



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GTL/18
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – XV

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

BENEFÍCIOS DA OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA ESPECTRAL COM A UTILIZAÇÃO DE REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS.

Ewerton de Oliveira Figueirôa(*)
NETCON LTDA

Eduardo Vasconcelos Lopes
NETCON LTDA

Eduardo Camargo Langrafe
NETCON LTDA

RESUMO

Nos últimos anos, as redes ópticas foram impulsionadas pelo rápido crescimento da Internet e de aplicações em tempo real, como os sistemas de segurança eletrônica, que demandam altas taxas de transmissão de dados. A tecnologia óptica passou por mudanças significativas quanto às formas de transmissão, desenvolvimento de ativos, multiplexação, modulação e codificação de sinais nos ativos de rede.

Baseado na técnica de OFDM - *Orthogonal frequency-division multiplexing*, as redes ópticas elásticas objetivam fornecer um melhor aproveitamento dos recursos da rede através de flexibilidade e escalabilidade na atribuição de espectro óptico no canal de transmissão, através do roteamento de comprimento de onda em grades variáveis.

PALAVRAS-CHAVE

Rede Óptica Elástica, OFDM, Modulação, Fibra óptica, Espectro.

1.0 - INTRODUÇÃO

O aumento exponencial no tráfego de dados nos últimos anos tem origem em diversos fatores, como: expansão das redes Wi-Fi - *Wireless Fidelity* e LTE - *Long Term Evolution*, crescimento no número de aplicações de vídeo em tempo real e em HD - *High Definition*, além da difusão dos equipamentos de informática com acesso a Internet e de sistemas de segurança eletrônica. Nesse contexto, estima-se que em 2016 haverá um tráfego de aproximadamente 1,3 zettabytes na rede IP.

Dado esse cenário, as redes ópticas do futuro necessitarão de sistemas de transmissão com maior capacidade, provavelmente em Tbps, substituindo os atuais backbones que operam na tecnologia de Multiplexação pela divisão do comprimento de onda (WDM - *Wavelength-division multiplexing*). Com isso, diversas tecnologias como a multiplexação pela divisão ortogonal de frequência (OFDM - *Orthogonal frequency-division multiplexing*), tem se mostrado promissora para o desenvolvimento de redes flexíveis, eficientes e redimensionáveis.

Atualmente, as redes ópticas elásticas são objeto de bastantes pesquisas, por possuírem a capacidade de transmitir dados a diferentes taxas, aumentando ou diminuindo o espectro óptico de acordo com a demanda necessária. Desta forma, o desenvolvimento de redes ópticas elásticas é essencial para o aumento das taxas de transmissão exigida pela forte demanda do tráfego na rede IP.

Atualmente, a tecnologia WDM é a forma utilizada para suportar a crescente demanda de tráfego. Nessas redes, o tráfego utiliza a multiplexação por divisão de comprimento de onda, em que a largura de banda de uma fibra é dividida em diferentes raias espectrais com espaçamentos uniformes, chamadas de comprimentos de onda.

Através do WDM, diversas rotas ópticas em diferentes comprimentos de onda podem ser implementadas simultaneamente em uma mesma fibra óptica, possibilitando o compartilhamento de canais na fibra e um uso mais eficiente da largura de banda.

Com o objetivo de aumentar a eficiência espectral e superar as taxas transmitidas com a tecnologia WDM na alocação da banda, existe grande interesse no desenvolvimento de uma arquitetura de rede sem a grade fixa de comprimentos de onda, comumente chamada de *gridless*. Agora, o objetivo é o desenvolvimento de caminhos ópticos flexíveis, eficientes e redimensionáveis, ou seja, o espectro possa expandir-se e contrair-se livremente de acordo com a demanda de tráfego e as solicitações da camada de rede superior.

Neste novo tipo de arquitetura, a largura de banda dos caminhos ópticos não se restringe aos espaçamentos rígidos das redes tradicionais, mas pode assumir diferentes valores (*gridless*) e variar de acordo com a demanda para melhor se adaptar à intensidade e dinamicidade do tráfego demandado na rede.

