# **Resultados Experimentais**

Os resultados que serão apresentados aqui, foram obtidos da elaboração de "rotinas" utilizando uma ferramenta computacional conhecida como MatLab (MATrix LABoratory). Por meio dessas rotinas foram realizados alguns procedimentos como: a normalização dos vetores de Stokes (obtidos da esfera de Poincaré através do polarímetro); inserção do valor desejado de espaçamento espectral a ser utilizado entre os canais (5GHz, 15GHz, 30 GHz ou 50 GHz); definição de cada Canal e cálculo para determinar os valores de  $\cos \theta_{Adjacente}$  e de  $\cos \theta_{Médio}$ . Onde  $\cos \theta_{Adjacente}$  (também chamado neste trabalho de  $\cos \theta_{Adj}$  corresponde ao cosseno do ângulo existente entre o Canal<sub>1</sub> e o Canal<sub>2</sub>; e o  $\cos \theta_{Médio}$  (também chamado nesta dissertação de  $\cos \theta_{Méd}$ ) equivale ao cosseno do ângulo existente entre Canal<sub>2</sub> e o Canal<sub>Médio</sub> (dado pelo vetor médio de Canal<sub>1</sub> e Canal<sub>3</sub>), conforme ilustrou a Figura 18 do capítulo anterior. A fim de analisar a maneira como os canais se relacionam, também foi calculada a correlação.

Com as informações obtidas pelas rotinas do MatLab foram feitas distribuições estatísticas referentes às atenuações de cada canal, de acordo com as distintas PMDs (bobinas de fibra e emulador utilizados) e os espaçamentos espectrais considerados.

Os arquivos gerados pelas medidas experimentais contêm dados relativos aos vetores de Stokes,  $S = (S_1, S_2, S_3)$ , atribuídos aos seus respectivos comprimentos de onda. Sabe-se que cada ponto da esfera de Poincaré corresponde a um estado de polarização (SOP), que é representado por um vetor de Stokes, S. Desta maneira tem-se:

Canal<sub>1</sub> = 
$$\lambda_1$$
  $\longrightarrow$  SOP<sub>1</sub> = SOP do Canal<sub>1</sub> = [S<sub>11</sub> S<sub>12</sub> S<sub>13</sub>]  
Canal<sub>2</sub> =  $\lambda_2$   $\longrightarrow$  SOP<sub>2</sub> = SOP do Canal<sub>2</sub> = [S<sub>21</sub> S<sub>22</sub> S<sub>23</sub>]  
Canal<sub>3</sub> =  $\lambda_3$   $\longrightarrow$  SOP<sub>3</sub> = SOP do Canal<sub>3</sub> = [S<sub>31</sub> S<sub>32</sub> S<sub>33</sub>]  
Canal<sub>n</sub> =  $\lambda_n$   $\longrightarrow$  SOP<sub>n</sub> = SOP do Canal<sub>n</sub> = [S<sub>n1</sub> S<sub>n2</sub> S<sub>n3</sub>]

onde cada linha corresponde a um comprimento de onda relacionado a um estado de polarização, e as colunas 1, 2 e 3 correspondem aos seus respectivos parâmetros de Stokes  $(S_1, S_2, S_3)$ .

Conforme mencionado no Capítulo anterior, para cada dezena de medidas realizadas houve a modificação da posição da lâmpada (quando utilizada) ao redor da bobina de fibra (ou do emulador de PMD) e a manipulação aleatória do controlador de polarização manual. Considerando cada enlace de fibra ou emulador utilizado, foram realizadas um total de 50 medidas, conforme apresentado na Tabela 1. A faixa de comprimento de onda do laser variou de 1530 nm até 1570 nm, com passo de 0,04 nm, resultando em um  $\Delta\lambda_{total}$  de 40 nm, que correspondeu a 1000 pontos para cada medida completa realizada.

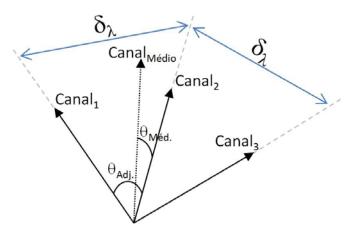
Para cada conjunto de 50 medidas realizadas referentes a uma determinada fibra óptica (ou emulador de PMD), o valor do espaçamento entre os canais foi variado gerando resultados distintos para cada configuração implementada. As análises foram realizadas com os seguintes espaçamentos ( $\Delta\omega$ ): 5GHz, 15 GHz, 30 GHz e 50 GHz, que correspondem, aproximadamente e respectivamente, aos seguintes espaçamentos em comprimento de onda ( $\delta_{\lambda}$ ): 0,04 nm, 0,12 nm, 0,24 nm e 0,4 nm. A Tabela 2 apresenta os espaçamentos aplicados para cada conjunto de medidas, de acordo com a bobina de fibra (ou emulador) utilizada.

