

4 Estimação do Coeficiente de PMD em Enlaces Ópticos

4.1 Descrição da Avaliação através do Método 1

A avaliação da metodologia para a especificação estatística do máximo valor do coeficiente de PMD em enlaces ópticos, PMD_Q , para um certo processo de distribuição, foi realizada em dois backbones da Intelig Telecomunicações Ltda. O estudo consistiu na comparação entre os resultados obtidos teoricamente pela utilização das três técnicas estatísticas recomendadas pelo Método 1 da recomendação TIA/EIA TSB 107: Técnica de Monte Carlo, Modelo Gama e Teoria do Limite Central Generalizado, com as medidas realizadas em campo nos enlaces de fibra das seções amplificadas destes dois backbones. Backbone #1 entre as cidades de Belo Horizonte e Salvador e backbone #2 entre Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

As especificações de infra-estrutura, tais como: profundidade e largura de vala, diâmetro externo/interno de dutos, travessias e outras soluções de engenharia foram as mesmas para os dois backbones. Estes dois backbones foram instalados ao longo de uma ferrovia entre as cidades. As especificações da fibra óptica e do cabo óptico também foram as mesmas para os dois backbones, com exceção do comprimento dos cabos ópticos que no backbone #1 foi de 8 Km e no backbone#2 foi de 5 Km.

Os fornecedores dos cabos ópticos entregaram à Intelig, conforme um critério de amostragem, os valores medidos do coeficiente de PMD das fibras cabeadas de todos os cabos fornecidos para os dois backbones. Esta amostragem foi acertada de acordo com um critério previamente estabelecido para que se pudesse realizar os estudos desejados e permitir a posterior comparação com as medidas realizadas em campo.

Na avaliação pelo Método 1, todas as medidas de coeficiente de PMD dos cabos recebidos dos fabricantes para estes dois backbones foram consideradas para a formação do respectivo universo de fibras de cada fabricante. A amostragem de $N=100$ fibras cabeadas utilizadas para a interação pela Técnica

de Monte Carlo foi retirada do universo de cada fabricante conforme uma escolha aleatória realizada por um software.

O backbone #1 entre as cidades de Belo Horizonte e Salvador possui um comprimento de 1650 Km com dezesseis (16) seções amplificadas e dois *sites* de regeneração. Neste backbone foram utilizados dois diferentes Fabricantes de cabos ópticos. Em quatro enlaces deste backbone #1 foram utilizados somente cabos de um Fabricante A. Em outras seis seções foram utilizados somente cabos ópticos do Fabricante B e nas seis seções restantes foram usados cabos de ambos os Fabricantes, A e B. Estas seções, onde se utilizaram cabos dos dois fabricantes simultaneamente não fazem parte deste estudo. O comprimento de todas as seções amplificadas e o fornecedor do cabo utilizado em cada seção está relacionado na Tabela 2.

Enlace	Distância	Fornecedor
Belo Horizonte – Sete Lagoas	101,4 Km	A
Sete Lagoas - Curvelo	110 Km	A+ B
Curvelo – Augusto Lima	100 Km	A
A. Lima – E. Navarro	117 Km	A+B
E. Navarro – M. Claros	101 Km	A+B
M. Claros – Messias Lopes	104 Km	A+B
Messias Lopes - Catuti	108 km	A+B
Catuti - Urandi	93 Km	A
Urandi - Caculé	94 Km	A
Caculé - Brumado	81 Km	B
Brumado - Contendas	112 Km	B
Contendas - Iramai	90,3 Km	B
Iramia - Iaçú	126,7 Km	B
Iaçú - Petim	120 Km	B
Petim – Sto. A. Purificação	103 Km	A + B
Sto A. Purificação – Paripe	87 Km	B

Tabela 2 - Seções do backbone #1

O backbone #2, entre as cidades de Belo Horizonte e Rio de Janeiro, possui um comprimento de 565 Km com 7 seções amplificadas. Este backbone

não possui site de regeneração. Neste backbone foram utilizados cabos ópticos de somente um Fabricante: C. O comprimento destas seções está relacionado na Tabela 3.

Enlace	Distância	Fabricante
Barão de Vassouras	*	C
Barão de Vassouras – Três Rios	74,6 Km	C
Três Rios – Juiz de Fora	81,3 Km	C
Juiz de Fora - Barbacena	109,3 Km	C
Barbacena – Conselheiro Lafaiete	105,8 Km	C
Conselheiro Lafaiete - Moeda	104,3 Km	C
Moeda – Belo Horizonte	109,4 Km	C

Tabela 3 - Seções do backbone #2, (*) Seção desconsiderada neste estudo

Os fabricantes A e C mediram 33% das fibras cabeadas, respectivamente 7845 e 4125 fibras, conforme o critério de amostragem acertado. Estes dois fornecedores utilizaram um equipamento de varredura de comprimento de onda para as medidas em fábrica. O Fabricante B, mediu todas as fibras dos cabos ópticos entregues, 6574 fibras, e utilizou um equipamento de técnica interferométrica para a realização das medidas de coeficiente de PMD. As medidas dos enlaces de fibra nas seções do backbone #1, bem como no backbone #2, foram realizadas com um equipamento de técnica interferométrica. Vale salientar que o CETUC da PUC-RJ realizou as medidas em campo em ambos backbones.

4.2 Definições de Cálculo

O comprimento dos cabos utilizados no backbone #1 foi 8 Km. Este foi o valor usado como o comprimento de referência do cabo, L_{cab} , para a elaboração do enlace de referência para as metodologias estatísticas.