Basicamente, o caminho óptico pode ser alocado em qualquer intervalo contínuo de frequência e deve ser separado de outros caminhos ópticos por uma banda de guarda, denominada de (FGB - *Filter Guard Band*). Comutadores de comprimentos de onda seletivos (WSS - *Wavelength-Selective Switches*) e filtros ópticos de largura de banda variável são utilizados para a comutação e a filtragem das larguras de banda flexíveis. Nos transceptores, o sistema de transmissão OFDM permite que os dados sejam enviados em subportadoras ortogonais e que não exista interferência nesses sinais.

Este artigo tem como objetivo apresentar a evolução no conceito de transmissão e tipos de modulação em redes ópticas, as vantagens obtidas com a utilização de redes ópticas elásticas quanto às taxas de transmissão, agregação de tráfego, eficiência energética e os principais tipos de algoritmos utilizados para a sua implementação.

2.0 - SISTEMAS DE TRANSMISSÃO ÓPTICO, MODULAÇÃO E MULTIPLEXAÇÃO DE SINAIS ÓPTICOS

Basicamente, a função de um canal de comunicações é transmitir o sinal de um transmissor para um receptor. Em um sistema de transmissão óptica, podemos representar a configuração através da Figura 1, onde os principais elementos de transmissão são os Lasers e LEDs e de recepção é o fotodetector. Toda a informação é transmitida através de um enlace óptico.

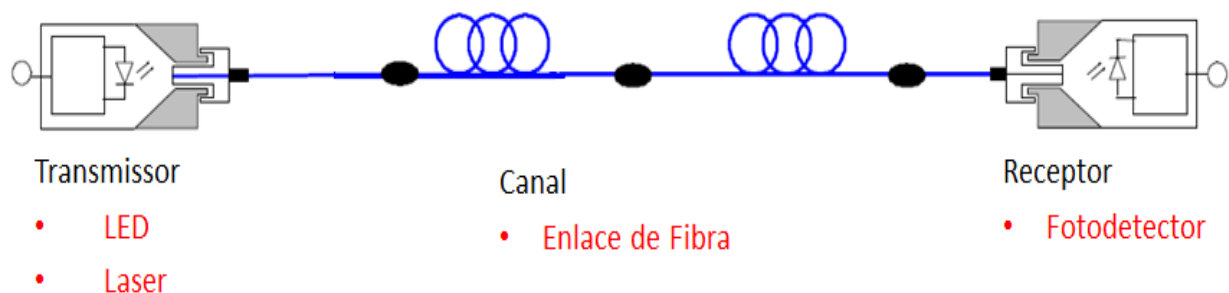


FIGURA 1 – Representação básica de um Sistema Óptico de Transmissão.

Pode-se definir modulação como a técnica onde as características da portadora são modificadas com a finalidade de transmitir as informações, sendo feitas as alterações combinadas de frequência, amplitude ou fase, por exemplo. Geralmente a modulação é realizada no transmissor. A onda portadora modulada se propaga por um canal de comunicações realizando todo o transporte de informação. Pode-se concluir que a modulação é a alteração sistemática de uma onda portadora de acordo com o sinal modulante. Técnicas de codificação podem ser combinadas as técnicas de modulação afim de se efficientizar o transporte da informação utilizando menos recursos da rede.

De forma geral, pode-se considerar que a fibra óptica tem uma capacidade ilimitada de transmissão de sinais, sendo os equipamentos eletrônicos e as técnicas de multiplexação e modulação os principais limitadores para um aumento significativo nas taxas de transmissão. Evidentemente que na última décadas a tecnologia evoluiu substancialmente, porém a necessidade cada vez maior de banda exige que novas técnicas de otimização de sejam impostas aos novos sistemas ópticos. Neste contexto, destaca-se a técnica de Multiplexação por Divisão Ortogonal de Frequência (OFDM - *Orthogonal frequency-division multiplexing*), onde através do princípio da ortogonalidade, diversos sinais são multiplexados em frequências diferentes e enviados no mesmo canal.

