

1

Introdução

O rápido crescimento da Internet e o aumento do tráfego de dados nas redes de comunicações ópticas criou a necessidade de se desenvolver sistemas DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) com o máximo de canais possíveis (para se ampliar a largura de faixa útil) e com o maior alcance possível. Existe hoje cada vez mais interesse em ampliar o alcance das redes de longa distância.

Os três principais fatores que limitam o alcance óptico das redes de longa distância são: o ruído amplificado de emissão espontânea (ASE- Amplified Spontaneous Emission) dos amplificadores ópticos, a PMD (*Polarization Mode Dispersion*) e as não linearidades da fibra. O ruído ASE é um fator limitador pois a cada amplificador do sistema, o sinal é amplificado e o ruído é adicionado, degradando a relação sinal ruído óptica ao longo do enlace, representada pelo OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*). Uma maneira de combater o ruído ASE é aumentar a potência na fibra, porém, a medida que a potência aumenta, começam a surgir os efeitos não lineares como a auto-modulação de fase (*SPM-Self Phase Modulation*), a modulação cruzada de fase (*XPM-Cross Phase Modulation*), a mistura de quatro ondas (*FWM-Four Wave Mixing*) e o espalhamento Raman estimulado, etc., que distorcem a forma de onda do sinal e degradam o desempenho do sistema. Esses efeitos se tornam ainda mais severos conforme a taxa de bits aumenta de 10Gb/s para 40 Gb/s. Ou seja, a potência de entrada na fibra deve ser alta, porém, até o limite em que as não linearidades não comprometam o desempenho do sistema.

Um dos fatores que permitiu o aumento do alcance e da capacidade dos enlaces ópticos, foi a invenção, em 1987, dos EDFA's (*Erbium Doped Fibre-optic Amplifiers*) [8]. Até então, ainda não existiam amplificadores ópticos, os sinais ópticos precisavam ser convertidos em sinais elétricos,

amplificados e novamente convertidos em sinais ópticos. Esse processo além de dispendioso limitava o desempenho do sistema. Com os EDFA's, a amplificação do sinal óptico pode começar a ser feita de forma direta, permitindo que a propagação do sinal na fibra atingisse centenas de quilômetros (usando amplificação periódica a cada ~100-120 Km para compensar as perdas na fibra). Esses amplificadores são mais baratos que repetidores e seu desempenho é independente da taxa de bits. Atualmente são muito usados em sistemas WDM pois suportam mais de um comprimento de onda e por isso, aumentam a capacidade do sistema. Apesar de todas as vantagens relacionadas ao uso do EDFA, ele também possui algumas limitações, por exemplo, possui uma faixa espectral limitada, alta figura de ruído e requer uma fibra especial dopada com íons Érbio. Além disto, os EDFA's efetuam a amplificação pontualmente, lançando toda a potência na fibra. Isto aumenta as limitações por efeitos não lineares, já que localmente ocorrem altas potências lançadas.

Os Amplificadores Raman, que serão abordados nesse trabalho, oferecem soluções para esses problemas. Eles são vantajosos, pois apresentam um ganho relativamente plano em uma faixa bem larga (~40 THz), possuem baixa figura de ruído (aumentando o alcance do sistema) e se utilizam da fibra de sílica como meio de transmissão de ganho distribuído (em faixa larga), ou seja, não precisam de fibras dopadas. A figura de ruído de um amplificador Raman pode ser menor que 3 dB, o que seria impossível de ser obtido com um EDFA [9]. A grande vantagem da amplificação Raman, entretanto, é a de prescindir de uma fibra especial ou de dopagem e permitir que a amplificação se faça na própria fibra de transmissão. Neste caso, ganha-se muito em termos de limitações por efeitos não lineares, pois a amplificação ocorre ao longo da fibra, compensando as perdas e permitindo alcances maiores.