Para este backbone, o valor considerado para o comprimento do enlace de referência, L_{ref} , foi o do valor do comprimento típico das 16 seções amplificadas, 120 Km. Sendo assim, o enlace de referência / seção amplificada de referência,

$L_{ref} = 120$ km e conseqüentemente, o número de seções de cabos, M , utilizada em cada seção amplificada foi 15.

No backbone #2, o comprimento dos cabos utilizados foi 5 Km, conseqüentemente este foi o valor adotado como de referência para a seção de cabo, L_{cab} , para a elaboração do enlace / seção amplificada de referência para a metodologia estatística. Da mesma forma que no backbone #1, o valor assumido para o comprimento do enlace de referência, L_{ref} , foi o do valor do comprimento típico das seções amplificadas, 100 Km. Com um enlace de referência / seção de referência, $L_{ref} = 100$ km, o número de seções de cabos, M , utilizada em cada seção foi 20.

Abaixo estão as Figuras 12, 13 e 14 representativas dos universos das fibras medidas fornecidas à Intelig pelos fornecedores A, B e C respectivamente. Nas mesmas figuras encontram-se na janela acima os gráficos das amostras das 100 medidas escolhidas aleatoriamente por um software para a interação por Monte Carlo e demais técnicas estatísticas. As amostras das fibras escolhidas dos três fabricantes são extremamente representativas do universo do qual fazem parte. As fibras com valores mais altos de PMD presentes no universo dos três fabricantes estão representadas proporcionalmente nas amostras escolhidas.

Pode-se perceber que para os cabos de 8 Km, o valor da média correspondente da PMD é 0,16 ps. O valor limite típico para a medida de PMD com técnicas comerciais é $\sim 0,1$ ps, um valor que da margem a um limite $\sim 0,04$ ps/Km^{1/2} para o correspondente coeficiente de PMD. Desta constatação percebe-se que todos os coeficientes de PMD de B estão de fato abaixo da sensibilidade comercial dos equipamentos, enquanto que os dados de A estão próximos da realidade, embora muito perto do limite.

Percebe-se pelos 2 picos no gráfico do universo das fibras cabeadas medidas pelo Fabricante C que este utilizou fibras de 2 fabricantes diferentes. O coeficiente de PMD destes cabos de 5 Km também está abaixo do limite dos equipamentos comerciais.

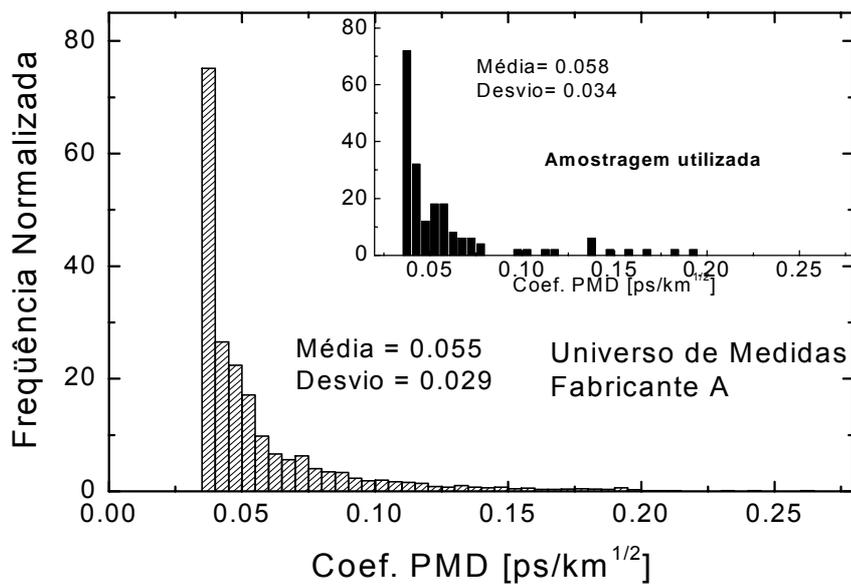


Figura 12 - Universo e amostragem do coeficiente de PMD do fabricante A

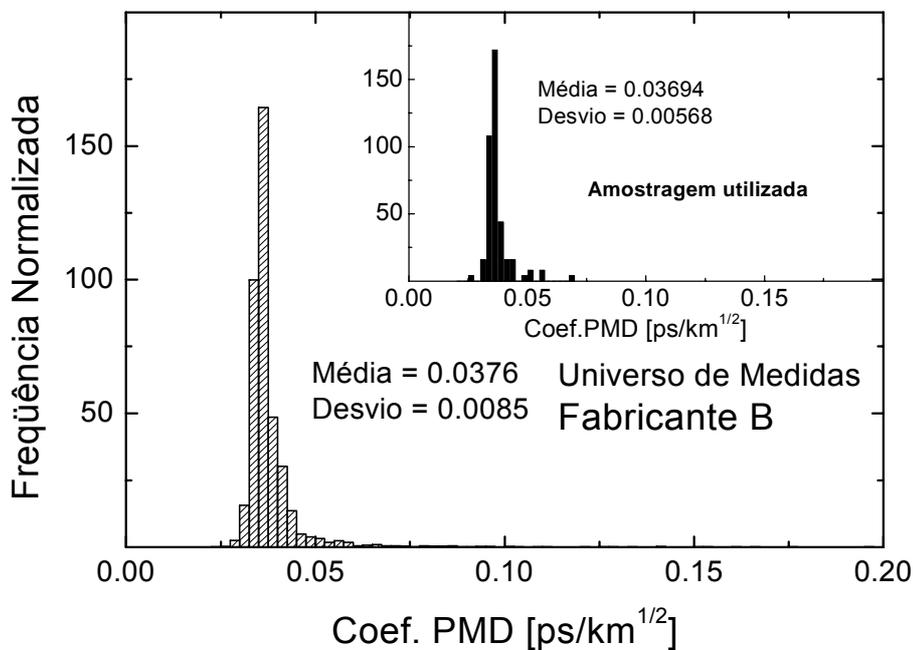


Figura 13 – Universo e amostragem do coeficiente de PMD do Fabricante B.