Cabe explicar que, nesta dissertação, será chamado de  $\Delta\omega$  o espaçamento espectral em função da freqüência [GHz] e de  $\delta_\lambda$  o espaçamento em função do comprimento de onda [nm]. Ambos são equivalentes, diferenciando-se apenas pelas unidades de medida.

Tabela 2 – Espaçamentos aplicados

PMD	Espaçamento Espectral	Medidas realizadas
0,09 ps	5 GHz	50
	15 GHz	50
	30 GHz	50
	50 GHz	50
0,24 ps	5 GHz	50
	15 GHz	50
	30 GHz	50
	50 GHz	50
3,5 ps	5 GHz	50
	15 GHz	50
	30 GHz	50
	50 GHz	50

A Figura 20 ilustra os ângulos existentes entre os canais e o espaçamento existente entre estes, que será variado através da rotina elaborada no Matlab. Esse esquema serve como base para compreender como os cálculos que serão apresentados adiante foram realizados.



**Figura 20:** Esquema utilizado como base para os cálculos apresentando os canais e os espaçamentos entre eles.

É possível observar na Figura 20 que o Canal<sub>2</sub> está deslocado do Canal<sub>1</sub> por um espaçamento espectral variável representado por  $\delta_{\lambda}$ . E, conseqüentemente, o Canal<sub>3</sub> equivale ao estado de polarização que está deslocado do Canal<sub>1</sub> por um espaçamento duas vezes maior, portanto,  $2\delta_{\lambda}$ . Assim sendo, a definição de cada canal foi feita no MatLab da seguinte maneira:

O Canal 1 corresponde ao comprimento de onda 1,  $\lambda_1$ , isto é:

$$Canal_1 = \lambda_1 \tag{4.1}$$

O Canal 2 equivale ao  $\lambda_2$ , de acordo com a equação 4.2:

$$Canal_2 = \lambda_2 = \lambda_1 + \delta_{\lambda} \tag{4.2}$$

O Canal 3 corresponde ao  $\lambda_3$ , como mostra a equação 4.3:

$$Canal_3 = \lambda_3 = \lambda_1 + 2\delta_{\lambda} \tag{4.3}$$

Os valores dos ângulos e dos demais parâmetros foram obtidos por meio de equações apresentadas adiante.

Os canais foram normalizados conforme a equação 4.4:

$$Canal_{n_{Norm}} = \frac{Canal_n}{\sqrt{[S_n(n,1)]^2 + [S_n(n,2)]^2 + [S_n(n,3)]^2}}$$
(4.4)

onde n é o número de pontos da medida (foram obtidos 1000 pontos para cada medida) e os números 1, 2 e 3 correspondem aos seus respectivos parâmetros de Stokes:  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  (Canal<sub>n</sub> =  $\lambda_n$  =  $SOP_n$  = [ $S_{n1}$   $S_{n2}$   $S_{n3}$ ]).

O cos  $\theta_{Adjacente}$  foi obtido através do produto escalar apresentado na equação 4.5:

$$\cos \theta_{Adj} = Canal_{1_{Norm}} \cdot Canal_{2_{Norm}} \tag{4.5}$$

A equação 4.6 mostra como foi calculado o  $\cos \theta_{\text{Médio}}$ :

$$\cos \theta_{M\acute{e}dio} = Canal_{M\acute{e}dio}_{Norm} \cdot Canal_{2Norm} \tag{4.6}$$

Onde o  $Canal_{M\'edio_{Norm}}$  corresponde ao vetor médio de  $Canal_{1_{Norm}}$  com  $Canal_{3_{Norm}}$ .

A atenuação (chamada adiante de *Att*), devido ao desalinhamento entre os estados de polarização do Canal<sub>1</sub> ou Canal<sub>Médio</sub> com o Canal<sub>2</sub>, dado pelo cosseno ao quadrado da metade do desvio angular na Esfera de Poincaré, também foi calculada.

Através da equação 4.7 abaixo foi calculada a atenuação, em dB, de acordo com a variação angular entre os estados de polarização do Canal<sub>1</sub> e do Canal<sub>2</sub>:

$$Att_{Canal_1} = -10 \log \left[ cos^2 \left( \frac{\theta_{Adj}}{2} \right) \right]$$

$$Att_{Canal\_1} = -20 \log \cos \left(\frac{\theta_{Adj}}{2}\right) [dB]$$
 (4.7)

Onde  $\theta_{Adj}$  é o ângulo existente entre o Canal<sub>1</sub> e o Canal<sub>2</sub>, em radianos.

Por meio da equação 4.8 foi calculada a atenuação considerando a variação angular entre o Canal<sub>Médio</sub> e o Canal<sub>2</sub>:

$$Att_{Canal\_M\'edio} = -20 \log(\frac{\theta_{M\'edio}}{2}) \text{ [dB]}$$
 (4.8)

Onde  $\theta_{M\acute{e}dio}$  equivale ao ângulo existente entre o Canal<sub>Médio</sub> e o Canal<sub>2</sub>, em radianos.

