

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MONITORAMENTO OTDR EM
WDM-PON: UM ESTUDO BASEADO EM SIMULAÇÃO**

ULISSES WEYL DA CUNHA COSTA

DM 27/2013

BELÉM - PA
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ULISSES WEYL DA CUNHA COSTA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MONITORAMENTO OTDR EM
WDM-PON: UM ESTUDO BASEADO EM SIMULAÇÃO**

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de computação aplicada.

Orientador: Carlos Renato Lisboa Francês

BELÉM - PA
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MONITORAMENTO OTDR EM WDM-PON: UM
ESTUDO BASEADO EM SIMULAÇÃO**

AUTOR: ULISSES WEYL DA CUNHA COSTA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFPA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM 08/11/2013

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês
(Orientador UFPA)

Prof. Dr. Diego Lisboa Cardoso
(Membro Externo UFPA/FCT)

Prof. Dr. João Claudio Chamma Carvalho
(Membro Externo UFPA/Bragança)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes
(COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois é através dele que podemos realizar nossos sonhos, mesmo que esses muitas vezes possam ser distantes.

A minha amada família de todos os dias que é gerenciada pela minha amada esposa Suelen Costa e meus queridos filhos Henrique e Raissa, os quais me dão forças para superar todos os desafios e sem eles eu nada seria.

Aos meus avós paternos Josefa e Zenito (em memória), pois tudo que aprendi de valoroso foi pelos ensinamentos deles.

Aos meus pais José e Teca que sempre estão presentes em minha vida e de minha família.

A todos meus familiares, que sempre acreditaram em mim e me deram todo apoio possível, principalmente ao meu querido tio João que sempre esteve próximo encaminhando e dando bons exemplos.

Agradeço ao meu irmão Romulo Weyl pela força e presença em minha vida, me incentivando a continuar correndo atrás dos objetivos.

Ao meu orientador Renato Francês, que me ajudou muito na realização deste trabalho.

A todos meus amigos dos Laboratórios LEA e LPRAD (Edvar, Diego, Liviane, Marcelino, Adamo, Seruffo, Carlos e aos demais).

RESUMO

Redes Ópticas Passivas estão cada vez mais difundidas como rede de acesso de banda larga. Devido à sua importância, tais redes necessitam constantemente de supervisão. Diversas técnicas vêm sendo empregadas para supervisão de redes ópticas, dentre as quais se destacam as que utilizam reflectometria, pois agregam vantagens, tais como: baixo custo, em comparação com outros métodos de supervisão, e não exigência de intervenção na casa do usuário. Esta dissertação apresenta uma estratégia capaz de quantificar, por meio de simulações, o impacto que a técnica de reflectometria no domínio do tempo gera como interferência em transmissões típicas de uma rede WDM-PON.

Keywords: WDM-PON, FTTH, OTDR, BER, VPI, Supervisão.

ABSTRACT

Passive Optical Networks are increasingly diffused as a broadband access technology. Due to their importance, such networks demands continue supervision scheme. Different techniques could be employed for Optical Network Supervision, among them those using reflectometry have highlighted, because it offer low cost when compared with other monitoring methods and do not require intervention in the user's home. On the other hand, when doing monitoring, it is expected that this action does not influence the information signal transmitted to the subscriber. In this context, this work aims to quantify, through simulations, how the technique of time domain optical reflectometry interferes on the transmission of a WDM-PON network.

Keywords: WDM-PON, FTTH, OTDR, BER, VPI, Supervision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Arquiteturas de PON FTTx.....	4
Figura 2.2 - Arquitetura TDM-PON.....	6
Figura 2.3 - Arquitetura WDM-PON	10
Figura 2.4 - Ilustração representativa do AWG.....	12
Figura 3.1- Curva OTDR caracterizada por eventos ópticos.....	16
Figura 3.2 - Definição do Alcance Dinâmico[34].	19
Figura 3.3 - Ilustração para Evento e Atenuação de Zona Morta do OTDR.....	20
Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia empregada no trabalho.....	26
Figura 4.2 - Estrutura <i>VPITransmissionMaker</i>	28
Figura 4.3 - Ilustração da rede WDM utilizada.	29
Figura 4.4 - Estrutura da rede WDM-PON no Simulador.	30
Figura 4.5 - Central de telecomunicações constituída por todos os blocos.	30
Figura 4.6 - Configuração da fonte de sinal dos usuários	31
Figura 4.7 - Enlace Óptico no simulador.....	32
Figura 4.8 - Esquemático do Nó Remoto configurado no simulador.....	32
Figura 4.9 - Esquema interno do Nó Remoto.....	33
Figura 4.10 - Esquema que representa a ONU.	34
Figura 4.11 - Esquema do Módulo responsável pela coleta de dados da BER.	34
Figura 4.12 - Estrutura da interface de cossimulação.....	35
Figura 5.1 - Traçado OTDR extraído da simulação sem evento.	43
Figura 5.2 - Traçado OTDR com eventos.	44
Figura 5.3 - Curva da BER para a rede de 35Km.....	46
Figura 5.4 - Curva da BER para a Rede de 39Km.	47
Figura 5.5 - Curva da BER para Redes com taxa de Bits a 1 e 10Gbits/s.....	48
Figura 5.6- Esquema para monitoramento WDM	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resumo das características PON.....	9
Tabela 4.1- Parâmetros globais do esquema simulado.....	36
Tabela 4.2- Parâmetros de configuração dos usuários.	37
Tabela 4.3- Parâmetros de configuração do OTDR.	37
Tabela 4.4 - Parâmetros de configuração dos acopladores na OLT e NR.....	38
Tabela 4.5 - Parâmetros configurados para simulação da fibra.....	39
Tabela 4.8 - Parâmetros inseridos para configurar o módulo de BER.	41
Tabela 4.9 - Parâmetros de configuração de cossimulação.	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Arrayed Waveguide Grating
BER	Bit Error Rate
BPON	Broadband Passive Optical Network
CW	Continuous Wave
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation
DSL	Digital Subscriber Line
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier
EPON	Ethernet PON
FPR	Free Propagation Range
FSR	Free Spectral Range
FTTB	Fiber to the Building
FTTC	Fiber to the Curb
FTTN	Fiber to the Node
FTTP	Fiber to the Premises
FTTx	Fiber to the “x”
GEM	Generic Framing Method
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Network
HFC	Híbrido Fiber Coax
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU	International Telecommunication Union
MPLS	Multiprotocol label switching
NIU	Network Interface Unit
OADM	Optical Add Drop Multiplexing
ODN	Optical Division Network
OFDR	Optical Frequency Domain Reflectometry
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Terminal

