



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GTL/10

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO – XV**

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS- GTL**

**ALGORITMO DE ROTEAMENTO BASEADO EM LÓGICA NEBULOSA PARA REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS**

**Ewerton de Oliveira Figueirôa(\*)**  
Netcon Ltda/ UPE/Estácio

**Jose Cleyton da Silva**  
UFPE

**André Victor da Silva Xavier**  
UFPE

**Carmelo J. A Bastos Filho**  
UPE

**Emerson A. de Oliveira Lima**  
UPE

**Eduardo Lopes Ferreira**  
Netcon Ltda

**RESUMO**

Neste artigo é proposto um novo algoritmo de roteamento para redes ópticas elásticas baseado em lógica nebulosa. Projetar algoritmos de roteamento que promovam o balanceamento de carga através de uma eficiente atribuição de rota, diminuindo a probabilidade de bloqueio, aumentando a vazão na rede e com baixo tempo de processamento para tomada de decisão são fatores decisivos para o bom funcionamento da rede óptica. O SIMTON (Simulator for Transparent Optical Networks) foi utilizado para analisar o desempenho do algoritmo proposto para redes com diferentes topologias. A demanda de tráfego foi considerada uniforme em todas as simulações e o tráfego dinâmico. O modelo de decisão proposto nesta dissertação é baseado em lógica nebulosa para atribuição da rota entre um par origem/destino. A escolha da rota é aquela que tenha o menor custo, baseado em métricas de disponibilidade de slots contíguos na rota, disponibilidade média de slots na rota e distância física da rota, associado ao par da requisição. Para isso é necessário a realização de um processo de *defuzzificação* para cálculo do custo da rota inspirado no modelo de *Takagi-Sugeno*. Desta, forma, foi obtido um melhor desempenho da rede com uma melhora na probabilidade de bloqueio aumento da vazão quando comparado a outros algoritmos de atribuição de rota como o: menor caminho (SP - *Shortest Path*), menor número de saltos (MH - *Minimum Hop*), caminho mais curto baseado no congestionamento (CASP - *Congested Aware Shortest Path*) e caminho mais curto baseado na continuidade do espectro (SCSP - *Spectrum Continuity based Shortest Path*). A probabilidade de bloqueio se mostrou estável para o cálculo de custo a partir da seleção de três rotas nas redes simuladas nesse estudo.

Palavra-Chave: Algoritmo de Roteamento, Redes Ópticas, Lógica Nebulosa, Takagi-Sugeno.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional e a necessidade de comunicação entre as pessoas são fatores propulsores para que fosse iniciado o desenvolvimento das redes de comunicação que utilizem as tecnologias ópticas. Essas redes têm a capacidade de escoamento de alto tráfego e em contrapartida devem possuir um baixo custo. Nesse sentido, as redes ópticas foram implantadas em massa nos últimos anos e devem continuar em franco desenvolvimento tecnológico nas próximas décadas.

A Internet evoluiu significativamente nos últimos 20 anos e o acesso dos usuários também. A demanda por recursos digitais tornou-se uma necessidade básica da maior parte da população e o eficiente consumo de recursos da rede é fator determinante para a ampliação no número de requisições simultâneas e qualidade de serviço.

(\*) Rua Manoel Caetano, n° 103 – Térreo – CEP 52010-220. Recife/PE, – Brasil  
Tel: (81) 3117-0100 – Email: ewerton.figueiroa@netconamericas.com

Segundo o décimo Relatório Cisco® Visual Networking Index (VNI) Global Forecast and Service Adoption 2014-2019, o tráfego IP (Internet Protocol) anual vai triplicar – atingindo os 2 zettabytes (mais de dois bilhões de Gigabytes anuais) – entre 2014 e 2019, o que representa uma taxa de crescimento anual composta de 23% entre 2014 e 2019 [1].

A Figura 1 apresenta a previsão para 2019 do número de usuários conectados na rede IP, número de dispositivos conectados na rede IP, média da taxa de transmissão de banda larga, e o aumento no tráfego de visualização de vídeos na rede. A crescimento da IoT (Internet of Things) e da Computação nas Nuvens (Cloud Computing), aceleram a necessidade de novas tecnologias que suportem o crescimento do tráfego.



**Figura 1: Previsão do Tráfego IP Global e Novos Serviços [1].**

Assim, um dos maiores desafios para as redes ópticas elásticas consiste no desenvolvimento de algoritmos de roteamento e alocação de espectro (RSA – Routing and Spectrum Assignment) que sejam eficientes, já que esses algoritmos têm uma influência direta na ocupação dos slots ao longo dos enlaces da rede e, assim, têm grande impacto no desempenho da rede. O problema de RSA consiste em encontrar um número necessário de slots de frequência contíguos e contínuos em uma rota entre os nós origem-destino para cada requisição de conexão [2].