Modular um sinal pode trazer diversos benefícios, como exemplo: facilidade de irradiação, multiplexação dos dados, superar as limitações do equipamento, dentre outras especificidades. Em particular a técnica OFDM oferece como benefícios a minimização de interferências em canais adjacentes devido a ortogonalidade na modulação, implantação de um maior número de canais utilizando a mesma largura de banda, eliminação da banda de guarda e consequentemente a otimização da eficiência do espectro.

Na Figura – 2 (a) é apresentada a forma de multiplexação FDM em comparação a técnica de multiplexação OFDM apresentada na Figura – 2 (b). Pode-se observar uma considerável economia na largura de banda do canal devido a utilização de uma "compressão" nas subportadoras e a eliminação da banda de guarda entre os canais quando da utilização da técnica OFDM.

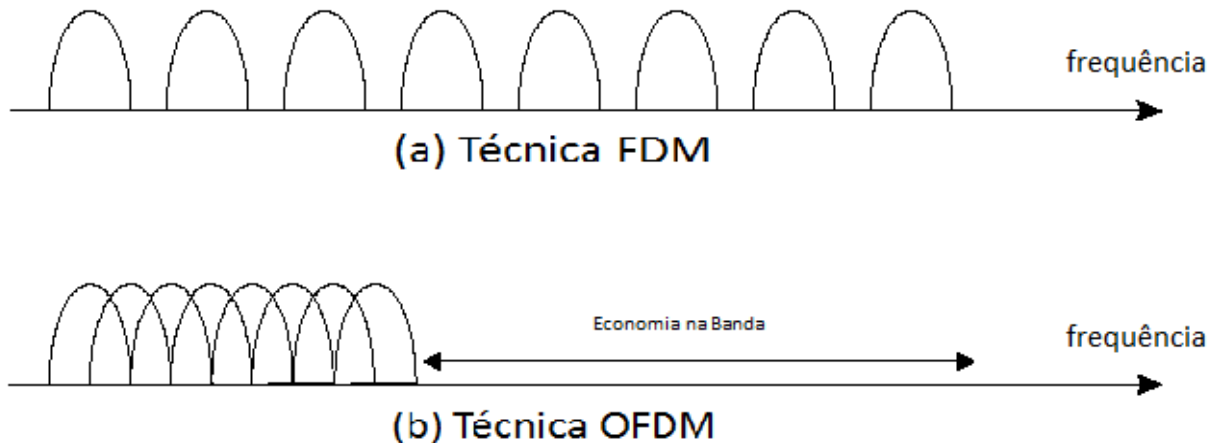


Figura 2 - (a) Técnica FDM; (b) Técnica OFDM

A técnica OFDM pode ser obtida através do uso da ferramenta matemática da transformada discreta de Fourier (DFT). Medindo-se a intensidade de cada sub-portadora no seu máximo, obtém-se uma intensidade nula das outras sub-portadoras. Na Figura 2 (b) é observado que que nos pontos de máximo de uma dada frequência, existe um ponto de mínimo das frequências adjacentes, ou seja, não existe interferências no canal adjacente para qualquer frequência do espectro.

2.1 Entendendo as Redes Ópticas WDM e as Redes Ópticas Elásticas

Nas redes ópticas tradicionais (WDM), o tráfego de dados é roteado no domínio óptico, utilizando a técnica de multiplexação por divisão em comprimento de onda, em que a largura de banda da fibra óptica é dividida em diferentes raios espectrais com espaçamentos uniformes. Nesta técnica de multiplexação, os usuários da rede compartilham a mesma fibra e seus dados são transmitidos por comprimentos de onda distintos. Atualmente, a maioria das operadoras de telecomunicações utilizam essa técnica de multiplexação em seus backbones ópticos. A Figura-3 apresenta uma multiplexação por divisão de onda para 4 canais.

