard*(11%), *Soft-bandwidth* (22%), *Soft-delay* (22%), *Non* (45%). Cada enlace contém 156 *slots* de 12.5Gbps e utilizando 2 *slots* de *guardband*. Considerou-se o formato de modulação BPSK e a política de alocação de espectro *First-Fit* (REGIS, 2018, p. 9).

## RESULTADOS

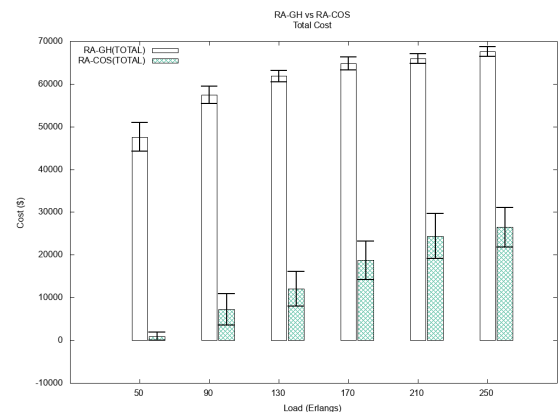
Para avaliar o desempenho do algoritmo, utilizou-se como métrica os dados da taxa de bloqueios e custos totais (em dólares) para o provedor (REGIS, 2018, p. 5), comparando-os com os valores obtidos pelo algoritmo RA-GH. Os dados obtidos foram dispostos nos gráficos disponíveis nas figuras 1 e 2, representando, respectivamente, a taxa de requisições bloqueadas e custos totais para o provedor. Para cada valor de carga é mostrado o valor médio de dez amostras de simulações, com intervalo de confiança de 95% (REGIS, 2018, p. 8).

Figura 1 – Taxa de bloqueio



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 2 – Custos para o provedor



Fonte: Autoria Própria (2019)

O algoritmo proposto gera probabilidade de bloqueio menor do que os valores gerados pelo algoritmo RA-GH para todas as cargas e classes consideradas (Figura 1). Esta diferença chega a ser de 64% para a carga de 90 erlangs. Como consequência da redução das conexões bloqueadas os custos para o provedor são, também, reduzidos (Figura 2), chegando a ser 87% menor para a carga de 90 erlangs.

## CONCLUSÃO

Há uma significativa melhora no número de requisições bloqueadas pelo algoritmo RA-COS em comparação ao RA-GH, mostrando que o primeiro consegue aproveitar melhor os recursos da rede e atender um maior volume de requisições, além disso, observa-se um menor número de bloqueio de requisições prioritárias (*Hard Real-time*) em comparação às não prioritárias (*Non Real-time*), o que acarreta em maior lucro para o provedor.

É possível observar que o custo total para o provedor, devido a requisições bloqueadas ou interrompidas, é menor para o RA-COS, indicando maior lucro comprado ao RA-GH.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por Fundação Araucaria FA-PIBIC (processo número: 95 - 2018) e CNPq-Universal (processo número: 402805/2016-0).

## REFERÊNCIAS

HAN, B.; GOPALAKRISHNAN, V.; JI, L.; LEE, S. Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations, In: IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 2, pp. 90-97, 2015.

HOROTA, A. K; FIGUEIREDO, G. B.; FONSECA, N. L. S. Algoritmo de roteamento e atribuição de espectro com minimização de fragmentação em Redes Ópticas Elásticas, In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC), 2014.

OLIVEIRA, D.; CRICHIGNO, J.; SIASI, N.; BOU-HARB, E.; GHANI, N. Joint mapping and routing of virtual network functions for improved disaster recovery support, In: SoutheastCon 2018, 2018.

REGIS, G. B.; FONSECA, K. V. O.; FIGUEIREDO, G. B.; MONTI, P.; WOSINSKA, L; DE SANTI, J. Differentiated restoration based multipath provisioning for disaster recovery in eons, In: 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2018.