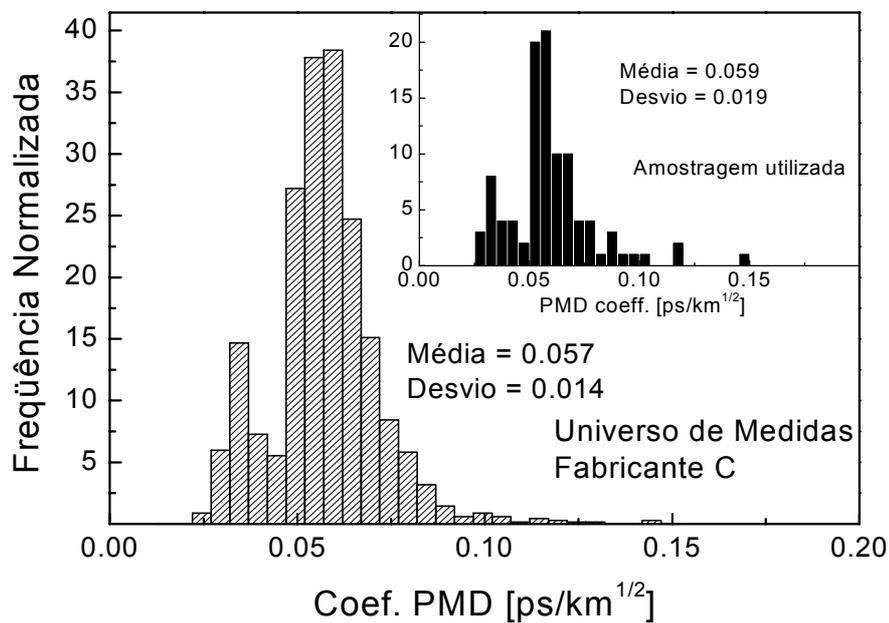


Figura 14 - Universo e amostragem do coeficiente de PMD do Fabricante C

4.3 Resultados Obtidos pela Técnica de Monte Carlo

A estatística resultante apresentada na Figura 15 revela a diferença entre os valores obtidos através das 100 mil repetições realizadas pela Técnica de Monte Carlo, visando determinar o máximo valor do coeficiente de PMD do enlace de fibra / seção amplificada, e os valores medidos dos enlaces de fibras / seções amplificadas das 4 seções amplificadas onde se utilizaram cabos do Fabricante A. Foram medidos em campo 25% dos enlaces de fibra de cada seção.

Percebe-se que o valor médio dos enlaces de fibra das seções medidas é 12% menor que o valor médio das simulações com uma distribuição levemente alargada. O máximo valor encontrado para o coeficiente de PMD do enlace, PMD_Q , foi 0,108 ps/Km^{1/2}. Isto significa dizer que a probabilidade de um valor do coeficiente de PMD do enlace / seção amplificada ser maior que PMD_Q é menor que 1E-04.

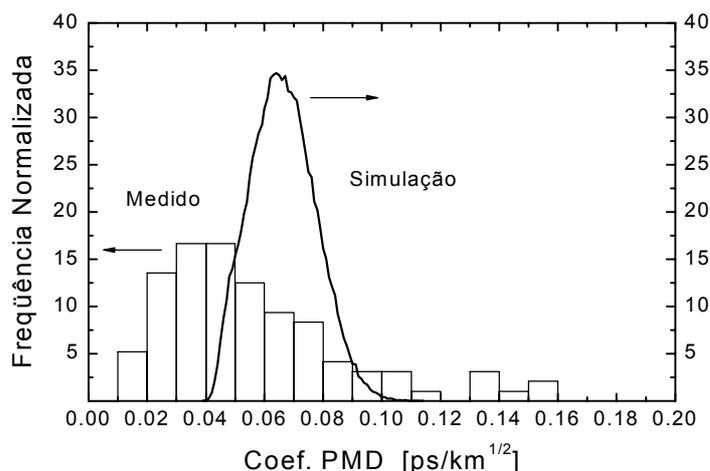


Figura 15 - Valores medidos versus simulação estatística para o Fabricante A.

A Figura 16 revela a diferença entre os valores obtidos através das 100 mil interações resultantes da aplicação da Técnica de Monte Carlo e os valores medidos dos enlaces de fibra das 6 seções amplificadas onde se utilizaram cabos do Fabricante B. Da mesma forma foram medidos em campo 25% dos enlaces de fibra de cada seção.

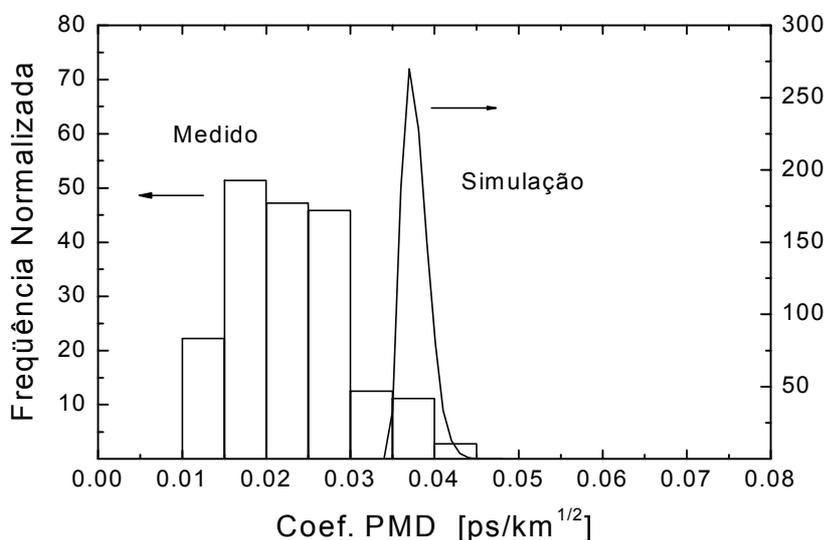


Figura 16- Valores medidos versus simulação estatística para o Fabricante B.