A figura 1 ilustra bem este aspecto através de um exemplo. Conforme ilustrado abaixo, pode-se dizer que o sistema está limitado a uma potência máxima de 10 dBm devido às não linearidades e também restrito a uma potência mínima de -19,5 dBm que é dada pelo limiar do receptor. Supondo que o sinal na saída de um amplificador de potência, é de 5 dBm. Como a fibra apresenta uma perda linear de aproximadamente

0,2 dB/Km, o comprimento do enlace está limitado em 120 Km pois o limiar de um receptor óptico (sem pré-amplificador na entrada) é em torno de -20 dBm. Quando a potência de entrada na fibra é 10 dBm o alcance aumenta para aproximadamente 150 Km. Porém, não é possível aumentar ainda mais a potência de entrada na fibra devido às não linearidades. Com o uso da amplificação Raman distribuída, através de um laser de bombeio co-propagante na entrada e um laser de bombeio contra propagante na saída da fibra é possível alcançar até 220Km com apenas 5 dBm na entrada e 20 dB de ganho ao longo do percurso (10 dB no início e 10 dB no final). Como pode ser visto, o sinal andou 20 Km até atingir a potência máxima de 10 dBm, e se obteve um alcance maior sem ter que ultrapassar a potência máxima.

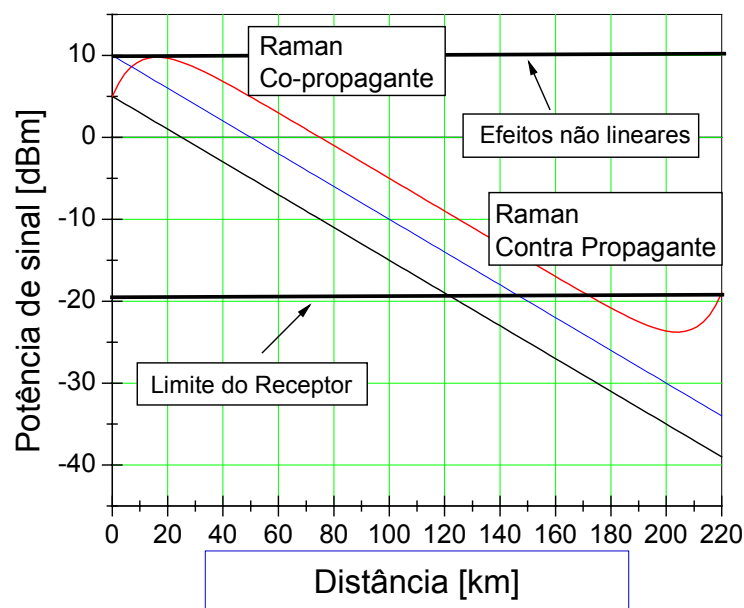


Figura 1: Comparação de sistemas com e sem amplificadores Raman

A amplificação Raman depende fortemente da polarização relativa entre os fótons de bombeio e de sinal, que tem que ser paralelas para máximo ganho [1]. Um importante limitador de desempenho de sistemas de longa distância amplificados por esta técnica é portanto a birrefringência da fibra, que modifica os estados de polarização de forma

diferente para cada comprimento de onda. A birrefringência varia aleatoriamente de acordo com as flutuações do ambiente onde está a fibra óptica, dando origem à dispersão dos modos de polarização, efeito este conhecido pela sigla PMD. Alguns experimentos recentes mostraram que o amplificador Raman não só depende do estado de polarização do sinal de entrada, mas também que o valor da dependência do ganho com a polarização (*PDG- Polarization Dependent Gain*) flutua devido a natureza aleatória da PMD [4,5].

É importante conhecer a estatística da PDG, sua relação com a PMD e como a PDG pode ser reduzida a níveis aceitáveis.

Esse trabalho comprovou experimentalmente estudos teóricos desenvolvidos por Q. Lin e Govind Agrawal no artigo *Statistics of polarization-dependent gain in fiber-based Raman amplifiers* escrito por e publicado no dia quinze de fevereiro de 2003. Os resultados da distribuição estatística da PDG em fibras de dispersão deslocada, apresentados no capítulo 4, estão de acordo com as previsões teóricas.