A autocorrelação é dada pela equação 4.9:

$$Autocorrelação = \frac{\sum Canal_{\lambda} \cdot Canal_{\lambda + \delta \lambda}}{N}$$
 (4.9)

onde  $Canal_{\lambda}$  é a variável em um dado comprimento de onda ( $\lambda$ ), e  $Canal_{\lambda+\delta\lambda}$  corresponde à mesma variável, porém em um  $\lambda$  posterior. E N é o número de amostras presentes na medida considerada.

Serão apresentados adiante, por meio da Figura 21, os resultados referentes à correlação entre os canais em função da variação do comprimento de onda e analisados de acordo com a variação do espaçamento entre os SOPs dos canais e com o valor de PMD das bobinas de fibra óptica utilizadas.

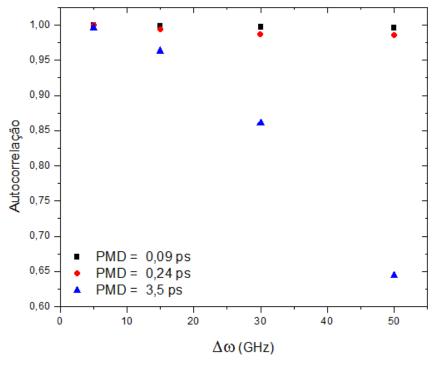


Figura 21: Função de Autocorrelação Espectral

A Tabela 3 a seguir apresenta os resultados ilustrados na Figura 21.

Autocorrelação **Espaçamento Espectral** PMD = 0.09 psPMD = 0.24 psPMD = 3.5 ps0.9998 0.9995 0,9956 5 GHz 0,9998 0,9993 15 GHz 0,9634 0,9997 30 GHz 0,9987 0,8609 50 GHz 0,9996 0,9985 0,6438

Tabela 3 – Espaçamento espectral versus Autocorrelação

Através dos dados apresentados na Tabela 3 percebe-se que para um valor de PMD e espaçamento baixos (PMD = 0,09 ps e  $\Delta\omega$  = 5 GHz), a correlação é bastante alta.

Nota-se também que, considerando um sistema com espaçamento de 50 GHz, ou seja, 0,04 nm, tem-se uma correlação baixa para um valor de PMD igual a 3,5 ps. Ou seja, percebe-se que para canais espaçados de 50 GHz em fibras com um valor de PMD elevado, os estados de polarização dos canais estarão desalinhados, tendo em vista a diminuição da correlação. Contudo, mantendo o espaçamento espectral e para valores menores de PMD, como 0,09 ps, tem-se um nível de correlação bastante superior. É claro que um valor de PMD pequeno não irá afetar transmissões de 10 Gbps, de modo que essa informação pode até não ser útil neste tipo de sistema, mas pode ser interessante para sistemas com taxas acima de 40 Gbps.

A Figura 22 a seguir ilustra a função de autocorrelação, nota-se também que conforme o espaçamento entre os SOPs dos canais e a PMD aumentam, a correlação diminui.

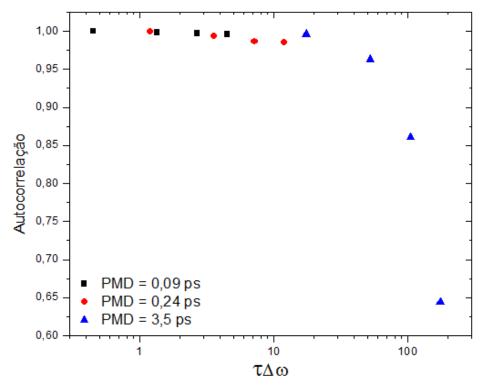


Figura 22: Função de Autocorrelação

De um modo geral, os resultados apresentados mostram que os canais se descorrelacionam rapidamente no caso das PMDs mais altas, nesse caso 3,5 ps, e à medida que o espaçamento entre os canais também aumenta. Desta maneira, maior será o desalinhamento entre os estados de polarização dos canais e, conseqüentemente, mais difícil será a implementação do controle de polarização no sistema.

De acordo com a variação do espaçamento entre os SOPs dos canais foi possível perceber que quanto menor o espaçamento entre eles, melhor poderá ser o controle, uma vez que a DGD será menor. E que, para valores menores de PMD o nível de correlação mostrou-se superior.

Após apresentar os resultados que ilustraram as influências do espaçamento entre os SOPs dos canais para diferentes valores de PMD, em função da variação do comprimento de onda, serão apresentados em seguida a distribuição estatística da atenuação para dois casos. O primeiro caso trata-se da distribuição estatística da atenuação considerando a variação angular entre o Canal<sub>1</sub> (também chamado de Canal<sub>Adjacente</sub>) e o Canal<sub>2</sub>. E o segundo caso trata-se da distribuição estatística da atenuação considerando a variação angular entre o Canal<sub>Médio</sub> (dado pelo vetor médio do Canal<sub>1</sub> e Canal<sub>3</sub>) e o Canal<sub>2</sub>.

Cabe lembrar que as atenuações foram calculadas por meio das equações 4.7 e 4.8.

