

3

Montagem Experimental

A análise dos aspectos da polarização do sinal óptico de sistemas de transmissão tem sido o foco em diversos trabalhos, [8]-[11], [14]-[18]. Assim sendo, o intuito deste trabalho é comprovar através de medidas experimentais os resultados obtidos em simulações do estudo do controle de polarização apresentado em [15].

A parte experimental dessa dissertação baseou-se na medição do comportamento da polarização, por meio de um polarímetro, em função da PMD e do comprimento de onda. Através dos parâmetros de Stokes, que permitem uma descrição completa do estado de polarização, representados na esfera de Poincaré em função do comprimento de onda, foi possível realizar duas análises distintas.

- Análise 1 - Baseada no desvio angular da polarização devido à decorrelação entre os canais considerando o espaçamento espectral e a PMD utilizados.
- Análise 2 – Baseada em duas opções possíveis de serem utilizadas no controle de polarização do sinal óptico, para diferentes valores de PMD e de espaçamento espectral. São elas: análise do SOP de um canal através do SOP de um canal adjacente, ou através média dos SOPs de dois canais adjacentes ao canal de interesse.

Cabe ressaltar que, o controle da polarização, propriamente dito, não foi realizado nesse trabalho, apenas foram realizadas avaliadas duas situações capazes de serem implementadas no controle de polarização do sinal óptico.

O controle dito perfeito, onde o controle de polarização é feito pelo próprio canal, apesar de ideal, sofre restrições na sua implementação. Pode-se citar a situação onde a fibra apresenta elevados valores de PMD, responsáveis por provocar variações muito rápidas na polarização do sinal. Nesse caso, é necessário um tempo muito pequeno para a aquisição dos dados na saída da transmissão [14]. Deste modo, esta problemática do uso do próprio canal como controle foi considerada, e por isso não foi analisada.

A investigação da evolução dos estados de polarização, da DGD e dos estados principais de polarização se faz necessário em sistemas de transmissões de altas taxas. Estudar a evolução temporal destes fatores, comparar e correlacionar o comportamento de diferentes canais são medidas essenciais para prever o impacto do desalinhamento entre os estados de polarização e do erro inserido no canal.

Nos experimentos foram utilizados: um Laser de comprimento de onda sintonizável (em modo de varredura entre 1530 nm a 1570 nm, com passo de 0,04 nm), um controlador de polarização manual (tipo “*mickey*”), um polarímetro (que mede os parâmetros de Stokes obtidos, inclusive, em função do comprimento de onda e fornece também valores de DGD), um computador para fazer a aquisição dos dados, duas bobinas de fibra óptica (com PMD de, aproximadamente, 0,09 ps e 0,24 ps), um emulador de PMD (com PMD de 3,5 ps) e uma lâmpada de 100 W (a fim de influenciar na variação da DGD nas fibras através da mudança de temperatura).

Os emuladores geralmente são utilizados para analisar os efeitos de PMD em sistemas ópticos, como também em dispositivos de compensação, e são usualmente construídos com uma concatenação de vários pedaços de fibras HiBi com diferentes comprimentos e ângulos de acoplamento [14].

Partindo-se do pressuposto de que a temperatura evolui aleatoriamente ao longo do comprimento da fibra, aumentando ou diminuindo durante a medida, de acordo com a literatura [19], para um aumento da exatidão da medição é importante que as curvas da DGD em função do comprimento de onda sejam realizadas não somente em tempos distintos, mas que ocorram variações de temperatura durante a medição. Deste modo, a temperatura, responsável por variar o índice de refração, é considerada o principal motor para a evolução das variáveis da PMD. Ela é utilizada para forçar a variação da birrefringência mais rapidamente. Sendo assim, com aumento da temperatura o índice de refração também aumenta. Desta forma, foram realizadas medidas com e sem a utilização da lâmpada na montagem experimental.

A montagem experimental padrão executada pode ser vista na Figura 18 a seguir.

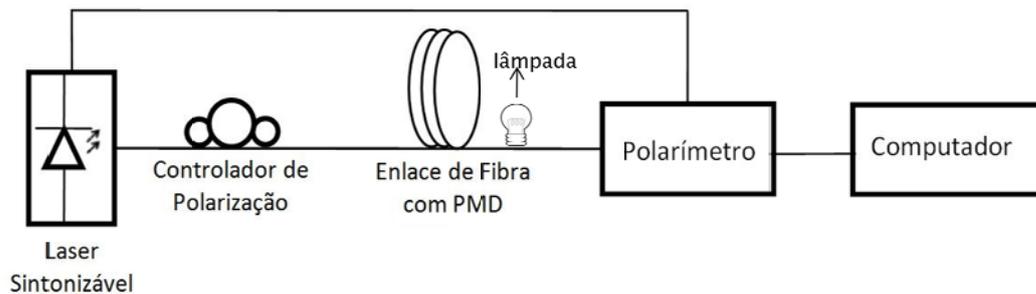


Figura 18: Montagem experimental padrão utilizada.

Foram implementadas 05 (cinco) tipos de montagens experimentais, sendo que, para cada configuração aplicada, foram feitas 10 (dez) medidas. As configurações realizadas foram dadas basicamente pela manipulação aleatória do controlador de polarização manual, pela mudança na posição da lâmpada (quando utilizada) ao redor da fibra (ou emulador) e pela substituição de uma bobina de fibra (ou emulador de PMD) por outra. A Tabela 1 abaixo exemplifica as variações realizadas em cada montagem experimental.