ONU	Optical Network User
OTDR	Optical Time Domain Reflectometry
OXC	Optical Crossconnect
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Service
RS	Raileigh Scattering
TDM	Time Division Multiplexing
WDM	Wavelength Division Multiplexing

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2	REDE ÓPTICA PASSIVA	3
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
2.2	REDES ÓPTICAS PASSIVA	3
2.2.1	TDM e WDM	4
2.2.2	TDM	5
2.2.2.1	Broadband PON	6
2.2.2.2	Ethernet PON	7
2.2.2.3	Gigabit PON	8
2.2.3	WDM.....	9
2.3	COMPONENTES WDM-PON.....	10
2.3.1	AWG	11
2.3.1.1	Faixa Espectral Livre (FSR).....	13
2.3.1.2	Crosstalk.....	13
2.3.2	Vantagens de WDM-PON.....	13
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	14
3	SUPERVISÃO WDM-PON.....	15
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
3.2	OTDR	15
3.2.1	Princípio de funcionamento	15
3.2.2	Eventos	18
3.2.2.1	Alcance Dinâmico	19
3.2.2.2	Zona Morta	20
3.2.3	Métodos OTDR existentes.	21
3.3	OFDR	24
3.4	COMPARAÇÃO ENTRE OTDR E OFDR.....	24
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
4	METODOLOGIA PARA ESTUDO DO IMPACTO DA SUPERVISÃO OTDR EM REDES WDM-PON.....	26
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	26
4.2	METODOLOGIA	26

4.2.1	Software de Simulação	27
4.2.1.1	O Software <i>Optisystem</i>	27
4.2.1.2	VPITransmissionmaker	27
4.2.2	Modelagem do Sistema	29
4.2.2.1	OLT	30
4.2.2.2	Enlace Óptico	31
4.2.2.3	Nó Remoto	32
4.2.2.4	ONU	33
4.2.2.5	Medidor da BER.....	34
4.2.2.6	Cossimulação	35
4.3	MÉTRICA DE ANÁLISE	35
4.4	PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO.....	36
4.4.1	OLT	36
4.4.1.1	Parâmetros das fontes do sinal	37
4.4.1.2	OTDR	37
4.4.1.3	Acoplador	38
4.4.2	Enlace óptico	38
4.4.3	Nó Remoto	39
4.4.3.1	Acoplador Demultiplexador	39
4.4.3.2	Switch Óptico 1x32	39
4.4.3.3	AWG	40
4.4.3.4	Acoplador Multiplexador	40
4.4.4	ONU e Medidor de BER	41
4.4.5	Cossimulação	41
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
5	RESULTADOS OBTIDOS.....	43
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	43
5.2	CASO I.....	43
5.3	CASO II.....	45
5.4	CASO III	47
5.5	ANÁLISE PARA OS CASOS II E III	48
5.6	ESTUDOS DESENVOLVIDOS PELA EQUIPE DE PESQUISA.....	49
5.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
6	CONCLUSÃO	51

6.1	CONSIDERAÇÕES	51
6.2	CONTRIBUIÇÕES	51
6.3	DIFICULDADES	52
6.4	TRABALHOS FUTUROS	53
6.5	DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NESTE TRABALHO.....	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	APÊNDICE A: CÓDIGOS MATLAB PARA COSSIMULAÇÃO	58

1 INTRODUÇÃO

Novos serviços típicos de entretenimento para clientes privados, principalmente vídeo sob demanda, exigem cada vez mais capacidade nas redes de telecomunicações e, em particular, nas redes de acesso. Neste sentido, diversas alternativas vem sendo criadas, visando prover maiores larguras de banda e melhores taxas de transmissão. Um exemplo disso são as tecnologias xDSL, que usando o par trançado como meio de transmissão, permitem o aumento da largura de banda a pequenas e médias distâncias.

