

# Uma Análise de PMD em Redes OBS com Tecnologia Híbrida WDM/OCDM

Thais Mileni Fernandes, Luiz Henrique Bonani

**Resumo**—Este artigo apresenta um estudo através de simulação do comportamento de uma rede óptica OBS (*Optical Burst Switching*) com relação às restrições da Dispersão dos Modos de Polarização (PMD) em uma rede com tecnologia híbrida WDM/OCDM. A análise foi feita através da probabilidade de perda de rajadas e da dispersão média devido à PMD.

**Palavras-Chave**—PMD, WDM/OCDM.

**Abstract**—This paper presents a simulation study of Optical Burst Switching Networks using the hybrid WDM/OCDM technology under Polarization Mode Dispersion (PMD) restrictions. The analysis was carried on through the burst loss probability and average dispersion due to PMD.

**Keywords**—PMD, WDM/OCDM

## I. INTRODUÇÃO

O grande crescimento da internet nos últimos anos vem exigindo uma alta demanda de recursos para rede. Essa demanda tende a apresentar taxas cada vez maiores, o que impacta em restrições de camada física, como a Dispersão dos Modos de Polarização (PMD). Esses recursos devem ser constantemente melhorados e atualizados de forma a proporcionar uma melhor utilização da capacidade instalada e um serviço de melhor qualidade. Neste contexto surgiram as redes com tecnologia híbrida WDM/OCDM que têm permitido melhorar a capacidade e utilização das redes óticas, pois aumentam o número de canais disponíveis para os usuários finais [1].

Um dos principais problemas em se utilizar a tecnologia híbrida WDM/OCDM em redes OPS/OBS é que o número de códigos óticos é limitado a algumas restrições de camada física como a PMD, que depende da distância percorrida e da taxa de bits do usuário. A PMD causa alargamento de pulso e faz com que a Taxa de Erro de Bit (BER) aumente, devendo ser levada em conta para o projeto de toda a rede [2].

## II. DISPERSÃO DOS MODOS DE POLARIZAÇÃO E WDM/OCDM

No modelo ideal de fibras monomodo um sinal ótico se propagando na direção  $\hat{z}$  pode apresentar dois modos de polarização ortogonais  $\hat{x}$  e  $\hat{y}$ , de modo que toda a energia esteja confinada em apenas um dos modos, sendo o outro degenerado. No entanto, devido ao processo de fabricação, as fibras óticas reais não possuem seção transversal totalmente uniforme por todo o seu comprimento, ocasionando o efeito chamado de birrefringência, em que um pulso ótico excita os

Thais Mileni Fernandes e Luiz Henrique Bonani, Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, Brasil, E-mails: thais.mileni@aluno.ufabc.edu.br, luiz.bonani@ufabc.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPESP (2010/07382-8).



Fig. 1. Espalhamento de pulso devido à PMD.

dois modos de polarização ortogonais de uma forma aleatória ao longo de um enlace ótico. Como a luz se propaga nesses modos de polarização com velocidades de grupo diferentes, estabelece-se um atraso chamado de Atraso Diferencial de Grupo (*Differential Group Delay*).

Esse atraso devido às diferenças da velocidade de grupo na fibra é chamado de Dispersão dos Modos de Polarização (PMD)[3]. A Figura 1 representa um exemplo de um sinal colocado na entrada, com seus modos de polarização iniciais. O mesmo sinal é mostrado na saída da fibra, caracterizando o efeito da PMD.

O grande problema acontece quando se usa tecnologia OCDM em conjunto com WDM. Por exemplo, usando códigos óticos unidimensionais (1D) [4], a taxa de bits vista pela rede é multiplicada pelo comprimento do código  $L$ , que em condições adequadas de correlação, depende da quantidade de códigos utilizados ( $c$ ) e de seu peso ( $w$ ), da forma  $L = c \cdot w \cdot (w - 1) + 1$ .

## III. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Para este estudo foi utilizada a topologia de rede mostrada na Figura 2, que é uma rede fictícia que poderia ser instalada na região Leste do Estado de São Paulo, com diâmetro de 500,39 km. Utilizou-se também o paradigma de comutação OBS com esquema de reserva de recursos JIT e 1E6 requisições de rajadas óticas. O simulador adotado é chamado de ONSim e está em desenvolvimento na UFABC.

Para todas as rajadas foi considerada uma taxa de bits de 2,5 Gb/s e o único parâmetro de camada física analisado é a PMD. A Figura 3 mostra a Probabilidade de Perdas de Rajadas em função da carga de tráfego na rede. Dois cenários são analisados: (1) WDM com apenas dois comprimentos de onda e (2) WDM/OCDM, com dois comprimentos de onda e dois códigos óticos ortogonais (1D). Conforme esperado, o cenário 2 é melhor que o cenário (1), já que o número de recursos na rede WDM/OCDM é dado por  $R = \lambda \cdot c$ , em que  $\lambda$  é o número de comprimentos de onda disponíveis e  $c$  é o número

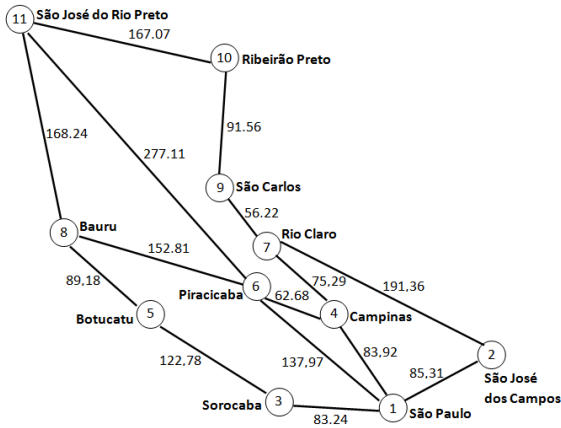


Fig. 2. Topologia de rede utilizada nas simulações.