Nesta artigo é proposto um novo algoritmo de roteamento para redes ópticas elásticas baseado em lógica nebulosa. Pretende-se que baseado em funções de custo de disponibilidade de slots contíguos na rota, disponibilidade média de slots na rota e distância normalizada da rota, seja escolhida a melhor rota para estabelecimento da conexão entre um par origem/destino na rede de forma a preservar recursos para as próximas chamadas. Assim, o algoritmo baseado em lógica nebulosa tem como objetivo balancear a carga na rede e alocar de forma eficiente as requisições de conexão. Será analisado o comportamento da probabilidade de bloqueio, vazão e tempo de processamento para o algoritmo proposto.

## 2.0 - ALGORITMOS DE ROTEAMENTO EM REDES ÓPTICAS

Para que se consiga um desempenho satisfatório em redes ópticas com tráfego dinâmico, a definição dos caminhos ópticos no qual a informação será transmitida é crucial para que a rede tenha bom desempenho. As rotas devem apresentar qualidade de transmissão (QoT – *Quality of Transmission*) adequada visando manter recursos disponíveis para o provisionamento de futuras requisições na rede. Nas redes ópticas WDM (*Wavelength-division multiplexing*), a definição do caminho óptico passa pela escolha de uma rota apropriada e alocação de um comprimento de onda ao longo do percurso. Esse processo é chamado de roteamento e alocação de comprimento de onda é conhecido como RWA (*Routing and Wavelength Assignment*). Já as redes ópticas WDM que não possuem a capacidade de regeneração ou conversão O-E-O, existe uma importante restrição denominada restrição de continuidade de comprimento de onda (WCC - *Wavelength Continuity Constraint*). Essa restrição impõe que o mesmo comprimento de onda deve ser usado em todos os enlaces ao longo do caminho óptico [3, 4].

Quando se trata das EONs, o caminho óptico é definido pela escolha de uma rota adequada e alocação de um número de slots de frequência contíguos e contínuos, sendo esse processo chamado de RSA (*Routing and Spectrum Assignment*). Um dos principais desafios no gerenciamento de espectro nas EONs (*Elastic Optical Network*) é a restrição de contiguidade e continuidade dos slots. Esta restrição define que os slots de frequência devem ser alocados de modo contíguo e os mesmos slots de frequência devem ser selecionados em cada enlace da rota destinada a atender a requisição de conexão [5].

Essa limitação é semelhante à da continuidade de comprimento de onda nas redes ópticas WDM, porém com o agravante de existirem possíveis requisições com diferentes larguras de banda [6]. Caso seja possível escolher um

dentre os diferentes formatos de modulação para cada requisição de conexão, então o processo de RSA é tratado com mais uma complexidade, sendo chamado de roteamento por alocação de formato de modulação e espectro (RMLSA - *Routing, Modulation level and Spectrum Assignment*) [7].

## 2.1 Descrição do Algoritmo de Roteamento Proposto

O algoritmo nebuloso funciona selecionando a rota que possua o menor custo total dentre o universo das  $k$  rotas obtidas através do algoritmo de Yen. Assim, quando ocorre uma requisição na rede o algoritmo de Yen seleciona as  $k$  menores rotas baseado em distância física entre o par origem e destino da requisição e essas passam a ser analisadas pelo algoritmo nebuloso, sendo ao final da análise atribuído um custo a cada uma dessas rotas baseadas em um sistema *fuzzy*. A definição matemática de cada uma dessas variáveis que compõem o algoritmo nebuloso será apresentada a seguir.

### 2.1.1 Ocupação dos Slots Contíguos da Rota

A variável de entrada “Ocupação de Slots Contíguos da Rota” representa a razão entre os slots contíguos ocupados no vetor resultante da rota e o total de slots que fazem parte do vetor resultante.

É definida a variável  $C_{OSCR}$  como o Custo da Ocupação de Slots Contíguos na Rota.

É considerado que todos os enlaces da rede possuem o mesmo número de slots de frequência e que não há roteamento das posições de slots de frequência nos enlaces ao longo da rota.

Assim, tem-se a definição matemática do  $C_{OSCR}$ , conforme apresentado na Equação (1), em que as variáveis  $\lambda_o$  e  $\lambda_t$  representam respectivamente no número de slots contíguos ocupados na rota e o número total de slots existentes na rota.

$$C_{OSCR} = \frac{\lambda_o}{\lambda_t} \quad (\text{Eq.1})$$

Na Figura 2 é ilustrado um exemplo de uma rede com 5 nós e 6 enlaces. Adota-se aqui a nível de exemplo que cada enlace da rede existam 10 slots de frequência e que uma requisição de conexão entre os nós 1 e 5 é avaliada pela rota 1-2-4-5.