Mais recentemente, uma alternativa vem se apresentando como viável: as redes ópticas, especificamente redes ópticas passivas (PON). A forma como a rede óptica é interligada está diretamente relacionada à tecnologia de transmissão e ao modo como tal rede é implementada. Devido à constante demanda por maiores larguras de banda, a tradicional multiplexação por divisão de tempo (*Time Division Multiplexing*) em redes ópticas passivas tem dificuldade em suprir a demanda, embora grande parte das PONs comerciais (incluindo BPON, GPON e EPON) se enquadrem nessa categoria [1]. Nesse sentido, a PON baseada em multiplexação por divisão de comprimento de onda (*Wavelength Division Multiplexing*) tem sido considerada uma poderosa técnica capaz de prover maior vazão, quando comparada à rede anterior. Os países asiáticos têm demonstrado grande interesse por WDM-PON, como relatado em [2].

Visando a evitar a queda de serviço prestado por tais redes, técnicas de monitoramento vêm sendo adotadas para testar o enlace e verificar possíveis falhas. Entre as técnicas baseadas em reflectometria, o OTDR (*Optical Time Domain Reflectometry*) é o mais aplicado [2]–[6]. Contudo, existem outras técnicas de supervisão, tal como o OFDR (*Optical Frequency Domain Reflectometry*).

Diante da importância que atualmente possui o OTDR, esta dissertação tem por *objetivo apresentar um estudo baseada em simulações, visando a mensurar o impacto que a supervisão via OTDR provoca em redes WDM-PON.*

Como resultado da pesquisa realizada, pretende-se proporcionar as seguintes contribuições:

- Proposição de uma estratégia aplicável, factível e flexível, capaz de realizar estudos de planejamento de redes PON, mensurando o impacto de supervisão OTDR.

- Apresentação de uma visão da importância das redes ópticas passivas para proporcionar melhor qualidade de serviços prestados pelas operadoras de telecomunicações em função da sua característica de alta capacidade de banda proporcionada pelo desenvolvimento das novas gerações de WDM-PON.
- Ilustração da penalidade que o canal de supervisão provoca ao ser inserido na WDM-PON com objetivo de mensurar esse monitoramento na rede sem que haja interferência ou queda no serviço prestado ao usuário.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está segmentada conforme a descrição dos capítulos a seguir:

- No Capítulo 2 serão apresentadas as redes ópticas de acesso, caracterizando as gerações desta tecnologia. Serão apresentados os componentes estruturais utilizados na operação de uma WDM-PON;
- O Capítulo 3 apresenta a teoria para supervisão de redes ópticas, dando ênfase para o método de reflectometria no domínio do tempo, sendo discutidos alguns casos existentes para aplicação no monitoramento das redes ópticas.
- O Capítulo 4 traz a metodologia utilizada para o desenvolvimento desta dissertação, onde serão apresentados os esquemas simulados com os respectivos detalhes para o modelamento de tais esquemas;
- O Capítulo 5 mostra os resultados das simulações, obtidos a partir metodologia do Capítulo 4, analisando detalhadamente caso a caso.
- O Capítulo 6 apresenta as conclusões desta dissertação, enfocando as principais contribuições, dificuldades encontradas e possíveis desdobramentos em trabalhos futuros.

2 REDE ÓPTICA PASSIVA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O capítulo 2 apresenta o conceito de redes ópticas, incluindo uma visão de todas as gerações. Neste contexto, características como largura de banda para *downstream* e *upstream*, forma de processamento e roteamento de cada tecnologia, são apresentadas e discutidas.

2.2 REDES ÓPTICAS PASSIVA

Ao longo do tempo, as redes PON se tornaram a principal rede de acesso utilizada pelos provedores de serviços. Sua composição consiste, basicamente, de um terminal de enlace óptico (*Optical Line Terminal* - OLT), uma rede de distribuição óptica (*Optical Distribution Network* - ODN) e uma determinada quantidade de usuários ou ONU (*Optical Network User*), caracterizado também como ONT. A principal característica das redes PON é o fato de estas utilizarem apenas componentes ópticos passivos ao longo do enlace, isto é, não necessitam de energia elétrica (i. e. Acopladores, Divisores WDM, Grades de Bragg).

Na rede PON, um OLT representa uma terminação ou início em um enlace ponto-a-ponto, que multiplexa múltiplos comprimentos de onda dentro de uma única fibra, assim como demultiplexa uma composição feita por sinais WDM em comprimentos de onda individuais. Três elementos funcionais encontram-se dentro de um OLT: *transponders*, multiplexadores de comprimento de onda e amplificadores ópticos. O *transponder* é responsável por adaptar um sinal que chega de um usuário para um sinal apropriado para o uso dentro da rede óptica. Da mesma forma, ele também adapta o sinal proveniente da rede para um sinal apropriado ao cliente [7]. A Figura 2.1. mostra de forma esquemática a estrutura básica de uma arquitetura PON (*Fiber to the "x"*- FTTx), a qual representa uma rede óptica que direciona-se a uma determinada terminação "x", podendo chegar a um prédio, ao armário de telecomunicações ou até a residência do assinante.