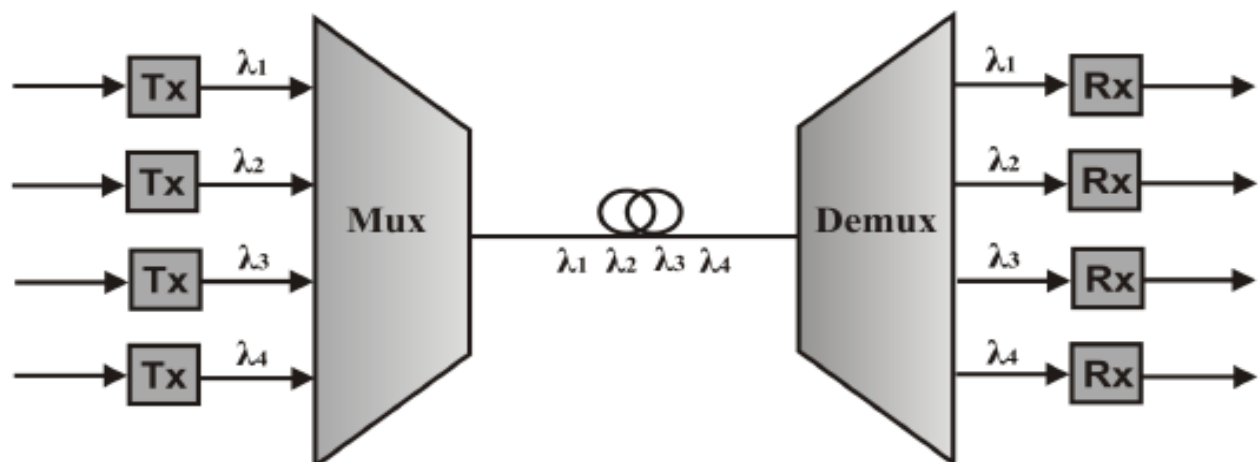


Figura 3 – WDM para utilização de 4 canais.

Na técnica WDM, divide-se o espectro de frequência da janela transmissão óptica em diversos comprimentos de onda que podem ser alocados para transmitir informação.

A Figura 4 mostra as diferenças existentes entre redes de grade fixa (WDM) e redes elásticas com grade variável (*gridless*). Na grade fixa, a frequência de espectro utilizada é única independentemente da demanda requisitada pela rede. Na grade flexível essa frequência é adaptável de acordo com a demanda requisitada. Além disso, técnicas de segmentação e agregação de tráfego podem ser utilizadas para a transmissão de dados nestes tipos de rede. Se um dado canal tiver capacidade de transmissão de 300 Gigabytes por segundo e transmitir apenas 100 Gigabytes por segundo, seu espectro será ajustado em referência a taxa de transmissão que está sendo demandada e como consequência o seu espectro de transmissão será ajustado para a taxa demandada. Desta forma, outros canais de comunicação que originalmente estavam excluídos do espectro de transmissão, poderão ser adicionados na fibra e transmitidos na rede, aumentando-se a taxa de transmissão para uma mesma largura espectral.