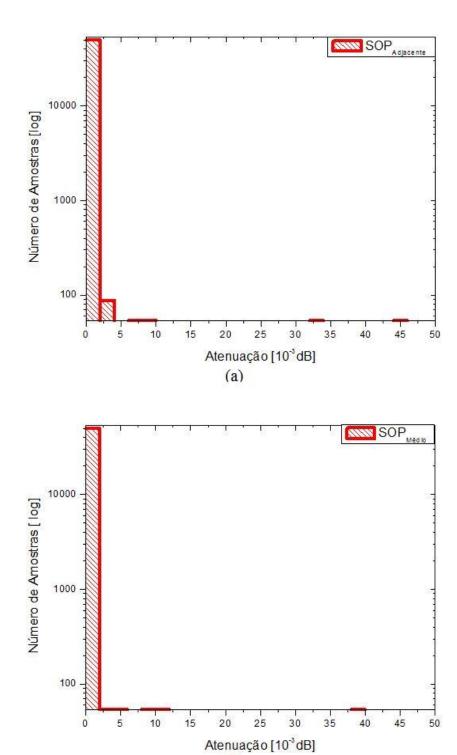
É importante destacar que, nas figuras que serão apresentadas a diante, o estado de polarização do Canal<sub>1</sub>, (também chamado simplesmente de SOP<sub>1</sub>), será chamado de SOP<sub>Adjacente</sub>, que corresponde ao canal adjacente ao canal de interesse. E o estado de polarização do Canal<sub>Médio</sub> será chamado de SOP<sub>Médio</sub>, que é dado pelo vetor médio do SOP<sub>1</sub> e SOP<sub>3</sub>.

## 4) Resultados relativos à bobina de fibra óptica com PMD igual a 0,09 ps

Serão exibidas agora as distribuições estatísticas correspondentes às atenuações dos canais, devido ao desalinhamento da polarização, utilizando o enlace de fibra óptica com PMD de 0,09 ps e de acordo com um determinado espaçamento espectral, que irá variar de 5 GHz à 50 GHz.

## 4.1) Espaçamento espectral igual a **5 GHz** (0,04 nm)

Através da Figura 23 (a), que ilustra a distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>1</sub> (chamado de SOP<sub>Adjacente</sub>) em relação ao Canal<sub>2</sub>, nota-se que a maioria dos eventos tem valores de atenuação menor que 5,0 x 10<sup>-3</sup> dB. Na Figura 23 (b), referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> (chamado de SOP<sub>Médio</sub>) em relação ao Canal<sub>2</sub>, a maioria dos eventos tem valores tem valores muito baixos, menor que 2,5 x 10<sup>-3</sup> dB. Isto se deve porque apresentam uma baixa DGD e, conseqüentemente, uma alta correlação, devido ao valor de PMD e o valor do espaçamento serem baixos.



**Figura 23:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 0,09 ps e  $\Delta\omega$  = 5 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

(b)

## 4.2) Espaçamento espectral de **15 GHz** (0,12 nm)

Considerando a utilização da bobina com PMD de 0,09 ps e um espaçamento de 15 GHz entre os SOPs, a Figura 24 (a), que ilustra a distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>1</sub> (SOP<sub>Adjacente</sub>) em relação ao Canal<sub>2</sub>, apresenta valores de atenuação inferiores à 5,0 x 10<sup>-3</sup> dB. E a Figura 24 (b), que ilustra a distribuição estatística da atenuação Canal<sub>Médio</sub> (SOP<sub>Médio</sub>) em relação ao Canal<sub>2</sub>, mostra valores menores ainda de atenuação, 2,5 x 10<sup>-3</sup> dB.

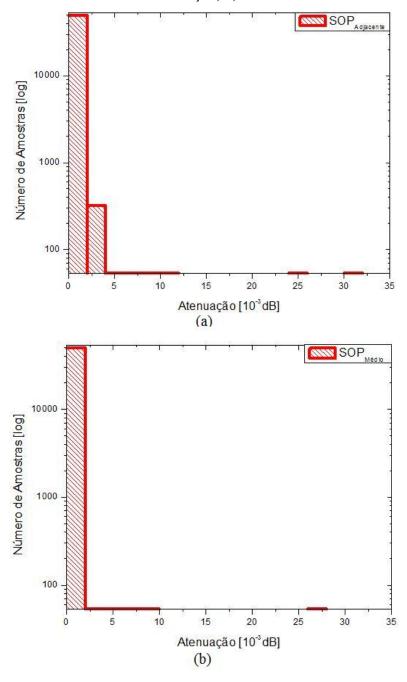
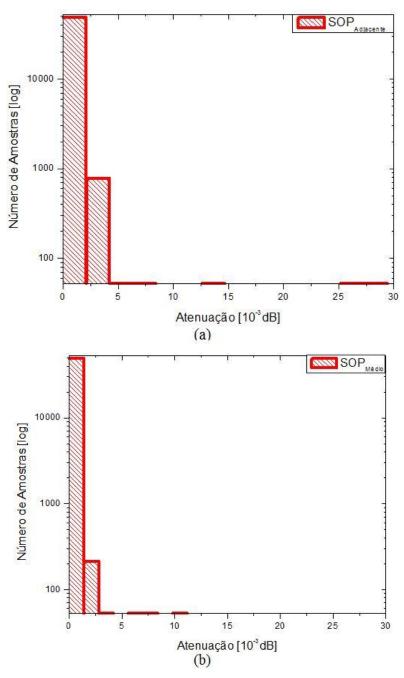