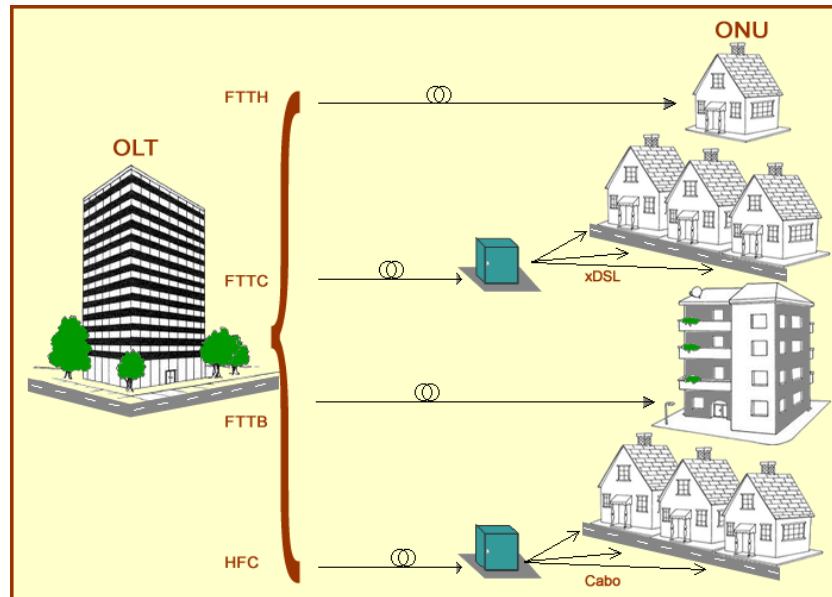


Figura 2.1- Arquiteturas de PON FTTx.

As redes PON podem ser classificadas de acordo com o modelo FTTx:

- *Fiber to the home* (FTTH), ou fibra até a residência do usuário final [8].
- *Fiber to the building* (FTTB), onde a fibra vai até o prédio e a distribuição para os assinantes são feitas através de uma rede Ethernet tendo como meio o cabo coaxial ou o par de cobre.
- *Fiber to the curb* (FTTC), onde a fibra vai até um armário na rua e a distribuição para os assinantes naquela vizinhança é através de VDSL2 ou Ethernet, tendo como meio o cabo coaxial ou o par de cobre.

Existem ainda as redes Híbridas de Fibra e Cabo (HFC), arquitetura utilizada por grande parte das operadoras de TV a Cabo.

As redes FTTH oferecem velocidades de até 100 Mbps. Com o uso crescente da banda larga e a demanda por velocidades maiores aumentaram os investimentos em redes FTTH em todo o mundo.

2.2.1 TDM e WDM

Entre as tecnologias que usam redes PON, duas se enquadram neste contexto: TDM e WDM. A principal diferença entre elas diz respeito à forma em que o sinal de informação é emitido ao usuário. Sendo assim, TDM divide o sinal de informação em janelas de tempo para cada usuário, enquanto que no WDM o sinal de informação emitido estará contido em um

determinado comprimento de onda a ser enviado a um respectivo usuário, proporcionando algumas vantagens, como: elevadas capacidades, privacidade e transparência de protocolo [1].

A tecnologia TDM hoje é extremamente confiável e evoluiu muito ao longo do tempo, apresentando Taxas de Transmissão e atualmente já existe a capacidade tecnológica para a fabricação de equipamentos que permitem taxas iguais ou superiores a 80 Gbit/s. Entretanto, esta tecnologia utiliza muito pouco da Capacidade de Transmissão de uma Fibra Óptica (segundo alguns autores menos de 1%), tem custos muito superiores quando comparado com WDM[9].

A ampliação de Sistemas TDM sempre se faz através de novos equipamentos e, quase sempre, com a utilização de mais Fibras Ópticas. Como alternativa a uma escassez de Cabos de Fibra Óptica em uma determinada localidade, foi desenvolvida a tecnologia WDM, que trouxe uma substancial redução nos preços e custos envolvidos. Contudo, os sistemas TDM evoluíram e incorporam novas tecnologias que foram ou estão sendo utilizadas também em sistemas WDM e DWDM através tipos especiais de Pulsos de Luz que mantêm sua forma original, geralmente Gaussiana, ao se propagar por longas distâncias, em uma Fibra Óptica (*Solitons*), FEC (*Forward Error Correction*) que permitem a correção de erros, Amplificadores Ópticos Especiais e Compensadores Dinâmicos de PMD (*Polarization Mode Dispersion*), dispositivos para minimizar um dos efeitos não lineares (PMD) apresentado pela fibra óptica. A seguir serão mais detalhadas as tecnologias TDM e WDM.

2.2.2 TDM

Nas redes ópticas passivas TDM, a transmissão *downstream* ocorre em *broadcast*, isto é, o mesmo sinal a partir do OLT é transmitido para as diferentes ONU's, e cada usuário reconhece os seus próprios dados devido a um processo de filtragem e alocação das janelas temporais sincronizado com a OLT [1]. Portanto, precauções relativas à segurança devem ser tomadas para garantir que usuários mal intencionados não tenham acesso à informação que trafega na rede. A faixa de comprimento de onda utilizada nesse sentido de tráfego varia entre 1480 nm e 1500 nm [11]. Por outro lado, no sentido *upstream* cada ONU terá uma janela temporal pré-determinada e, durante este intervalo, poderá usar toda a largura de banda provida pelo canal óptico. O *splitter* atua como um combinador de potências, sendo responsável por combinar as sequências de dados e enviar as informações de todos os usuários ao OLT. Este, por sua vez - em sincronia com as ONU's - possui a função de alocar as janelas temporais de cada usuário, evitando colisões no tráfego de *upstream*. A faixa de

comprimento de onda utilizada no *upstream* varia de 1260 nm a 1360 nm [11]. Este modelo de rede tem sido migrado para WDM devido aos aspectos de segurança. A Figura 2.2 apresenta o conceito da tecnologia TDM, sendo que todo sinal transmitido encaminha-se para todas as unidades de terminação ópticas, que exercem o papel de filtrar suas informações de acordo com a janela temporal sincronizada com a OLT. Nesta ilustração, ocorre o envio de bandas aos assinantes, que por sua vez recebe seu pacote de informação e descarta os demais.