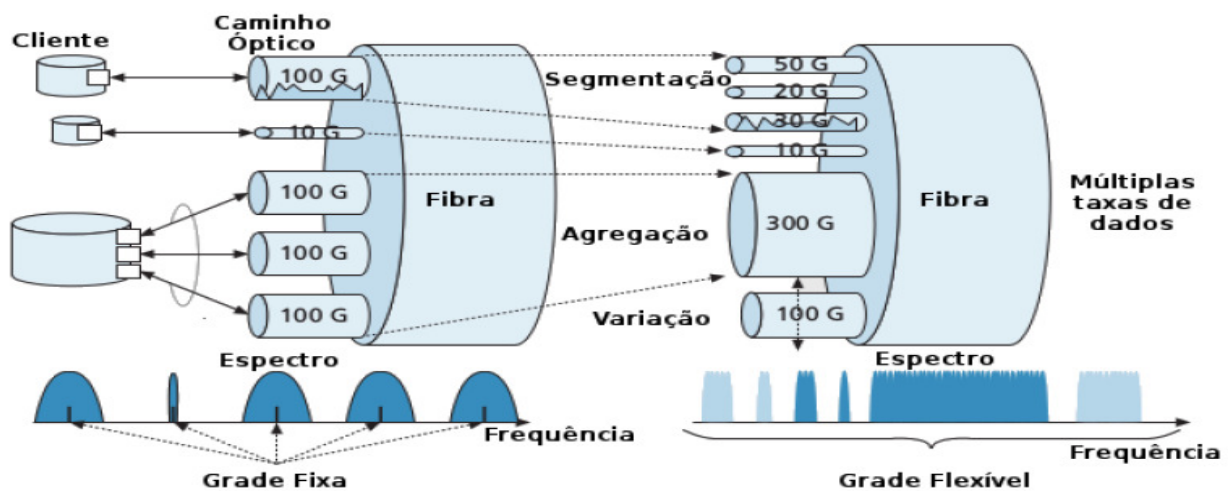


Figura 4 – Comparativo entre Redes Ópticas de Grade Fixa e de Grade Variável.

2.2 Arquitetura de Rede Óptica Elástica.

As redes ópticas elásticas, utilizam de comutadores de comprimento de onda (WXC's - *Wavelength Cross Connect*), que servem para rotear o tráfego de dados na rede. Os WXC's possuem atribuições de verdadeiros roteadores e distribuem para determinados destinatários os comprimentos de onda nos quais o tráfego deve prosseguir na rede. Os transponders de banda variável (BVTs) utilizam a técnica OFDM e podem transportar espectros variáveis na rede para serem roteados pelos WXC's. A Figura – 5 mostra a arquitetura das Redes Elásticas.

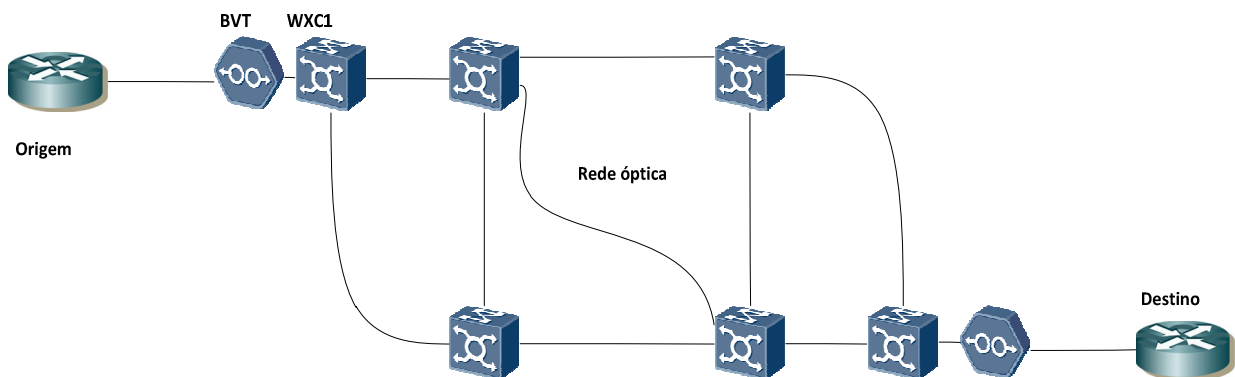


Figura 5 – Arquitetura de Rede Elástica com BVTs e WXC's.

2.3 Utilização dos algoritmos RWA e RSA em redes ópticas

Em uma rede com vários roteadores, faz-se necessária a obtenção de uma técnica que aloque as requisições de conexão com o meio no qual o comprimento de onda solicitado será roteado. Surge então o problema de rotear e alocar comprimentos de onda disponíveis para cada conexão, comumente tratado como atribuição de comprimentos de onda. O Algoritmo DE Roteamento de Comprimento de Onda (RWA - *Routing and Wavelength Assignment*) é bastante utilizado neste tipo de roteamento óptico.

Diferentemente das redes tradicionais (ATM e IP) em que a informação é transmitida no domínio elétrico, nas redes ópticas além de se encontrar uma rota, faz-se necessário também definir o comprimento de onda para realizar a conexão. Atualmente, os sinais transportados numa rede de dados, são passados por repetidores quando é atingida uma distância na qual seja necessária a sua utilização, devido a degradação do sinal no meio físico de transmissão.