Na Figura 3 é ilustrada a ocupação de cada enlace e é apresentado o vetor resultante da rota a direita da imagem, considerando o aspecto da contiguidade do espectro ao longo da rota.

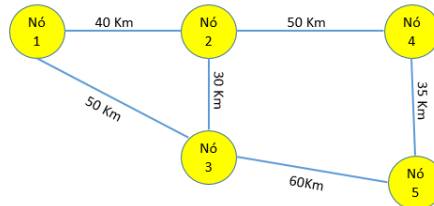


Figura 2: Representação de uma rede com 5 Nós e 6 enlaces.



Figura 3: Exemplo de restrição de continuidade no espectro.

Observa-se na Figura 3 que o vetor ocupação da rota considera a ocupação das posições dos *slots* em cada enlace ao longo da rota através da união dessas posições. Se houver em algum dos enlaces ao longo da rota a ocupação de um *slot* de frequência, essa posição estará ocupada no vetor ocupação da rota.

A função  $C_{OSCR}$  para o exemplo dado, considerando a ocupação dos enlaces que fazem parte da rota entre os nós (1-2-4-5), ilustrado na Figura 3, é dado pela razão entre os  $\lambda_o$  e  $\lambda_t$  do vetor resultante, ilustrado na Figura 3. Desta forma, tem-se:

$$C_{OSCR} = \frac{7}{10} = 0,7$$

onde os valores de  $\lambda_o$  e  $\lambda_t$  valem 7 e 10, respectivamente. Desta forma, a variável  $C_{OSCR}$  assume o valor de 0,7 para a rota entre os nós (1-2-4-5).

### 2.1.2 Ocupação Média dos Slots da Rota

A variável de entrada designada de “Ocupação Média de Slots da Rota”, representa a razão entre os slots ocupados e o total de slots que compõem a rota. É definida a variável  $C_{OMSR}$  como o Custo da Ocupação Média dos Slots na Rota. Assim, tem-se a definição matemática do  $C_{OMSR}$ , conforme apresentado na Equação (2), onde  $N$  representa o número de enlaces que compõe a rota.

$$C_{OMSR} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\lambda_{\text{max}}}}{N} \quad (\text{Eq. 2})$$

Considerando a rede da Figura 2 e a rota estabelecida na Figura 3, a variável  $C_{OMSR}$  assume o seguinte valor:

$$C_{OMSR} = \frac{\frac{4}{10} + \frac{5}{10} + \frac{1}{10}}{3} = 0,333$$

### 2.1.3 Distância Normalizada da Rota

Por fim, é definida a variável de entrada designada de “Distância Normalizada da Rota”. Esta variável representa a razão entre a distância física de cada uma das  $k$  rotas selecionadas pelo algoritmo de Yen pela rota de maior distância dentre as  $k$  rotas selecionadas pelo algoritmo de Yen.

É definida a variável  $C_{DNR}$ , como Custo da Distância Normalizada da Rota, cuja definição matemática é apresentada a seguir, onde as variáveis  $d_{i,j}$  e  $d_{\text{max}}$  representam, respectivamente, a distância entre as ligações dos nós  $i$  e  $j$  de cada uma das  $k$  rotas selecionadas pelo algoritmo de Yen e a maior distância da rota em comprimento selecionada também pelo algoritmo de Yen no universo das  $k$  rotas encontradas. Assim, tem-se a definição matemática do  $C_{DNR}$ , conforme apresentado na equação (3).

$$C_{DNR} = \frac{d_{i,j}}{d_{\text{max}}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Desta forma, caso o vetor de seleção de rotas baseado em distância que retornasse do algoritmo de Yen para as 5 menores rotas de um dado par de conexão fosse {20; 40; 60; 80; 100}, o vetor de custo da distância normalizada para cada uma das rotas desse par de conexão seria {0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1}.

Nesta artigo, foi utilizada a comparação para o algoritmo de Yen para através do cálculo para as ( $k=1$ ,  $k=2$ ,  $k=3$ ,  $k=5$ ,  $k=7$  e  $k=10$ ) rotas para cada uma das topologias apresentadas apresentadas a seguir em cada par de conexão. Assim, rotas que possuam grande comprimento físico não estão sendo considerados no algoritmo. Vale ressaltar que a valoração da variável  $C_{DNR}$ , leva em conta apenas o universo das rotas selecionadas pelo algoritmo de Yen, evitando distorções significativas em seu valor e na sua classificação como um rota pequena, média ou grande.