Na avaliação destas seções amplificadas percebe-se que o valor resultante da simulação claramente ultrapassa a distribuição das medidas realizadas. O valor médio obtido com as simulações é praticamente o dobro da média dos

valores medidos. Para o Fabricante B, o máximo valor do coeficiente de PMD do enlace / seção amplificada, PMD_Q , foi $0,045 \text{ ps/Km}^{1/2}$. Isto é: a probabilidade que um coeficiente de PMD do enlace ser maior que, PMD_Q , é maior que 99,99%.

A Figura 17 mostra a comparação entre os valores medidos e os valores das cem mil interações resultantes da Técnica de Monte Carlo para as seções do backbone #2, onde se utilizaram somente os cabos do Fabricante C. Neste backbone mediram-se em campo 50% dos enlaces de fibras das seções amplificadas. A superestimação dos valores calculados é ainda mais acentuada, provavelmente devido às seções de cabos serem de menor comprimento, 5 km, resultando em medidas ainda menos precisas do coeficiente de PMD. O valor médio das cem mil interações é praticamente três vezes superior a média dos valores medidos em campo.

Uma observação importante com relação à Figura 17 é que alguns enlaces de fibras desta seção apresentaram valores de PMD do enlace acima do valor máximo da escala, de $0,06 \text{ ps/Km}^{1/2}$. Esta escala foi propositalmente fixada para que se pudesse visualizar a discrepância entre o resultado dos valores obtidos através das interações e os valores medidos.

Para as seções deste backbone #2, o valor encontrado para o máximo valor do coeficiente de PMD, PMD_Q , foi $0,084 \text{ ps/Km}^{1/2}$. Isto significa dizer que a probabilidade de um coeficiente PMD do enlace ser maior que este, PMD_Q , é menor que $1E-04$.

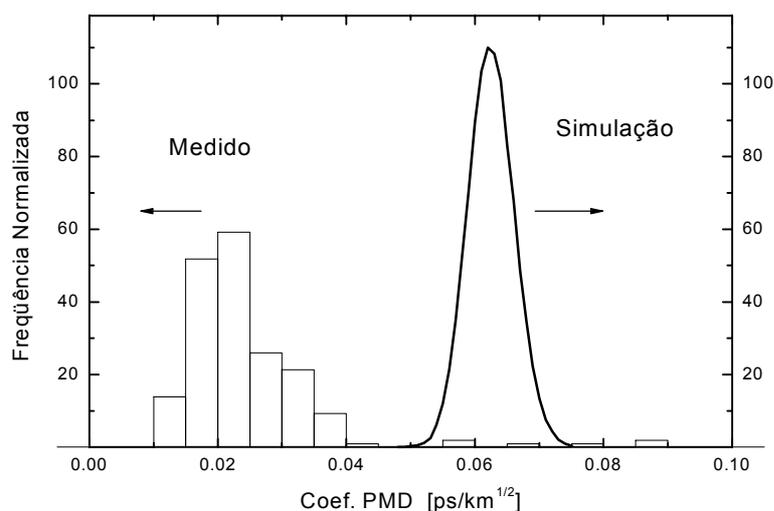


Figura 17- Valores medidos versus simulação estatística para o Fabricante C.

Os valores de PMD_Q resultantes do cálculo de Monte Carlo para as seções dos três Fabricantes mostraram que estas seções suportariam não só a hierarquia STM-64 (10 Gbit/s), mas também a hierarquia STM-256 (40 Gbit/s), onde para um enlace de 400 KM, o valor de coeficiente de PMD exigido para esta hierarquia é $0,125 \text{ ps/Km}^{1/2}$. Na realidade alguns enlaces de fibras onde se utilizaram fibras dos Fabricantes A e C não suportariam a hierarquia STM-264 e ultrapassaram o valor obtido para PMD_Q por Monte Carlo.

Este fato revela um ponto crítico com relação à utilização desta metodologia, pois apesar da mesma utilizar uma amostragem representativa do universo, a mesma não consegue prever estas discrepâncias. Um fato importante não considerado pelo método é que apesar da PMD ser estatística a instalação dos cabos não o é completamente. Esta observação justifica alguns destes altos valores encontrados nos enlaces.

Para esclarecer o raciocínio acima se deve considerar o processo de fabricação dos cabos ópticos. As fibras ópticas são processadas durante a fabricação do cabo no seu comprimento integral. As mesmas são normalmente cortadas no último processo de extrusão de capa quando os cabos são fracionados no comprimento designado. Exemplificando: uma fibra com alto valor de PMD e com comprimento de 25 Km é pintada em amarelo e inserida no tubo verde, originando cerca de 5 cabos com a mesma fibra amarela no tubo verde com um alto valor de PMD. Muito provavelmente estes cabos são posteriormente transportados em conjunto para uma mesma seção amplificada de um backbone quando da implantação de rotas de longas distâncias, sendo então emendados em campo.