Figura 24: Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 0,09 ps e  $\Delta\omega$  = 15 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

#### 4.3) Espaçamento espectral de **30 GHz** (0,24 nm)

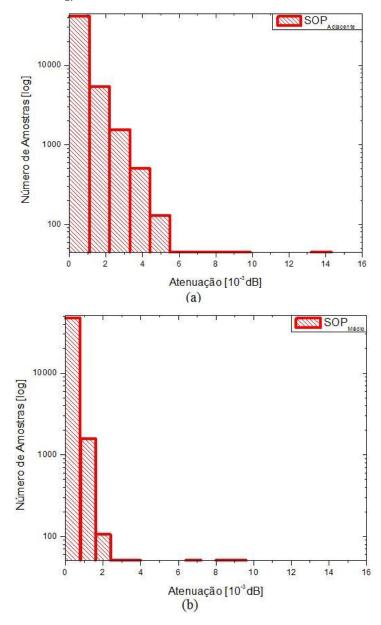
A Figura 25 (a), referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>1</sub> calculada em relação ao Canal<sub>2</sub>, e a Figura 25 (b), relativa à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> calculada em relação ao Canal<sub>2</sub>, mostram que, apesar do aumento do espaçamento entre os estados de polarização, grande parte dos eventos apresentam valores de atenuação inferiores à 2,5x10<sup>-3</sup> dB. Entretanto, nota-se que a figura 25 (b) apresenta um resultado melhor.



**Figura 25**: Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 0.09 ps e  $\Delta\omega$  = 30 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

## 4.4) Espaçamento espectral igual a **50 GHz** (0,4 nm)

Analisando ainda a bobina com PMD de 0,09 ps e para o maior espaçamento espectral considerado nas análises, 50 GHz, a Figura 26 (a) mostra que grande parte das amostras tem atenuação inferior à 6,0 x 10<sup>-3</sup> dB. E a Figura 26 (b) ilustra que a maioria das amostras apresenta uma atenuação menor que 3,0 x 10<sup>-3</sup> dB. Com o aumento do espaçamento, a DGD é maior e, conseqüentemente, a correlação é menor. Nota-se claramente que o SOP<sub>Médio</sub> atenua 50% menos o sinal de Canal<sub>2</sub> (SOP<sub>2</sub>) quando comparado com a atenuação gerada pelo SOP<sub>Adjacente</sub> em Canal<sub>2</sub>.



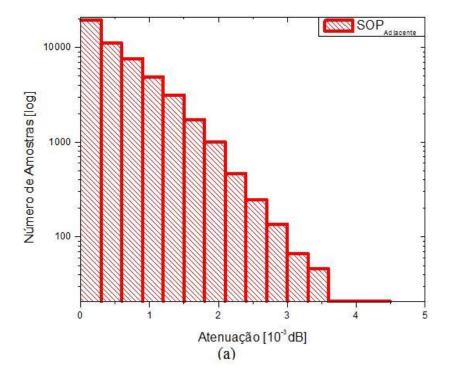
**Figura 26:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 0.09 ps e  $\Delta\omega$  = 50 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

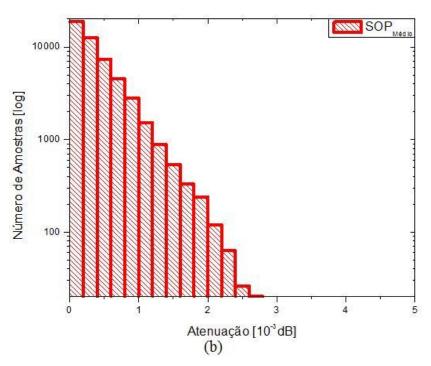
## 5) Resultados relativos ao enlace de fibra óptica com PMD igual a 0,24 ps

Os resultados que serão ilustrados adiante são provenientes da utilização da bobina de fibra óptica com PMD de 0,24 ps, e do aumento progressivo do espaçamento espectral entre os estados de polarização. Os resultados referem-se à distribuição estatística da atenuação que seria adicionado a um sistema de controle de polarização, devido ao desalinhamento entre o Canal<sub>1</sub>, chamado nas Figuras de SOP<sub>Adjacente</sub>, e o Canal<sub>2</sub>, e também à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> em relação ao Canal<sub>2</sub>. Vale lembrar que o Canal Médio é dado pelo vetor médio de Canal<sub>1</sub> e Canal<sub>3</sub>.