### 2.1.4 Custo Total da Rota

As variáveis  $C_{OSCR}$ ,  $C_{OMSR}$  e  $C_{DNR}$  são utilizadas para obtenção da função de saída definida como  $C_{TR}$ , ou seja, “Custo Total da Rota”, e é obtida a partir da combinação linear das variáveis de entrada e representada matematicamente pela Equação (4):

$$C_{TR} = \alpha.C_{OSCR} + \beta.C_{OMSR} + \gamma.C_{DNR} \quad (\text{Eq. 4})$$

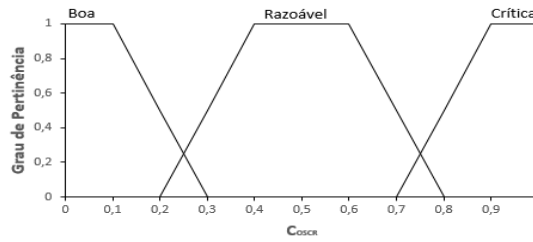
em que a ponderação através dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  serão obtidos através da combinação das regras de saída do sistema *fuzzy* proposto neste trabalho inspirados no processo defuzzificação na técnica Takagi-Sugeno.

### 2.1.5 Fuzzificação do Sistema

Nesta artigo foi implementado um modelo inspirado no modelo de Takagi-Sugeno, onde o valor das métricas podem assumir valores de pertinência dentro do estado no qual está classificada. O resultado do processamento de cada regra é um número que depende diretamente dos valores das pertinências das variáveis que compõem o sistema.

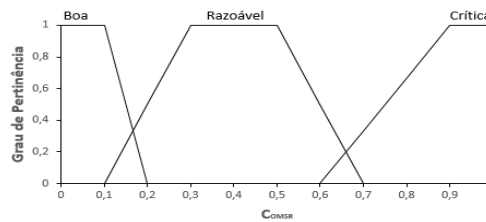
A Figura 2 apresenta a métrica “Custo Ocupação dos Slots Contíguos na Rota”. O valor desta métrica pode assumir valores entre [0,1], já que a função foi normalizada conforme apresentado na Equação (1). A métrica  $C_{OSCR}$  pode

assumir as variáveis linguísticas “Boa”, “Razoável” e/ou “Crítica” a depender do seu valor numérico conforme apresentado na Figura 2.



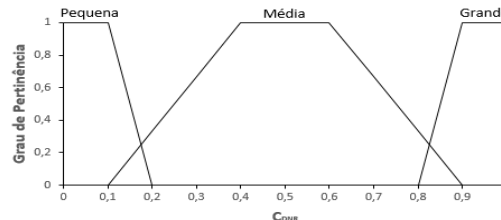
**Figura 2: Função de Pertinência para a métrica “Ocupação dos Slots Contíguos na Rota”.**

A Figura 3 apresenta a métrica “Custo da Ocupação Média de Slots na Rota”. O valor desta métrica pode assumir valores entre [0,1], já que a função foi normalizada conforme apresentado na Equação (4.2). A métrica  $C_{OMSR}$  pode assumir as variáveis linguísticas “Boa”, “Razoável” e/ou “Crítica” a depender do seu valor numérico conforme apresentado na Figura 3.



**Figura 3: Função de Pertinência para a métrica “Custo Ocupação Média de Slots na Rota”.**

A Figura 4 apresenta a métrica “Custo da Distância Normalizada na Rota”. O valor desta métrica pode assumir valores entre [0,1], já que a função foi normalizada conforme apresentado na Equação (4.3). A métrica  $C_{DNR}$  pode assumir as variáveis linguísticas “Pequena”, “Média” e/ou “Grande” a depender do seu valor numérico conforme apresentado na Figura 4.



**Figura 4: Função de Pertinência para a métrica “Distância Normalizada na Rota”.**

#### 2.1.6 Regras do Sistema Fuzzy proposto

Na função CTR os coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , estão associados respectivamente às variáveis COSCR, COMSR e CDNR.

Desta forma, a melhor rota será aquela em que as variáveis COSCR, COMSR e CDNR assumirem o menor valor possível. A ponderação dos coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  na função CTR será obtida através do modelo inspirado no método de defuzzificação de Takagi-Sugeno utilizando-se as saídas das regras apresentadas abaixo, numericamente expressas pela variável  $Y_k$ . Assim, são adotadas as seguintes regras para a tomada de decisão do algoritmo nebuloso, cuja lógica de definição de sua construção é apresentada na sequência:

- Regra 1: Se COSCR  $\in$  Crítica, então  $Y_1 = 2 - OSCRRazoável$
- Regra 2: Se COSCR  $\in$  Razoável, então  $Y_2 = 1 + OSCRCrítica - OSCRBoa$
- Regra 3: Se COSCR  $\in$  Boa, então  $Y_3 = 0,5 + 2.OSCRRazoável$
- Regra 4: Se COMSR  $\in$  Boa e COSCR  $\in$  Crítica, então  $Y_4 = 2 - 0,5.OMSRBoa$
- Regra 5: Se COMSR  $\in$  Razoável e CDNR  $\in$  Grande, então  $Y_5 = 2 - DNRGrande$
- Regra 6: Se CDNR  $\in$  Razoável e COSCR  $\in$  Boa, então  $Y_6 = 2 - 0,5.DNRRazoável - OSCRBoa$
- Regra 7: Se CDNR  $\in$  Grande e COMSR  $\in$  Crítica, então  $Y_7 = 2 + 0,5.DNRGrande + 0,5.OSMRCrítica$

Assim, tem-se que:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^3 (w_i \cdot yk)}{\sum_{i=1}^3 w_i}$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=4}^5 (w_i \cdot yk)}{\sum_{i=4}^5 w_i}$$

$$\gamma = \frac{\sum_{i=6}^7 (w_i \cdot yk)}{\sum_{i=6}^7 w_i}$$

em que todos os  $w_i$  utilizados nas regras possuem ponderação unitária, ou seja, todos as regras têm o mesmo grau de influência no cálculo dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .

### 3.0 - PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

As topologias de rede utilizadas nas simulações nesta dissertação são apresentadas nas Figura 5, Figura 6 e Figura 7. O resumo das características dessas topologias de rede são apresentadas na Tabela 1.

Na topologia de rede 1 apresentada na Figura 5, a maioria dos nós tem uma conectividade menor comparada às outras redes apresentadas, devido ao grau médio da rede ser o menor. Assim, essa é uma rede menos resiliente em relação a quantidade de rotas alternativas disponíveis. Além disso, seus enlaces são maiores em termos de comprimento, fazendo com que a probabilidade de bloqueio devido as penalidades de camada física se acentuem nesse tipo de rede. Nas topologias de rede 2 e 3, apresentadas nas Figura 6 e Figura 7, respectivamente, a característica predominante é a melhor conectividade comparada a topologia 1, já que o grau médio dessas redes é superior a topologia de rede 1. Embora exista semelhança na métrica de grau médio da rede nas topologias 2 e 3, pode-se verificar que a distância média dos enlaces na topologia 3 é maior que a distância média dos enlaces na topologia 2 fazendo com que haja um equilíbrio entre o bloqueio por penalidades causadas na camada física e por falta de recursos [5]. A Tabela -2 apresenta os parâmetros de simulação utilizados no SIMTON.

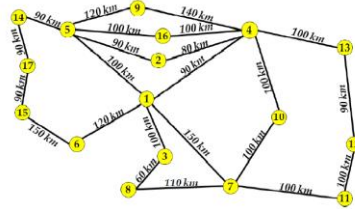


Figura 5: Topologia de Rede 1 - Pacific Bell [5].

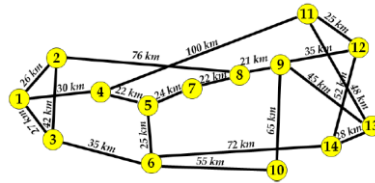


Figura 6: Topologia de Rede 2 - NSFNet [5].

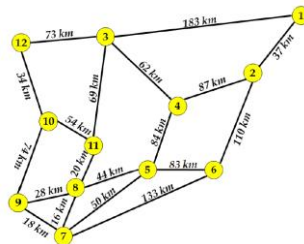


Figura 7: Topologia de Rede 3 – Finlândia [5].

**Tabela 1: Características principais das Topologias de Rede apresentadas.**

Característica	Topologia 1	Topologia 2	Topologia 3
Número de nós	17	14	12
Número de enlaces	23	21	19
Min grau de nó	2	2	2
Max grau de nó	6	4	4
Grau médio	2,71	3	3,17
Min distância do enlace (km)	60	21	18
Max distância do enlace (km)	150	100	183
Distância média do enlace (km)	103,04	46,66	68,89

**Tabela 2: Parâmetros da simulação usados nos algoritmos de RMLSA em EONs.**

Parâmetro	Valor	Definição
$P_{sat}$	26 dBm	Potência de saturação do amplificador
$P_{laser}$	0 dBm	Potência de transmissão de saída
$OSNR_{in}$	40 dB	OSNR de entrada
S	320	Número de slots de frequência
f	12,5 GHz	Espaçamento do slot de frequência
$\alpha$	0,2 dB/km	Coefficiente de perda da fibra
$L_{Mux}$	3 dB	Perda do multiplexador
$L_{Demux}$	3 dB	Perda do demultiplexador
$L_{Switch}$	10 dB	Perda do comutador óptico
NF	5,5 dB	Figura de ruído do amplificador