O problema RWA, típico de redes WDM, é redefinido para as redes ópticas elásticas como roteamento e alocação de espectro (RSA - *Routing and Spectrum Allocation*) e comumente é decomposto em dois subproblemas distintos: roteamento e alocação de espectro. Nos algoritmos RSA, a restrição de continuidade é no espectro óptico e não no comprimento de onda como nas redes WDM. Nas redes ópticas elásticas, o espectro é visto como um recurso contínuo de frequência, porém, por limitações tecnológicas, o espectro é discretizado em slots, ou seja, em pequenos intervalos de frequências. Cada conexão deve ser acomodada em um bloco contíguo de slots com largura total suficiente para garantir o fluxo de dados necessário a sua transmissão.

2.4 Sobrevivência em Redes Ópticas

As redes ópticas possuem uma grande largura de banda e transmitem sinais a elevadas taxas de transmissão. Devido a essas características, a disponibilidade dos links ópticos devem tender ao máximo na escala em que for medida. Caso ocorra uma indisponibilidade de frações de segundos, uma infinidade de informação é perdida na rede devido as elevadas taxas, por isso, as redes ópticas também são classificadas como sistemas críticos.

Devido a criticidade dos sistemas ópticos, mecanismos de sobrevivência devem ser elaborados para se recuperar a comunicação e estabelecer uma rota alternativa em caso de indisponibilidade do meio. A sobrevivência de rede ópticas trata da estratégia para manter a rede operando e sem perdas de comunicação após uma falha em enlaces de comunicação. Dentre os benefícios da adoção de mecanismos de sobrevivência, pode-se destacar:

- Pouco *hardware* e portas adicionais;
- Diminuição do tempo de recuperação;
- Redução de comunicação de sinalização;
- Possibilidade do uso do canal de supervisão óptico;

Os dois principais mecanismos de sobrevivências em redes ópticas são:

1. Proteção;
2. Restauração;

Na proteção, cada caminho só é estabelecido na rede se for possível encontrar uma rota de proteção, ou seja, existe uma rota de principal de trabalho operando e uma rota ociosa reservada. A rota reservada deverá ser utilizadas em caso de falha na rota principal. Esse mecanismo de sobrevivência, permite que os caminhos sejam protegidos de falhas e promovem a rapidez no restabelecimento da comunicação.

Já na restauração, nenhuma rota de reserva de *backup* é planejada. Caso ocorra uma falha, o gerenciamento da rede é notificado e tenta encontrar uma nova rota para os fluxos de comunicação que estavam trafegando pelo ponto de falha. Nesse tipo de mecanismo de sobrevivência, não há garantias de restauração de serviços e o tempo de reestabelecimento da comunicação geralmente é maior quando comparado aos mecanismos de proteção.

3.0 - CONCLUSÃO

As aplicações convergentes promoveram um aumento na demanda de tráfego na Internet e por consequência passaram a exigir um melhor desempenho das tecnologias de transmissão em fibra óptica. A tecnologias de redes tradicionais (WDM) são consideradas rígidas e serão ineficientes para essas novas demandas, pois tem como princípio taxas de transmissão fixas, gerando uma eficiência limitada para os recursos da rede. O conceito de redes ópticas elásticas está sendo desenvolvido para prover taxas de transmissão flexíveis que se adaptam às demandas heterogêneas do tráfego de rede de dados atual.