Isto realmente aconteceu em todas as seções avaliadas: cabos com número de identificação de fabricação (lotes e lances de fabricação) em seqüência na mesma seção. O que justifica que alguns enlaces tenham apresentado estes altos valores de PMD. A mesma fibra original fracionada no último processo de fabricação do cabo foi emendada em campo devido a uma lógica estrutura de logística. O método por não selecionar a mesma fibra mais de uma vez quando do cálculo de um enlace, definitivamente não conseguirá estimar estes valores que são reais, mas discrepantes com relação a média dos valores medidos, apesar do método superestimar o valor de PMD_Q .

Observa-se que devido o comprimento dos cabos ser pequeno, 8 Km para o backbone #1 e 5 Km para o backbone #2, as medidas do coeficiente de PMD são mais imprecisas. Outro ponto de imprecisão decorre dos valores de coeficiente de PMD serem muito baixos, próximos ou abaixo do fundo de escala

do equipamento. Conforme relatado no capítulo 2 o limite dos equipamentos comerciais para a medida do coeficiente de PMD é $\sim 0,04 \text{ ps/Km}^{1/2}$. Conseqüentemente quanto menor for este valor do coeficiente de PMD, mais imprecisa é a medida.

Os cabos ópticos utilizados em backbones terrestres têm em sua grande maioria comprimento abaixo de 10 Km. As seções amplificadas têm um comprimento máximo de 130 Km devido a capacidade dos equipamentos de amplificação disponíveis. Os equipamentos disponíveis comercialmente para a medida da PMD também conseguem medir em sua grande maioria seções com este comprimento. As fibras fabricadas atualmente apresentam valores extremamente baixos de PMD. Ao serem cabeadas, o fracionamento destas fibras ópticas não permite uma medição mais precisa do coeficiente de PMD com os equipamentos comerciais disponíveis no mercado, gerando assim uma superestimação do coeficiente de PMD medido.

Considerando a amplitude do estudo realizado, a utilização deste método visando determinar o máximo valor do coeficiente de PMD de um enlace com o objetivo de estimar a penalidade no sistema projetado, conduz a uma superestimação do valor do coeficiente de PMD do enlace devido a imprecisão dos valores medidos e conseqüentemente a uma superestimação da penalidade a ser considerada neste sistema.

Nas seções onde os valores dos coeficientes de PMD das fibras cabeadas apresentaram valores mais altos, especificamente neste estudo nas seções onde os cabos do fabricante A foram utilizados, a metodologia apresentou ser mais ajustada e passível de utilização na determinação prévia do coeficiente de PMD do enlace. Porém, a mesma não é adequada no caso de fibras com baixo valor de PMD, conforme observado nas seções em que os cabos dos Fabricantes B e C foram utilizados.

Para que se evite este erro de superestimação da penalidade, ou se altera a metodologia adotada para a determinação estatística do máximo valor do coeficiente de PMD do enlace ou se produzem equipamentos comerciais com maior sensibilidade e precisão para medir o coeficiente de PMD.

Com relação à metodologia, um ponto a ser considerado para uma readequação desta recomendação é ao invés de se utilizar o valor de PMD das fibras cabeadas, utilizar exclusivamente o valor do coeficiente de PMD das fibras nuas, antes do cabeamento. Esta recomendação é citada na metodologia, porém passa a ser imperativa. Por possuir comprimento muito maior, as fibras nuas, na sua grande maioria acima de 25 Km, a medida do coeficiente de PMD

das mesmas é conseqüentemente mais precisa. Para isto a relação do coeficiente de PMD da fibra antes de ser cabeada e após o cabeamento deve ser conhecida pelo fabricante. Este fator é importantíssimo para que se evite distorções devido a um processo fabril inadequado.

A não utilização da mesma fibra mais de uma vez no cálculo de interação de um enlace / seção amplificada por Monte Carlo, visando englobar a possível repetição desta fibra em um mesmo enlace de fibra, não permite a estimação de enlaces com valores de PMD mais altos, porém discrepantes em relação a média dos valores medidos em campo.

Uma readequação da metodologia para que se permita a utilização de um mesmo valor de PMD de uma fibra no cálculo de Monte Carlo induzirá ainda mais a uma superestimação do valor de PMD_Q , principalmente onde o universo/amostras de fibras utilizadas no backbone tenham valores muito alto de PMD. Ao querer englobar estas poucas discrepâncias observadas nos valores medidos em campo e não retratadas no cálculo, se estaria aumentando ainda mais a discrepância entre o valor de PMD_Q e os valores medidos em campo. Como por exemplo para o caso das seções onde o Fabricante C foi utilizado, a diferença entre a média dos valores medidos seria 4 vezes menor que a média dos valores obtidos através de Monte Carlo. O Valor de PMD_Q que seria obtido em certos casos limitaria a hierarquia a ser utilizada com a conseqüente superestimação das penalidades para todos os enlaces e não somente para àqueles onde se constatou através das medidas em campo e que apresentaram valores altos de PMD.

4.4

Resultados Obtidos pelo Modelo Gama e Teorema do Limite Central Generalizado

Na Tabela 4 estão relacionados os valores obtidos para o coeficiente de PMD do enlace, PMD_Q , obtido pelas três técnicas estatísticas: Monte Carlo, Modelo Gama e Teorema do Limite Central Generalizado; para as seções dos 2 backbones.

O valor obtido, independentemente do método, para o máximo PMD do enlace poderá ser utilizado como o valor projetado para outros enlaces, onde os mesmos possuam as mesmas características das tomadas como referência neste estudo: seções de cabos de mesmo comprimento e fibras dos mesmos fabricantes.