#### 4.0 - RESULTADOS

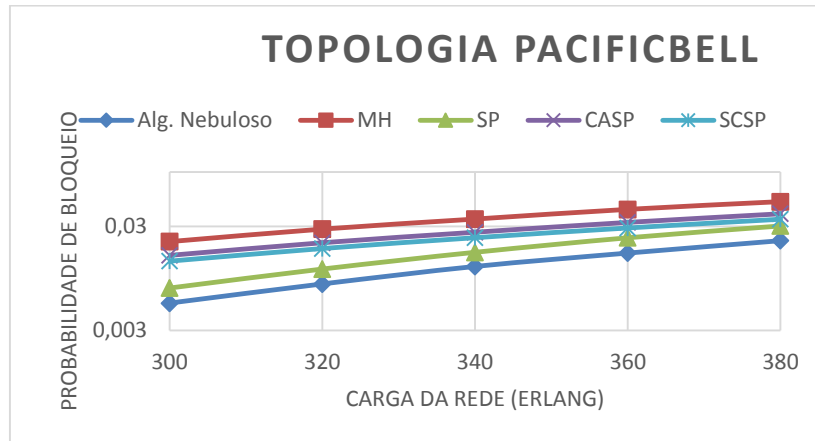
Nesta seção, são apresentados os resultados da probabilidade de bloqueio e da vazão da rede para os algoritmos SP, MH, CASP, SCSP e algoritmo nebuloso, usando o algoritmo FF como política de alocação de espectro.

A Figura 8, Figura 9 e Figura 10 apresentam a probabilidade de bloqueio em função da carga da rede para os algoritmos de roteamento SP, MH, CASP, SCSP e Algoritmo Nebuloso nas três topologias de rede apresentadas na Figura 5, Figura 6 e Figura 7.

Nas Figura 8, Figura 9 e Figura 10, cada símbolo representa a probabilidade de bloqueio média de um conjunto de 30 simulações independentes, sendo a margem de erro para um intervalo de confiança de 95% nos resultados de cada ponto.

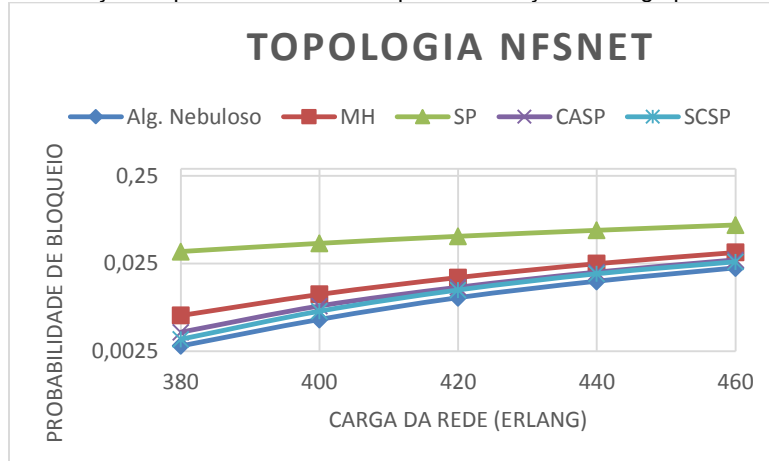
Foi verificado após as simulações no SIMTON que para todos os pontos o algoritmo nebuloso obteve um melhor resultado em probabilidade de bloqueio.

A Figura 8 ilustra os traços da probabilidade de bloqueio em função da carga para a topologia Pacific Bell.



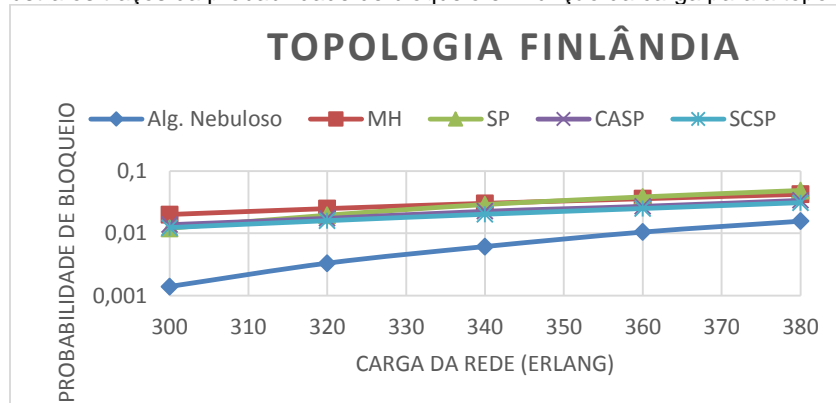
**Figura 8: Probabilidade de bloqueio média em função da carga para os algoritmos SP, MH, CASP, SCSP e Alg. Nebuloso na topologia Pacific Bell.**

A Figura 9 ilustra os traços da probabilidade de bloqueio em função da carga para a topologia NFSNet.