#### 5.1) Espaçamento espectral de **5 GHz** (0,04 nm)

A Figura 27 (a), relativa à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>1</sub> calculada em relação ao Canal<sub>2</sub>, apresenta eventos com atenuação inferiores a 4,5x10<sup>-3</sup> dB. E a Figura 27 (b), referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> calculada em relação ao Canal<sub>2</sub>, demonstra que os eventos tem atenuação inferior à 3,0x10<sup>-3</sup> dB. Considerando toda distribuição apresentada em ambas as figuras, vemos que a atenuação que o Canal<sub>Médio</sub> insere no Canal<sub>2</sub> é menor que a atenuação que Canal<sub>1</sub> insere no Canal<sub>2</sub>.

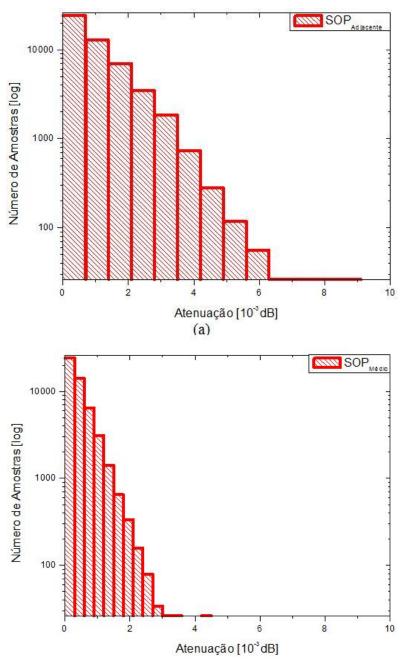




**Figura 27:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 0,24 ps e  $\Delta\omega$  = 5 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

## 5.2) Espaçamento espectral de **15 GHz** (0,12 nm)

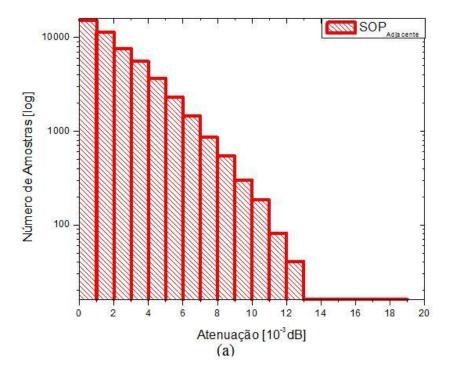
A Figura 28 (a), referente à atenuação que o Canal<sub>1</sub>,  $SOP_{Adjacente}$ , insere em Canal<sub>2</sub>, mostra que grande parte dos eventos apresentam atenuação inferior à  $7.0 \times 10^{-3}$  dB. E a Figura 28 (b), relativa à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> calculada em relação ao Canal<sub>2</sub>, demonstra que a maioria dos eventos tem atenuação inferior à  $3.0 \times 10^{-3}$  dB, ou seja, os índices de atenuação correspondem à menos da metade do ilustrado na Figura 28 (a).

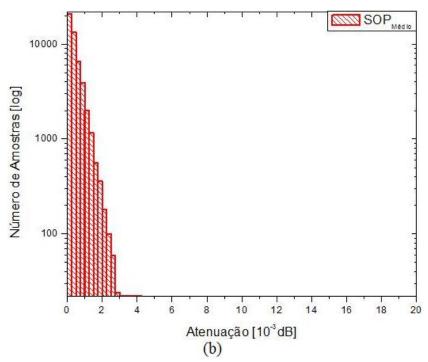


**Figura 28:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 0.24 ps e  $\Delta\omega$  = 15 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

## 5.3) Espaçamento espectral de **30 GHz** (0,24 nm)

A Figura 29 (a), referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>2</sub> proveniente do desalinhamento do Canal<sub>1</sub>, mostra que os eventos têm atenuação inferior à  $13x10^{-3}$  dB. A Figura 29 (b), referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> em relação ao Canal<sub>2</sub>, apresenta eventos com valores de  $3x10^{-3}$  dB de atenuação. Nota-se que o SOP<sub>Médio</sub> atenua bem menos o Canal<sub>2</sub> do que o resultado apresentado na Figura 29 (a). Percebe-se que o espaçamento aplicado de 30 GHz entre os SOPs, propagando em uma fibra com PMD de 0,24 ps, afeta a correlação.

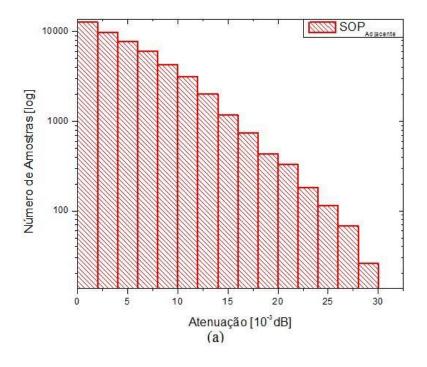


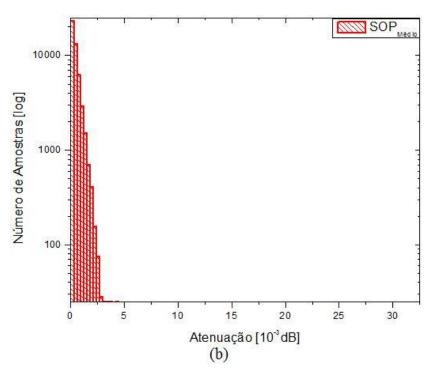


**Figura 29:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 0.24 ps e  $\Delta\omega$  = 30 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