PMD _Q (ps/Km ^{1/2})	Técnica de Monte Carlo	Modelo Gama	Teorema Limite C. Generalizado
Fabricante A	0,108	0,110	0,118
Fabricante B	0,045	0,043	0,047
Fabricante C	0,084	0,081	0,085

Tabela 4 - Valor de PMD_Q, (ps/Km^{1/2})

Os valores encontrados para o coeficiente de PMD máximo da seção pelas três técnicas estatísticas são extremamente próximos. Para a determinação do máximo valor do coeficiente de PMD, usou-se como d_{c-j} , as cem mil interações resultantes das repetições de Monte Carlo apesar da metodologia propor um número menor de interações. Para o teorema do Limite Central Generalizado utilizaram-se como d_{c-i} os mesmos 100 valores escolhidos aleatoriamente por um software para compor a amostra dos valores a serem concatenados nas 100 mil interações por Monte Carlo.

Os valores de PMD_Q resultantes do cálculo das três técnicas para as seções dos três Fabricantes mostraram que estas seções suportariam não só a hierarquia STM-64 (10 Gbit/s), mas também a hierarquia STM-256 (40Gbit/s), onde para um enlace de 400 KM, o valor de coeficiente de PMD requerido para esta hierarquia é 0,125 ps/Km^{1/2}. As observações feitas na Seção 4.3 com relação aos valores medidos que excederam o valor calculado também são pertinentes para as outras duas técnicas.

Nas Figuras 18, 19 e 20 abaixo tem-se os gráficos do Modelo Gama obtido com a determinação dos valores de α e β para os três fabricantes. Observa-se que os gráficos apresentam o mesmo formato que os gráficos obtidos pelas interações por Monte Carlo. Uma distribuição mais ampla para o Fabricante A e uma distribuição mais concentrada para o Fabricante B.

Conforme comentado na Seção 3.3 o Modelo Gama permite extrapolações, porém possui uma característica que quando aplicado em uma série de dados, baseado em medidas que são limitadas por um valor mínimo mensurável, alguns erros podem ser gerados, pois o modelo tende a zero, mas os dados não. Neste estudo esta característica ficou atenuada, pois todas as três técnicas foram altamente influenciadas pelo limite dos equipamentos de medida,

inclusive o Teorema do Limite Central generalizado que não é afetado pela questão do valor mínimo mensurável.

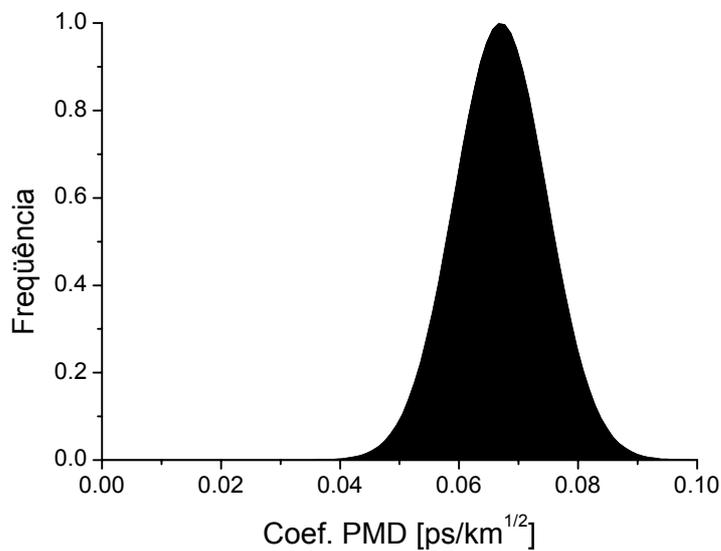


Figura 18 – Gráfico do Modelo Gama do Fabricante A.

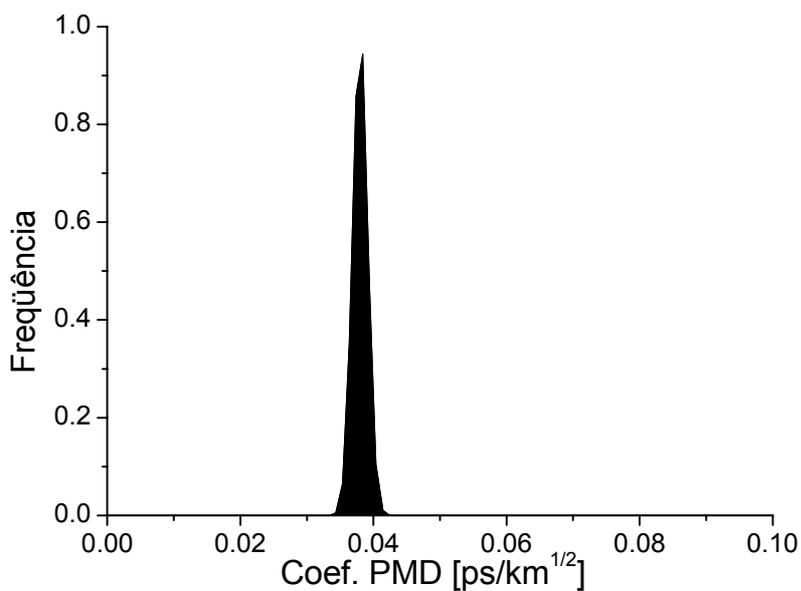


Figura 19 – Gráfico do Modelo Gama do Fabricante B.