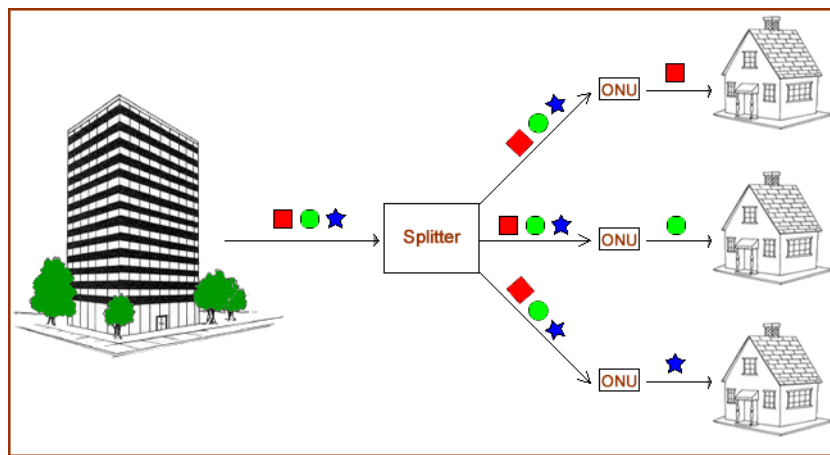


Figura 2.2 - Arquitetura TDM-PON [12].

Das tecnologias TDM-PON existentes, podem ser citadas como as mais usuais: *Broadband* PON (BPON) [13], também conhecida como ATM PON (*Asynchronous Transfer Mode* PON - APON), Ethernet PON (EPON)[14], e Gigabit PON (GPON)[15].

2.2.2.1 Broadband PON

O primeiro padrão para o BPON segue o apresentado em [13], que tende a atender a taxas de 155 Mbit/s simétricos e 622/155 Mbit/s assimétrico, sendo que para *downstream* 622 Mbit/s e 155 Mbit/s para *upstream*. Contudo, com a necessidade de incluir-se um novo comprimento de onda para transmissão de vídeo, estudos da ITU (*International Telecommunication Union*) aprovaram a norma ITU-T G983.3, onde a capacidade de link foi estendida para 622 Mbit/s simétricos e 1244/622 Mbit/s assimétricos. Desta forma, teve-se a oportunidade de utilizar PON para atendimento em última estância para VDSL [12].

Baseada no protocolo ATM, a rede BPON é capaz de integrar dados, voz, serviços de vídeo a clientes empresariais e residenciais por uma única fibra, podendo realizar o atendimento final de acordo com as soluções FTTx. Por utilizar ATM, este tipo de rede

oferece grande qualidade de serviço (QoS). Por outro lado, a eficiência da transmissão é reduzida, já que se utilizam muitos bytes de cabeçalho nas células.

A BPON já pode ser considerada uma tecnologia legada, tendo em vista que poucos provedores de serviço dos Estados Unidos ainda a utilizam. A tendência é que estas empresas migrem suas arquiteturas e tecnologias para EPON ou GPON [16].

2.2.2.2 Ethernet PON

O EPON surgiu da ideia de que a tecnologia APON era imprópria para uso devido a sua falta de capacidade de transmissão de vídeo, banda insuficiente, complexidade e custo. O rápido desenvolvimento do Ethernet fez as taxas de transmissão alcançarem os Gbit/s e a conversão entre os protocolos ATM para IP, foram necessárias. As principais soluções de atendimento, para as quais se aplica o EPON, são: FTTB, FTTC tendo por objetivo em longo prazo a substituição para FTTH para entrega de serviços de dados, voz e vídeo em cima de uma única plataforma com largura de banda maior que o APON [9], [12].

Em novembro de 2000, um conjunto de empresas, com o objetivo de padronizar a Ethernet PON no IEEE (*Institute of Electrical and Eletronics Engineers*), formaram um grupo de estudo para desenvolver um padrão que aplicasse o estudo em uma rede de acesso chamado Ethernet na primeira milha (EFM), que tinha como objetivo utilizar a Ethernet para a rede de acesso do usuário. Os resultados deste grupo de estudos foram ratificados em junho de 2004, tornando-se o padrão IEEE 802.3ah (o EPON) [14]. A diferença fundamental entre EPONs e BPONs está associado ao esquema do tráfego de dados, sendo que o a estrutura EPON transporta suas informações em pacotes de comprimento variável de até 1.518 bytes de acordo com o protocolo padrão Ethernet IEEE 802.3, o que permite grande eficiência no tratamento de tráfego IP. Em BPONs, o esquema que trata toda informação é feito em pacotes de comprimentos fixo (chamado de células) que consiste em uma carga útil de 53 bytes segmentado em 48 bytes para informação e 5 bytes de cabeçalho para identificação de circuitos e correção de erro, este cabeçalho permite alta velocidade de comutação [12], [17].