**Figura 9: Probabilidade de bloqueio média em função da carga para os algoritmos SP, MH, CASP, SCSP e Alg. Nebuloso na topologia NFSNet.**

A Figura 10 ilustra os traços da probabilidade de bloqueio em função da carga para a topologia Finlândia.

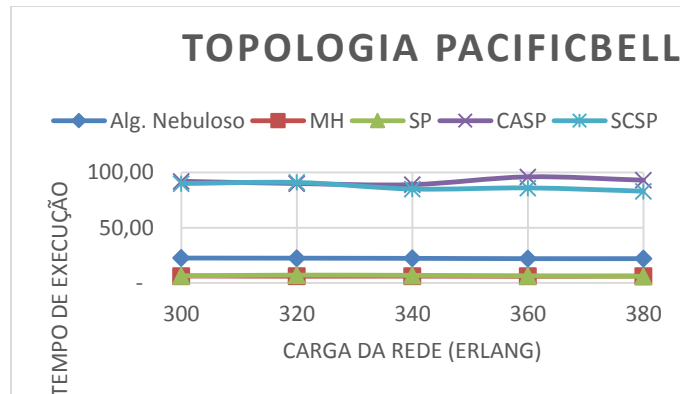


**Figura 10: Probabilidade de bloqueio média em função da carga para os algoritmos SP, MH, CASP, SCSP e Alg. Nebuloso na topologia Finlândia.**



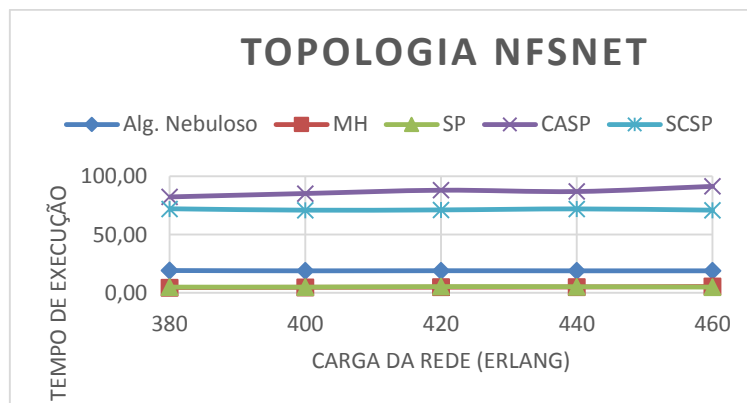
A Figura 11, Figura 12 e Figura 13 apresenta o tempo de execução em função da carga da rede para os algoritmos de roteamento SP, MH, CASP, SCSP e algoritmo nebuloso nas três topologias de rede apresentadas na Figura 5, Figura 6 e Figura 7. Verifica-se que nas três topologias o tempo de execução do algoritmo nebuloso é o terceiro melhor, estando atrás dos algoritmos SP e MH que possuem baixa complexidade computacional e tendo um melhor desempenho que os algoritmos CASP e SCSP para todas as topologias.

A Figura 11 ilustra os traços do tempo de execução dos algoritmos para  $10^5$  chamadas em função da carga para a topologia Pacific Bell.



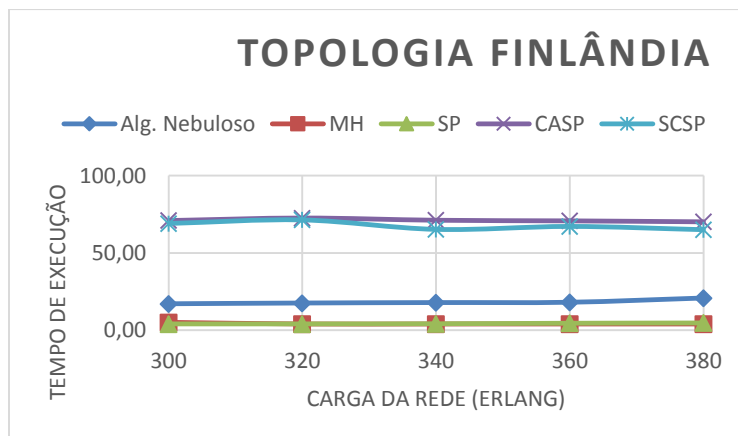
**Figura 11: Tempo de execução em função da carga para os algoritmos SP, MH, CASP, SCSP e Alg. Nebuloso na topologia Pacific Bell**

A Figura 12 ilustra os traços do tempo de execução dos algoritmos para  $10^5$  chamadas em função da carga para a topologia NSFNet.