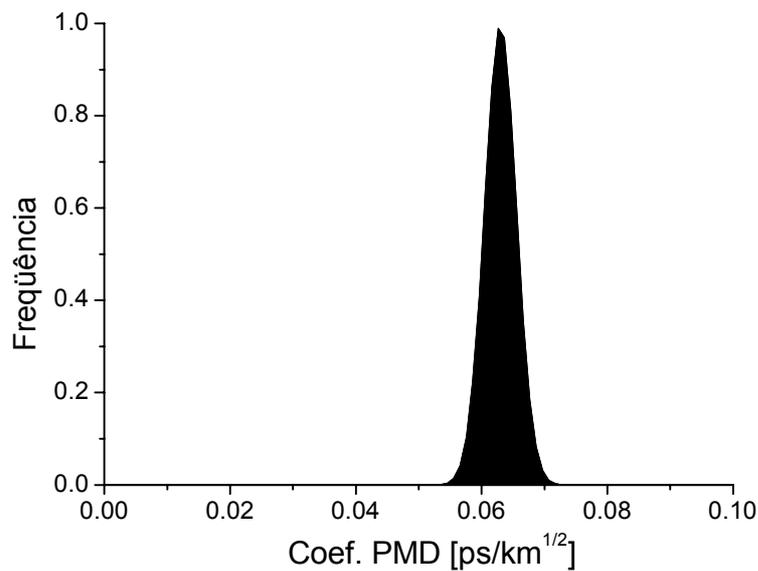


Figura 20 – Gráfico do Modelo Gama do Fabricante C.

A diferença entre os três valores encontrados estatisticamente torna-se irrelevante devido a grande diferença entre os mesmos e os valores medidos dos enlaces das fibras das seções.

4.5 Concatenação pela Média Quadrática

Um segundo estudo realizado nos backbones da Intelig consistiu na avaliação através da concatenação pela média quadrática das seções de cabos usados nas seções destes backbones, conforme a Equação 10.

Para o cálculo pela concatenação pela média quadrática, a seqüência dos cabos instalada nas seções foi retirada dos *as-builts* recebidos das empreiteiras responsáveis pelas implantações. De posse da seqüência dos cabos instalados e dos valores do coeficiente de PMD das fibras recebido de cada fabricante dos cabos, realizou-se o cálculo pela concatenação pela Média Quadrática.

Os valores obtidos com esta avaliação mostraram ser muito superiores que os valores medidos em campo. Na média foram cerca de 1,5 vez maior que os valores medidos em campo. A título de exemplificação, as Figura 21, 22 e 23

mostram a diferença entre os valores medidos e os valores concatenados das seções onde se utilizaram fibras dos Fabricantes A, B e C respectivamente.

Infelizmente nos enlaces onde o valor da PMD medida revelou-se alto, não se conseguiu realizar o cálculo de concatenação por estarem fora da amostragem previamente acertada.

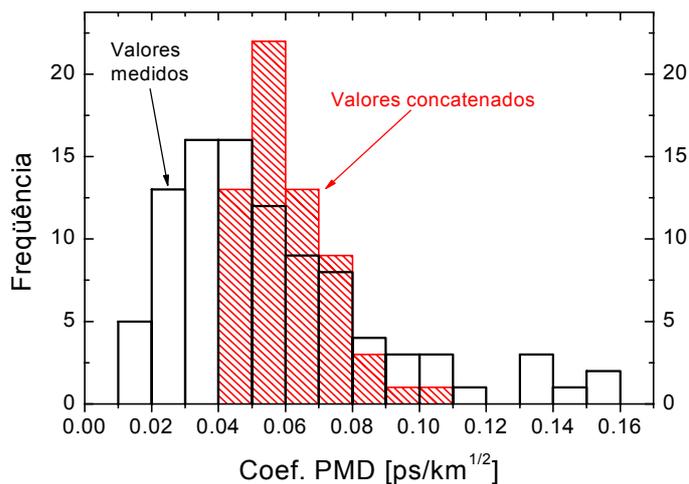


Figura 21 – Comparação entre os valores concatenados e os medidos em campo das seções do Fabricante A

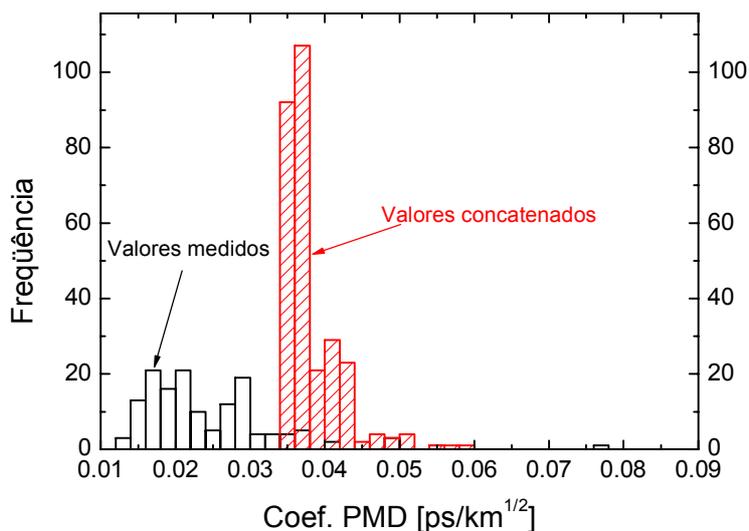


Figura 22- Comparação entre os valores concatenados e os medidos em campo das seções do Fabricantes B