A EPON provê taxas de 1 Gbps nos dois sentidos usando o comprimento de onda 1490 nm para *downstream* e 1310 nm para *upstream*. Cada OLT se conectam, tipicamente, 16 ou 32 ONUs, a largura de banda média para cada usuário seria em torno de 60 ou 30 Mbps, respectivamente.

Para evolução da EPON, o IEEE iniciou a força tarefa P802.3av para considerar a possibilidade de prover 10 Gbps no sentido *downstream*, e entre 1 e 10 Gbps para *upstream* [18].

2.2.2.3 Gigabit PON

A Rede Óptica Passiva Gigabit tem por capacidade transmitir maiores velocidades de banda nas redes de acesso. Surgiu para superar o BPON e EPON, com a idéia principal de transmitir comprimentos de pacotes variáveis a taxa de gigabit por segundo, para isso o grupo FSAN reuniu esforços e em abril de 2001 começou a desenvolver novas padronizações, Dois anos mais tarde os primeiros dois padrões da rede foram aprovados pelo ITU-T: o que diz respeito a requisitos e arquitetura básica para aplicação de um GPON, sendo os padrões de 1 a 4 [15], publicados no primeiro semestre de 2008. Sendo que para referenciar a camada do meio físico a (G.984.2). O método de encapsulamento da GPON (GEM), definido na G.984.3, pode acomodar diferentes formatos de encapsulamento, podendo trabalhar somente com pacotes Ethernet, ou somente com pacotes ATM ou ainda com pacotes dos dois tipos simultaneamente. A rede garante grande eficiência no transporte de dados IP, utilizando mais de 95% da largura de banda disponível no canal de transmissão. Devido o avanço desta tecnologia, finalmente, pelo contrato de nível de serviço (*Service Level Agreement - SLA*), a QoS é proporcionada definida em G.984.4.

As taxas nominais são especificadas como 1.25 Gbit/s e 2.5 Gbit/s para *downstream* e 155 Mbit/s, 622 Mbit/s, 1.25 Gbit/s, e 2.5 Gbit/s para *upstream*. Considerando a taxa máxima de 2,5 Gbps dividida entre 64 usuários, a largura de banda média seria 40 Mbps. Dividida entre 32 usuários, a largura de banda média para cada ONU seria 80 Mbps. A recomendação também especifica uma distância para transmissão de 10 a 20 km, que pode ser afetada pela qualidade e capacidade dos transmissores e receptores ópticos. Para um GPON o número de divisões chega a 64 no divisor óptico e mantém muita das mesmas funcionalidades de EPON e BPON como a atribuição de largura de banda dinâmica (DBA – G983.4), e o uso de operações, administração e manutenção de mensagens [12].

Em termos de evolução da GPON, tem-se procurado melhorar o orçamento de potência da rede para que seja possível aumentar seu alcance e/ou aumentar o número de ONUs por OLT. Adicionalmente, estuda-se o incremento da taxa de *downstream* para 10 Gbps e, para *upstream*, 5 ou 10 Gbps [19].

Neste contexto, a segunda geração de tecnologia TDM-PON é denominada X-GPON [20], uma evolução dos sistemas GPON. Essa segunda geração é capaz de permitir taxas de 10 Gb/s de *downstream* e 1,25 Gb/s de *upstream* para o XG-PON I, e taxas 10 Gb/s simétricos para o XG-PON II, compartilhadas em sistemas constituídos por, no mínimo, 128 usuários. Nota-se que tais tecnologias são capazes de aumentar a densidade de usuários em uma única infraestrutura passiva. Entretanto, não há aumento significativo do ponto de vista de largura de banda por usuário. A Tabela 2.1 detalha de forma resumida as características principais das diversas gerações das PON's, assim como padrões que as regem, o protocolo, velocidade de transmissão dos dados, além da máxima distância e número de divisões suportadas.

Característica	<i>BPON</i>	<i>EPON</i>	<i>GPON</i>	<i>XG-PON</i>
Padrões	ITU-T G.983	IEEE803.2av	ITU-T G.984	ITU-T G.987
Protocolo	ATM	Ethernet	Ethernet, ATM, TDM	Ethernet, ATM, TDM
Comprimento de onda	<i>Downstream:</i> 1480-1500nm <i>Upstream:</i> 1260-1360nm	<i>Downstream:</i> 1575-1580nm <i>Upstream:</i> 1260-1360nm(1.25Gbit/s) 1260-1280nm(10Gbits/s)	<i>Downstream:</i> 1480-1500nm <i>Upstream:</i> 1260-1360nm	<i>Downstream:</i> 15975-1580nm <i>Upstream:</i> 1260-1280nm
Velocidades de transmissão	<i>Downstream:</i> 622/1244 Mbit/s <i>upstream:</i> 155/622 Mbit/s	<i>Downstream:</i> 10Gbit/s <i>Upstream:</i> 1.25Gbit/s or 10Gbit/s	<i>Downstream:</i> 2.5Gbit s <i>Upstream:</i> 1.25/2.5Gbit/s	<i>Downstream:</i> 10Gbit/s <i>Upstream:</i> 2.5Gbit/s
Distância	20 km	10/20Km	10/20Km	20Km

Tabela 2.1 - Resumo das características PON[13], [15], [17], [21].