Este trabalho apresentou as principais características das redes ópticas elásticas e a necessidade de sua implantação a médio prazo. Além disso, verifica-se a necessidade de estudos de técnicas de modulação, multiplexação e codificações que promovam uma melhor ocupação do espectro óptico para a transmissão de informações. Foi apresentado os problemas a serem resolvidos com os algoritmos RWA para redes WDM e RSA para rede ópticas elásticas e os benefícios com as suas aplicações. O desenvolvimento de *hardwares* WXC e BVT são fundamentais para a aplicação de redes ópticas elásticas. A construção desse *hardwares* a nível de implantação comercial e a redução do número de amplificadores de rede, poderão promover economia considerável da energia elétrica dos ativos de rede e coadunar com as necessidades de uso eficiente de energia elétrica em promoção a um planeta mais sustentável. A redução no consumo energético é obtido das economia nas subportadoras, realizados pelos equipamentos BVT, desligando as subportadoras que não estão em uso, ajustando a potência dos amplificadores ópticos diminuindo a grade de transmissão para as solicitações demandadas quando não houver necessidade de consumir todo o espectro antes alocado ao canal.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CANDIA, Marcos Paulo Lobo. Heurística para Alocação de espectro em Redes Ópticas Elásticas baseadas em medidas de fragmentação. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada. INPE – São José dos Campos, 2014.
- (2) JINNO, M.; KOZICKI, B.; TAKARA, H.; WATANABLE, A.; SONE, Y.; TANAKA, T.; HIRANO, A. Distance-adaptive spectrum resource allocation in spectrum sliced elastic optical path network. *Communications Magazine, IEEE*, v. 48, p.138-145, 2010.
- (3) Jinno, M. et al., (2010) "Distance-Adaptive Spectrum Resource Allocation in Spectrum-Sliced Elastic Optical Path Network," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 48, Issue. 8, pp. 138-145.
- (4) Jinno, M H. Takara, B. Kozicki, Y. Tsukishima, Y. Sone, and S. Matsuoka, "Spectrum-efficient and scalable elastic optical path network: architecture, benefits, and enabling technologies," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 47, no. 11, pp. 66–73, November 2009.
- (5) Takara, H. et. al "Distance Adaptive Super-Wavelength Routing in Elastic Optical Path Network (SLICE) with Optica(2010)I OFDM. ECOC 2010. 19-23 September, Torino, Italy.
- (6) "Spectral Grids for WDM Applications: DWDM Frequency Grid," Recommendation G.694.1, International Telecommunication Union–Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), February 2012.
- (7) Pereira, Pedro M – Redes Ópticas Elásticas – Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Dezembro de 2013.
- (8) SILVA, Paulo C. B – Novos Algoritmos para Alocação Eficiente de Canais em Redes Ópticas Elásticas – Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica de Campinas – Fevereiro de 2014.
- (9) LINS JÚNIOR, Paulo R – Roteamento Adaptativo com Agregação de Tráfego em Redes Ópticas Dinâmicas – Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande – Junho de 2008.

5.0 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. Atualmente é Mestrando em Engenharia de Sistemas 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. e atualmente exerce o cargo de Coordenador de Projetos na mesma empresa. Coordena a elaboração de projetos de transmissão óptica, WDM, SDH, PDH, Cabeamento Estruturado, OPLAT e CFTV para diversos empreendimentos da área de energia de empresas de energia elétrica dentre estas Abengoa, Chesf, Eletronorte 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.



Eduardo Vasconcelos Lopes, Engenheiro Eletrônico, formado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em 1979. Obteve título de MSc em *Digital Signal Processing* pelo *Imperial College of Science, Technology and Medicine* da *University of London* em 1994. Durante sua vida profissional trabalhou na Siemens S.A., Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Themag Engenharia Ltda. e CHESF. Desde 1999 é Diretor da Netcon Ltda., onde desenvolve atividades de consultoria na área de telecomunicações para empresas com missão crítica.



Eduardo Camargo Langrafe, Engenheiro de Computação, formado pela Universidade Paulista em 1999. Trabalhou no desenvolvimento de negócios referentes à redes ópticas submarinas na NEC Corporation em Tóquio/Japão e em projetos de soluções de redes de dados e voz para operadoras de telecomunicações e empresas de energia, durante 9 anos na empresa NEC do Brasil. Juntou-se ao quadro de consultores da Netcon Ltda. em 2010 para desenvolvimento do Plano Diretor de Telecomunicações da Chesf. Atualmente, gerencia a unidade da empresa no Rio de Janeiro e é responsável pelo desenvolvimento de negócios de consultoria e implantação de sistemas para gestão de inventário de redes de telecomunicações. O engenheiro Eduardo possui renomadas certificações na área de telecomunicações e concluirá em 2015, o curso de MBA em Gestão Estratégica da Tecnologia da Informação na Fundação Getúlio Vargas.