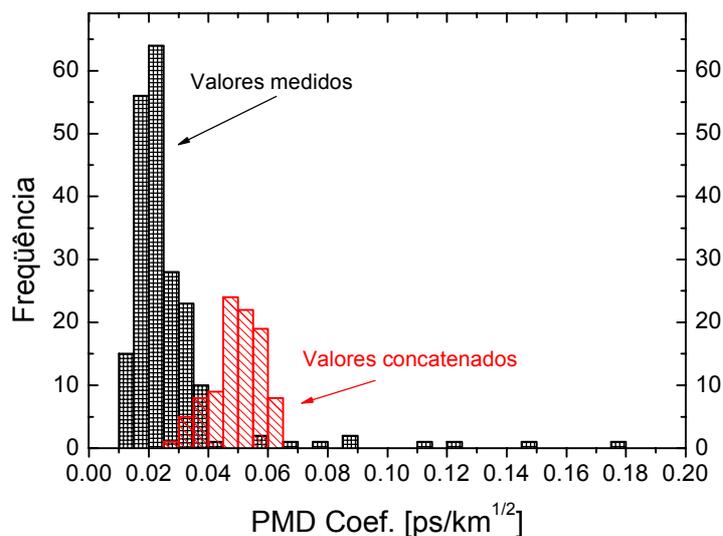


Figura 23 - Comparação entre os valores concatenados e os medidos em campo do Fabricantes C

O resultado da Concatenação pela média quadrática em comparação com os valores medidos de cada enlace de fibra das seções corrobora com as afirmações e conclusões citadas na Seção 4.3: a metodologia sobrestima o valor de PMD_Q devido aos equipamentos comerciais de medida da PMD não possuírem sensibilidade para medir valores extremamente baixos.

Apesar da diferença entre os valores medidos e os concatenados ser menor se comparado com a diferença entre os valores medidos e os obtido por Monte Carlo, Modelo Gamma e Limite Central Generalizado, a constatação da falta de sensibilidade dos equipamentos de medida é reforçada. Isto porque ao se concatenar fibra a fibra, calculou-se o valor de coeficiente de PMD do enlace da fibra (seção) conforme a instalação do enlace, sendo que cada concatenação é válida única e exclusivamente para determinado enlace de fibra (seção) e não para todos os enlaces.

Outro ponto de possível observação com relação à diferença dos valores concatenados e medidos e que altera a birrefringência das fibras e conseqüentemente o valor da PMD é a curvatura. Este fator contudo foi desconsiderado neste estudo visto que mesmo quando bobinadas as fibras

cabeadas já apresentaram valores extremamente baixos de PMD, conforme os valores apresentados pelos fabricantes das fibras.

A explicação mais consistente, baseada na avaliação dos valores extremamente baixos das fibras medidas, reforça o fato dos equipamentos comerciais utilizados para a medição do coeficiente de PMD não terem a sensibilidade suficiente para a medição de cabos curtos. Certos valores de DGD medidos pelos equipamentos estavam abaixo do range dinâmico. Quando do cálculo de PMD realizado pelos mesmos, estes valores de DGD foram penalizados e fixados na menor leitura possível. Desta forma os valores de PMD ficaram ligeiramente superiores ao valor real.

A Figura 24 abaixo é uma repetição da Figura 23 do Fabricante C, porém com uma escala maior. O objetivo é mostrar a amplitude dos valores de enlace medidos que apresentaram valores discrepantes em relação as média dos valores medidos. Além de ultrapassarem o valor obtido para PMD_Q pelas três técnicas, alguns enlaces medidos dos Fabricantes A e C e somente um enlace do Fabricante B ultrapassaram também o valor do respectivo PMD do enlace calculado pela concatenação pela média quadrática. Isto se deve a emenda de fibras em campo quando da instalação dos cabos, fibras estas que foram divididas durante a fabricação do cabo, conforme a explicação detalhada relatada na Seção 4.2.

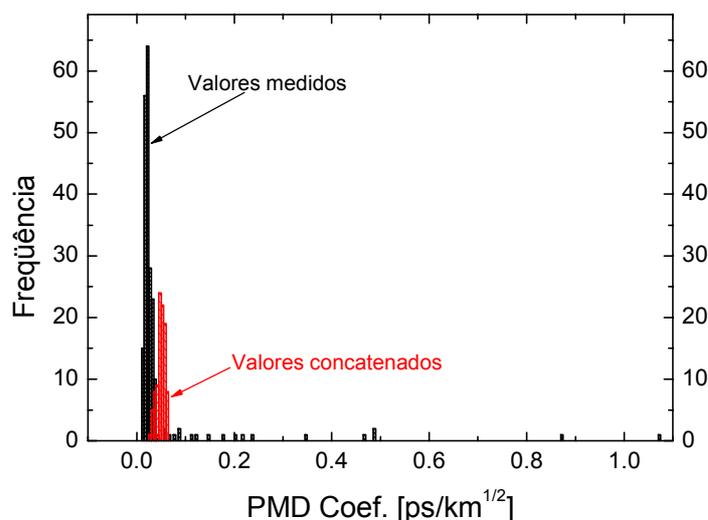


Figura 24 - Comparação entre os valores concatenados e os medidos em campo do Fabricante C

A instalação não é ou não foi tão aleatória, conforme constatado quando do levantamento da seqüência das bobinas retirado do *as-built* para o cálculo de concatenação. Nas seções dos dois backbones vários cabos de uma mesma seção, conforme identificação dos mesmos, indicaram uma seqüência de produção em fábrica, revelando a origem dos cabos a partir de uma mesma fibra natural. Seções subseqüentes apresentaram também cabos originados de uma mesma fibra natural. Isto justifica o fato de um mesmo enlace de fibra apresentar alto valor de PMD em duas seções subseqüentes. A mesma fibra original fracionada no último processo de fabricação do cabo foi emendada em campo devido a uma lógica estrutura de logística.

Conforme a descrição acima, a instalação de cabos ópticos não se realiza de forma aleatória, e sim quase de forma determinística, revelando que a determinação da PMD em enlaces ópticos não pode ser obtida pelas atuais normas de determinação estatística da PMD em enlaces ópticos.