## 5.4) Espaçamento espectral igual a **50 GHz** (0,4 nm)

Percebe-se que na Figura 30 (a) abaixo, referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>1</sub> em relação ao Canal<sub>2</sub>, o espaçamento de 50 GHz influencia bastante no desalinhamento entre os SOP dos canais, os eventos tem atenuação inferior a 30,0x10<sup>-3</sup> dB. E na Figura 30 (b), que trata da distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> em relação ao Canal<sub>2</sub>, nota-se que a atenuação é muito menor quando comparada com a Figura 32 (a), inferior à 5,0 x 10<sup>-3</sup> dB.





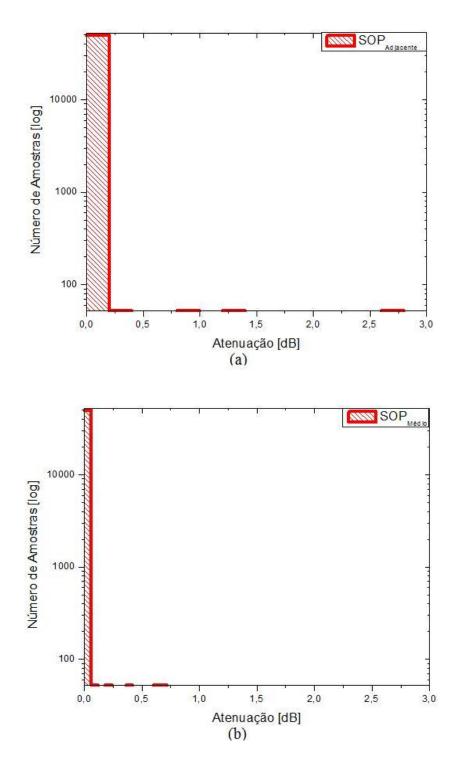
**Figura 30:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 0,24 ps e  $\Delta\omega$  = 50 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

#### 6) Resultados relativos ao Emulador com PMD igual a 3,5 ps

A seguir serão visualizadas as distribuições estatísticas correspondentes às atenuações dos SOPs dos canais utilizando um emulador com PMD de 3,5 ps e variando o espaçamento espectral de 5 GHz à 50 GHz.

## 6.1) Espaçamento espectral de **5 GHz** (0,04 nm)

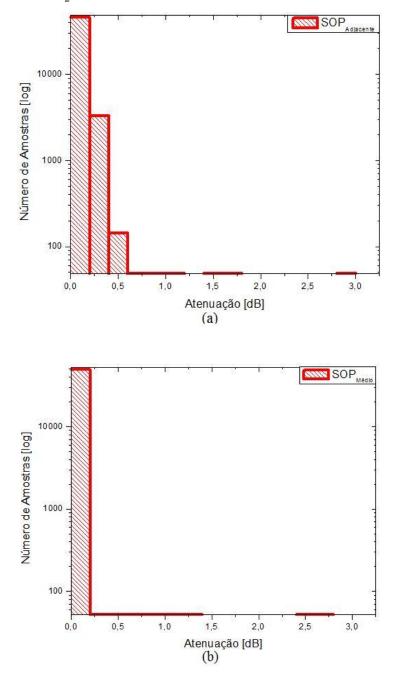
Através da Figura 31 (a), que ilustra a distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>1</sub> (SOP<sub>Adjacente</sub>) em relação ao Canal<sub>2</sub>, vemos que a maioria dos eventos tem menos que 0,25 dB de atenuação. Na Figura 31 (b), referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> em relação ao Canal<sub>2</sub>, a atenuação da maioria dos eventos é inferior à 0,1dB.



**Figura 31:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 3,5 ps e  $\Delta\omega$  = 5 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