**Figura 12: Tempo de execução em função da carga para os algoritmos SP, MH, CASP, SCSP e Alg. Nebuloso na topologia NSFNet.**

A Figura 13 ilustra os traços do tempo de execução dos algoritmos para  $10^5$  chamadas em função da carga para a topologia Finlândia.



**Figura 13: Tempo de execução em função da carga para os algoritmos SP, MH, CASP, SCSP e Alg. Nebuloso na topologia Finlândia.**

## 5.0 - CONCLUSÃO

As características topológicas são próprias de cada tipo de rede e podem afetar o desempenho dos algoritmos de roteamento. O grau de nó da rede e a densidade de enlaces são métricas que podem levar a um melhor ou pior desempenho de um tipo de algoritmo numa rede particular. Essas características possuem influência na obtenção de rotas alternativas com disponibilidade/continuidade dos *slots* de frequência e OSNR aceitável. Outras características importantes da rede são o número de *slots* de frequência e os formatos de modulação adotados para maximizar a eficiência espectral na rede, permitindo que as rotas mais curtas da rede suportem um maior número de conexões ativas na rede.

A proposta do desenvolvimento de um algoritmo baseado em lógica nebulosa para realização de roteamento em redes ópticas elásticas mostrou-se promissor para a diminuição da probabilidade de bloqueio e aumento da vazão na rede. Um estudo mais aprofundado na definição das regras e limites das funções de pertinência deve ser realizado para aumentar o controle na função custo total da rota. Também é necessário a realização de um estudo que relacione as características das topologias de cada tipo de rede com as funções de pertinências propostas para o algoritmo.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) "Cisco prevê triplicação do tráfego IP entre 2014 e 2019." Disponível em: <[http://www.cisco.com/c/pt\\_pt/about/press/news-archive-2015/20150527.html](http://www.cisco.com/c/pt_pt/about/press/news-archive-2015/20150527.html)>, Maio de 2015. Acesso em: 27 de fevereiro de 2017.
- (2) SILVA, A.C.O. "Classificador de Tráfego e Seleccionador de Paradigmas de Comutação para Redes Ópticas Híbridas" Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Julho de 2014.
- (3) ZANG, H; JUE, J. P; MUKHERJEE, B; et al. "A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM networks," Optical Networks Magazine, vol. 1, no. 1, pp. 47–60, 2000.
- (4) YUAN, S. and JUE, J. "Dynamic lightpath protection in WDM mesh networks under wavelength continuity constraint," Global Telecommunications Conference, 2004. IEEE, vol. 3, Vol.3, Nov 2004.
- (5) XAVIER, A. V. S. Roteamento e proteção dedicada em redes ópticas usando inteligência computacional. "Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade de Pernambuco, Julho de 2016".
- (6) TALEBI, S. S. et al. Spectrum management techniques for elastic optical networks: A survey. Optical Switching and Networking, v. 13, p. 34 – 48, 2014. ISSN 1573-4277. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573427714000253>>.
- (7) LU, W; ZHU, Z. Dynamic service provisioning of advance reservation requests in elastic optical networks. Lightwave Technology, Journal of, v. 31, n. 10, p. 1621\_1627, Maio 2013. ISSN 0733-8724.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Ewerton de Oliveira Figueirôa, Caruaruense, nascido em 04/09/1990, Engenheiro de Telecomunicações formado pela Universidade de Pernambuco em 2013. Pós-graduado em Gestão de Projetos pela Universidade de Católica de Pernambuco em 2015. Mestre em Engenharia de Sistemas com ênfase em Redes Ópticas pela Universidade de Pernambuco. Trabalhou na empresa OI nos anos de 2011 e 2012, alocado ao plano Ultra Banda Larga. Atuou como Engenheiro de Telecomunicações na Netcon Ltda nos anos de 2013 e 2014. Exerceu o cargo de Coordenador de Projetos na mesma empresa. Atualmente atua como Gerente de Projetos de Engenharia. Gerencia a elaboração de projetos de transmissão óptica, WDM, SDH, PDH, Cabeamento Estruturado, OPLAT e CFTV para diversos empreendimentos de empresas de energia elétrica dentre estas Furnas, Chesf, Eletronorte, Elecnor e State Grid. Atuou no projeto de telecomunicações das subestações construídas para realização da transposição do Rio São Francisco. Prestou serviços na Refinaria Abreu e Lima da Petrobrás para os consórcios Alusa, Camargo Correa e Conest, referente aos sistemas de automação. Tem experiência na fiscalização e acompanhamento de obras para implantação e testes de cabos ópticos OPGW.