2.2.3 WDM

Redes WDM-PON vêm sendo considerada a solução ideal para aumentar a capacidade das tecnologias de acesso das próximas gerações [22]. Nessa tecnologia, diferentes conjuntos de comprimentos de onda podem ser utilizados para suportar sub-redes PON independentes que operam sobre a mesma infraestrutura. Na direção *downstream*, os canais de comprimento de onda são roteados da central OLT para as ONU's por meio de uma grade ordenada de guia de ondas (*Waveguide Grating Arrayed* - AWG), que é implantado em um nó remoto (*Remote Node* - RN). Sendo que o AWG é um dispositivo óptico passivo que fornece um roteamento fixo de um sinal óptico de uma porta de entrada para uma porta de saída baseado no comprimento de onda do sinal. Para a direção *upstream*, o OLT emprega um *demultiplexador* WDM juntamente com uma matriz receptora a fim de realizar a recepção dos sinais de subida *upstream* [23]. A Figura 2.3 caracteriza uma rede WDM, onde o sinal enviado na OLT é

multiplexado em vários comprimentos de ondas de forma que cada usuário receberá seu respectivo sinal, o qual será roteado pelo AWG, cuja função é separar os comprimentos de ondas até que todas sejam individualizadas para o assinante.

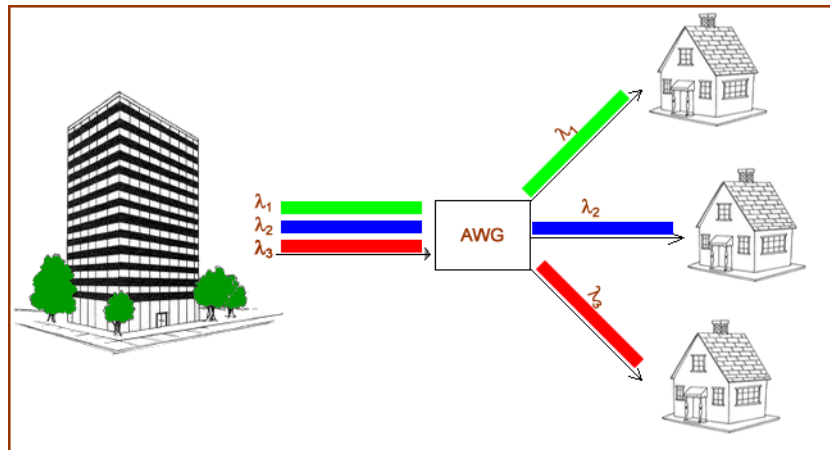


Figura 2.3 - Arquitetura WDM-PON[12].

O WDM-PON é uma tecnologia de nova geração NG-PON e é padronizada pelas normas G.987 do ITU-T[24].

Na nova geração de sistemas ópticos, a combinação da tecnologia WDM com a taxa de transmissão de 100 Gbit/s por canal óptico permitirá atingir, em curto prazo, a velocidade de 8 Tbit/s por fibra [25]. Em [26], são tratados os principais fatores da evolução da base do acesso óptico de TDM para WDM. É falado sobre a questão da tecnologia WDM ser considerado a solução ideal para aumentar a capacidade das redes ópticas sem mudar drasticamente a estrutura de fibra já desenvolvida, e são justificadas as vantagens da migração das redes TDM para WDM, utilizando para isso os parâmetros que a regem as mesmas.

2.3 COMPONENTES WDM-PON

Como foi dito anteriormente, o WDM-PON é operado principalmente pelo AWG. Contudo, existem redes ópticas passivas que operam com outros roteadores, assim como o *splitter*, porém por questões estratégicas relacionadas ao modelo seguido para estudo, o AWG será utilizado [2]. Então na próxima seção será analisado a forma de operação deste importante componente uma vez que a dissertação apresenta o estudo da supervisão das redes ópticas passivas de multiplexação por comprimento de onda.

2.3.1 AWG

O AWG é um dispositivo passivo que provê o roteamento fixo de um sinal óptico a partir de uma dada porta de entrada para uma determinada porta de saída, baseado no comprimento de onda do sinal. Múltiplos comprimentos de onda de uma entrada podem ser separados em diferentes portas de saída pelo AWG, podendo ainda combinar vários canais de diferentes entradas em uma mesma saída. Uma grande vantagem do dispositivo é que ele pode ser utilizado nas duas direções simultaneamente, exercendo os papéis de multiplexador e demultiplexador.

O AWG é baseado em um princípio fundamental da óptica que diz que ondas de luz com diferentes comprimentos de onda interferem linearmente uns nos outros. Isto significa que, se cada um dos canais da rede faz uso de um comprimento de onda ligeiramente diferente, a luz desses canais pode ser transmitida por uma única fibra óptica com um *crosstalk* desprezível entre os canais [27]. Na Figura 2.4 - Ilustração representativa do AWG. é apresentada a estrutura desse componente, nota-se que o AWG consiste de um número de portas acopladas de entrada (1) e de saída (5), *espaços de propagação livre* (FPR) em (2) e (4), e grades de guia de onda (3). A luz é multiplexada no guia de onda de entrada (1), atravessa o espaço de propagação livre (2) e entra em guias de onda de canal(3), nesses guias de onda as fibras de diferentes comprimentos com espaçamento ΔL , de forma a aplicar um deslocamento de fase diferente na saída de cada fibra, após isso cada comprimento de onda passa por outro espaço de propagação livre (4) para então ser direcionado para seu respectivo canal de saída (5) demultiplexado [27], [28]. O espaçamento entre canais no AWG ΔL é atribuído pela equação 2.1:

$$\Delta L = \frac{m\lambda_0}{n_{eff}} \quad (2.1)$$

Onde m é um número inteiro que representa a quantidade de canais que o AWG irá operar, λ_0 é o comprimento de onda do canal central e n_{eff} é o índice de refração efetivo [29].