## 6.2) Espaçamento espectral igual a **15 GHz** (0,12 nm)

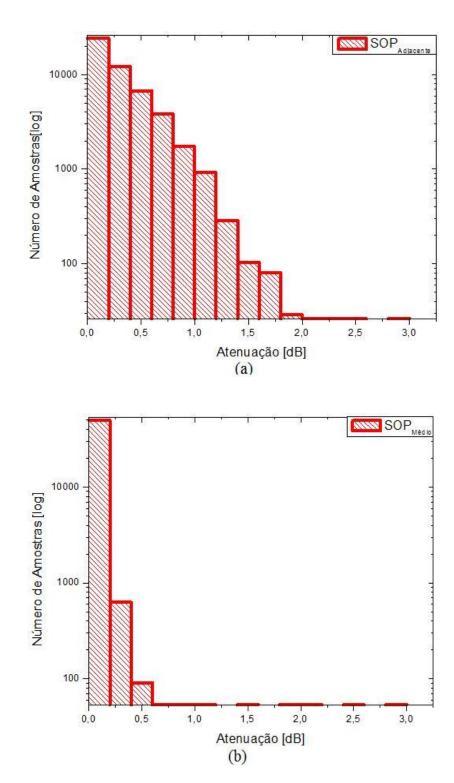
A Figura 32 (a), que representa a distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>1</sub> em relação ao Canal<sub>2</sub>, apresenta uma atenuação inferior à 0,6 dB para a maioria dos eventos. E a Figura 32 (b), que é relativa à atenuação do Canal<sub>Médio</sub> no Canal<sub>2</sub>, tem grande parte dos eventos com menos de 0,25 dB de atenuação. Notase que a atenuação de Canal<sub>1</sub> no Canal<sub>2</sub> é maior do que a atenuação gerada pelo Canal<sub>Médio</sub> em Canal<sub>2</sub>.



**Figura 32:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 3,5 ps e  $\Delta\omega$  = 15 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

## 6.3) Espaçamento espectral de **30 GHz** (0,24 nm)

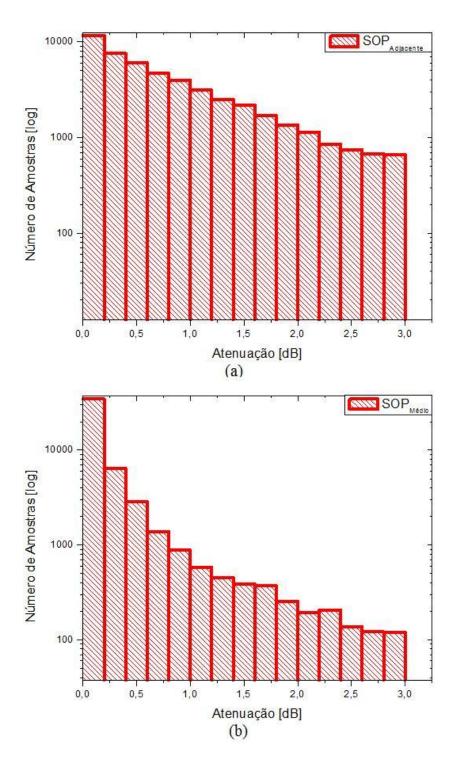
Para um espaçamento espectral de 30 GHz e um emulador de 3,5 ps, nota-se que a Figura 33 (a), referente à distribuição estatística da atenuação de Canal<sub>1</sub> (SOP<sub>Adjacente</sub>) em relação ao Canal<sub>2</sub>, apresenta um atenuação inferior à 2,0 dB para grande parte dos eventos. Enquanto que a Figura 33 (b), referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> em relação Canal<sub>2</sub>, apresenta muitos eventos com menos de 0,6 dB de atenuação.



**Figura 33:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 3,5 ps e  $\Delta\omega$  = 30 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

## 6.4) Espaçamento espectral igual a **50 GHz** (0,4 nm)

A Figura 34 (a), que retrata a distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>1</sub> em relação ao Canal<sub>2</sub>, e a Figura 34 (b), referente à distribuição estatística da atenuação do Canal<sub>Médio</sub> em relação ao Canal<sub>2</sub>, apresentam eventos com atenuação inferior à 3,0 dB. Contudo, a distribuição ilustrada na Figura 34 (b) apresenta melhores resultados. Enquanto que a Figura 34 (a) tem aproximadamente muitos eventos com 3,0 dB de atenuação, para este mesmo índice de perda a Figura 34 (b) tem bem menos eventos. Isto mostra que a influência do desalinhamento entre os SOP<sub>1</sub> e SOP<sub>2</sub> é bem maior que o desalinhamento entre SOP<sub>Médio</sub> e o SOP<sub>2</sub>.



**Figura 34:** Atenuação [dB] x Números de Amostras, para PMD = 3,5 ps e  $\Delta\omega$  = 50 GHz. (a) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>1</sub>. (b) Atenuação do SOP<sub>2</sub> em relação ao SOP<sub>Médio</sub>.

Observando as figuras apresentas a partir do item 4, foi possível perceber que o aumento do valor de PMD associado ao aumento do espaçamento espectral entre os SOPs dos canais acarreta em um desalinhamento progressivo da polarização do SOP do canal de referência. À medida que o espaçamento diminui os resultados se tornam mais satisfatórios.

Desta forma, para um baixo valor de PMD associado a um pequeno espaçamento entre os estados de polarização dos canais, a implementação de um controle de polarização sendo realizado pelo  $Canal_{M\acute{e}dio}$  ( $SOP_{M\acute{e}dio}$ , que é dado pelo vetor médio de  $SOP_1$  e  $SOP_3$ ), se mostrará mais eficiente do que se o controle for realizado pelo  $Canal_1$  (chamado nas figuras de  $SOP_{Adjacente}$ ).