Tabela 1 – Modificações realizadas na montagem experimental

PMD	Posição da Lâmpada	Posição do Mickey	Medidas realizadas
0,09 ps	Sem lâmpada	Posição ₁	10
	Posição ₁	Posição ₂	10
	Posição ₂	Posição ₃	10
	Posição ₃	Posição ₄	10
	Posição ₄	Posição ₅	10
0,24 ps	Sem lâmpada	Posição ₁	10
	Posição ₁	Posição ₂	10
	Posição ₂	Posição ₃	10
	Posição ₃	Posição ₄	10
	Posição ₄	Posição ₅	10
3,5 ps	Sem lâmpada	Posição ₁	10
	Posição ₁	Posição ₂	10
	Posição ₂	Posição ₃	10
	Posição ₃	Posição ₄	10
	Posição ₄	Posição ₅	10

Portanto, foram realizadas 50 medidas experimentais para cada bobina de fibra (ou emulador) utilizada, enquanto os demais componentes e instrumentos

foram mantidos, com exceção da lâmpada que foi retirada algumas vezes da montagem para realização de medidas, como mostrou a Tabela 1.

Como a faixa de comprimento de onda do laser variou de 1530 nm até 1570 nm, sendo utilizado um passo de 0,04 nm, ou seja, $\Delta\lambda_{\text{total}} = 40$ nm, foram obtidos 1000 pontos para cada medida realizada. Totalizando 50.000 pontos por bobina/emulador. A varredura foi feita em função do comprimento de onda para os SOPs serem distinguidos sempre que necessário.

Ao realizar as medidas experimentais, houve a preocupação de aplicar o menor espaçamento espectral possível com os equipamentos utilizados. Assim, a utilização de um passo de 0,04 nm permitiu observar o desalinhamento entre os SOPs dos canais, espaçados entre 5 GHz a 50 GHz. Sendo possível obter um número maior de dados, resultando em uma melhor análise dos mesmos.

O sistema básico é apresentado através seguinte equação:

$$S_{out} = T_{\omega} * S_{in} \quad (2.27)$$

onde S_{in} corresponde à polarização do sinal de entrada, mantido fixo, S_{out} é a polarização do sinal de saída e T_{ω} é a matriz de transferência da fibra variante na frequência. Desta maneira, para um dado valor de S_{in} é possível obtermos uma saída correspondente, S_{out} , que está diretamente relacionada com as variações existentes no enlace de fibra óptica.

Os resultados obtidos das medidas experimentais foram utilizados para:

- calcular o ângulo, chamado de θ_{Adj} , existente entre o Canal₁ e o Canal₂;
- calcular o ângulo, chamado de $\theta_{Méd}$, existente entre o Canal₂ e o Canal_{Médio}, dado pelo vetor médio de Canal₁ e Canal₃.
- realizar a distribuição estatística da atenuação das duas opções mencionadas neste trabalho, que podem ser aplicadas no controle de polarização do sinal óptico, de acordo com a variação angular entre cada canal e com as distintas PMDs das bobinas de fibras ópticas utilizadas. Ou seja, foi feita a distribuição estatística da atenuação da intensidade do canal, gerada pelo desalinhamento da polarização, e não da penalidade de potência em relação à taxa de erro propriamente dita. A primeira atenuação foi calculada em relação ao valor de θ_{Adj} , ou seja, pela variação angular entre o Canal₁ e o Canal₂. E a segunda foi

calculada considerando-se $\theta_{\text{Méd.}}$, dado pela variação angular entre Canal₂ e o Canal_{Médio}.

A Figura 19 abaixo ilustra as duas opções que podem ser utilizadas no controle de polarização do sinal óptico: a aplicação do controle de um canal através de seu canal adjacente, ou através da média de dois canais adjacentes ao canal de interesse.

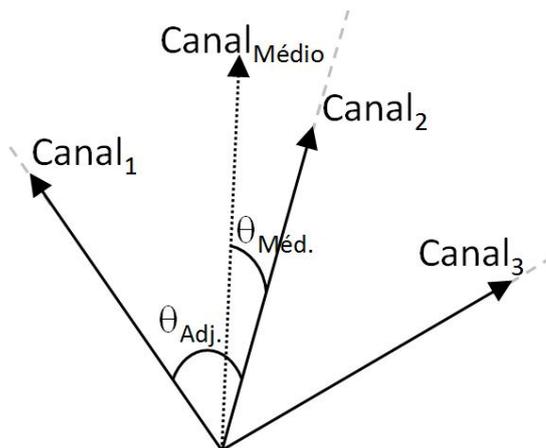


Figura 19: Ilustração dos canais que podem ser utilizados no controle de polarização de um sistema.

onde, θ_{Adj} é o ângulo existente entre o Canal₁ e o canal adjacente a ele, Canal₂ e $\theta_{\text{Méd}}$ é o ângulo existente entre o Canal_{Médio} (dado pelo vetor médio de Canal₁ e Canal₃) e Canal₂. Maiores detalhes serão discutidos no Capítulo 4 a seguir.

É importante destacar que cada canal, atribuído a um estado de polarização (SOP), corresponde a um comprimento de onda.

Para a utilização de um controlador de polarização para n canais, quanto maior for o desalinhamento entre SOPs dos canais, pior será o controle de polarização do sistema.

Assim como o controle de polarização, a precisão do controle da PMD também está sujeita a algumas dificuldades de ordem prática, os distintos modelos de controle de PMD sofrem limitações na sua implementação. Por exemplo, em sistemas onde a fibra utilizada apresenta altos valores de PMD, o que provoca variações muito rápidas na polarização do sinal, é necessário um tempo muito curto para a aquisição dos dados na saída da transmissão e envio dos mesmos para a realimentação do sistema [14].