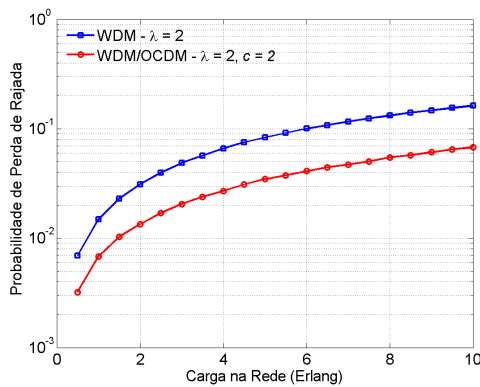
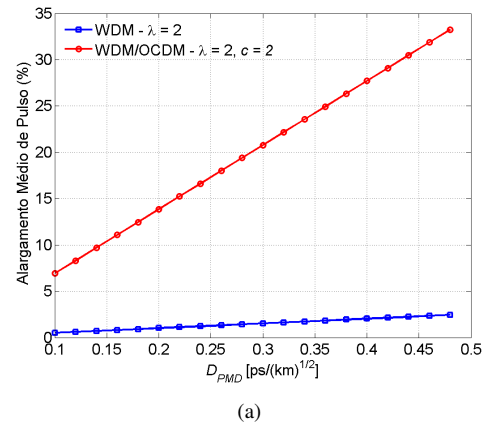


Fig. 3. Probabilidade de perda de rajada em função da carga na rede.

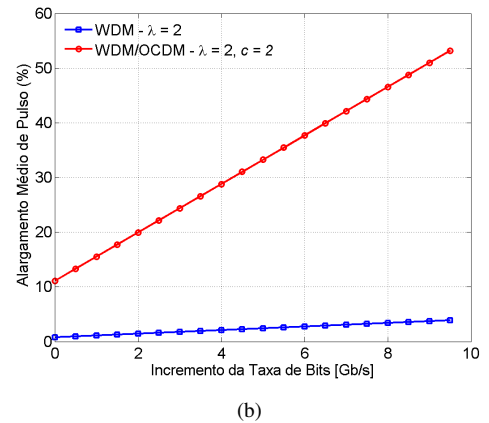
de códigos óticos ortogonais (1D). Por outro lado, observando o comportamento do alargamento de pulso percentual devido à PMD, parametrizado pela duração do bit, pode-se perceber que a influência da PMD é bem maior em uma rede híbrida WDM/OCDM. A Figura 4(a) mostra o percentual de dispersão médio em função do coeficiente de dispersão PMD ( $D_{PMD}$ ) e a Figura 4(b) mostra o percentual de dispersão médio em função do incremento de taxa de bits para um coeficiente de dispersão fixo  $D_{PMD} = 0,16 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ , ambas para carga de 2E. A Equação 1 rege o alargamento de pulso  $\Delta_{PMD}$  devido à PMD em uma rota com  $n$  enlaces de tamanhos  $d(i)$  cada.

$$\Delta_{PMD} = B \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{PMD}^2 d(i)} \quad (1)$$

Pode-se ver que o aumento do coeficiente de dispersão implica em um aumento linear médio da dispersão do sinal na fibra devido à PMD. Quando se usa apenas WDM este valor não ultrapassa 3% (que está bem abaixo dos 10% adotados como limite para garantir uma BER adequada). Entretanto, a dispersão devido à PMD é bem maior quando se usa WDM/OCDM. Nesse exemplo, para uma  $D_{PMD}$  de  $0,16 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$  a dispersão com WDM/OCDM já excede os 10%. Percebe-se também que o aumento da taxa de bits das rajadas causa alargamento de pulso. No caso WDM/OCDM,



(a)



(b)

Fig. 4. Alargamento de pulso causado pela PMD em função (a) do coeficiente de dispersão PMD, (b) do incremento da taxa de bits do usuário.

isso implica em um alargamento fora dos limites para um incremento de  $0,5 \text{ Gb/s}$  (equivalente a uma taxa de  $3 \text{ Gb/s}$ ).

Deve-se ressaltar que neste estudo considerou-se apenas a dispersão devido à PMD, mas outra fonte de dispersão mais severa é a Dispersão Cromática, que será foco de um estudo futuro.

#### IV. CONCLUSÕES

Observando os resultados obtidos, foi visto que o problema de PMD é muito mais grave quando experimentam-se altas taxas de bits e altos coeficientes de dispersão. No entanto, um parâmetro controlável é a distância percorrida pelo sinal, mostrando que a tecnologia híbrida WDM/OCDM só poderá ser utilizada nas redes de acesso, com diâmetros de poucas dezenas de quilômetros.

#### REFERÊNCIAS

- [1] H. Sotobayashi, et al., "Transparent Virtual Optical Code/Wavelength Path Network", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 8, no. 3, pp. 699 - 704, May/June 2002.
- [2] L. H. Bonani, et al., "Analysis of Unbalanced WDM/OCDM Transparent Optical Networks with Physical Constraints", *Proceedings of the 12th Int. Conference on Transparent Optical Networks*, June 2010.
- [3] G. Agrawal, *Fiber-optic communication systems*. 3th ed. New York: Wiley, 2002.
- [4] H. Yin, David J. Richardson, *Optical Code Division Multiple Access Communication Networks: Theory and Applications*, Springer, 1st ed., 2009.