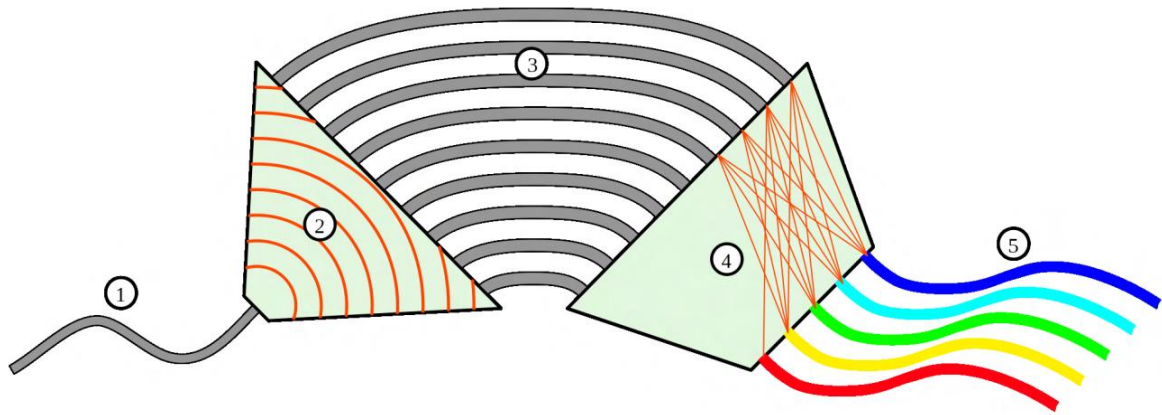


Figura 2.4 - Ilustração representativa do AWG.

Um AWG fornece um roteamento fixo de um sinal óptico de uma porta de entrada para uma porta de saída baseado no comprimento de onda do sinal. Comparado com o acoplador passivo estrela no qual um dado comprimento de onda só pode ser usado em uma porta de entrada, o AWG pode possuir N portas de entradas e N portas de saídas, sendo capaz de rotear um máximo de N^2 conexões. Por ser um dispositivo integrado, o AWG pode ser facilmente projetado com um baixo custo, entretanto a desvantagem deste é o fato de ter uma matriz de roteamento fixa, não permitindo ser reconfigurado [30].

Ao analisar a estrutura do AWG, este nada mais é que um roteador de comprimento de onda não reconfigurável constituído de dois acopladores passivos estrela com N portas de entrada e N' portas de saída, e uma grade de guia de onda. As entradas do primeiro acoplador são separadas por uma distância angular α (espaçamento de canal de entrada) e suas saídas são separadas por uma distância α' (espaçamento de canal de saída) [30], [31].

De conhecimento dos termos apresentados no paragrafo anterior, temos que a regra de roteamento do AWG de uma porta N para uma porta N' , segundo [31], é dada por:

$$f_{N,N'} = f_0 + (N' - 1) \cdot \alpha' - (N - 1) \cdot \alpha + B \cdot \Delta f_{FSR} \quad (2.2)$$

Onde B é o parâmetro de “incoloridade” (*Colorless*) e Δf_{FSR} é o espaçamento da faixa espectral livre (FSR). O parâmetro *incoloridade* faz menção a um AWG cíclico ou não cíclico. Se *não cíclico*, isto significa que um único canal de entrada pode ser roteado de uma porta de entrada para qualquer porta de saída. Se *cíclico* assume-se que múltiplos canais cujas

frequências centrais estão espaçadas por um Δf_{FSR} , operam em uma faixa de frequência $[f_{min}, f_{max}]$ e podem ser roteados em portas de entrada e saída específicas [31].

2.3.1.1 Faixa Espectral Livre (FSR)

Uma propriedade importante da AWG é a faixa espectral livre (FSR), porém, quando trabalha como demultiplexador tem comportamento periódico. O FSR é determinado pela construção do AWG. Dessa forma, considerando um comprimento de onda λ_0 , as saídas de uma dada porta y seriam: λ_0 , $\lambda_0 + FSR$, $\lambda_0 + 2FSR$, e assim por diante. A FSR indica o comprimento de onda ou o espaçamento entre a frequência máxima do padrão de interface, e pode ser obtido como se segue em [32]:

$$FSR = \frac{\lambda_0 n_c}{m n_g} \quad (2.3)$$

onde m é um número inteiro dado a quantidade de frequências que será operada no dispositivo, λ_0 é o comprimento de onda central, n_g é o índice de refração grupo de guias de onda e n_c é o índice efetivo nas guias arrayed.

2.3.1.2 Crosstalk

O crosstalk no AWG é um dos principais efeitos negativos deste dispositivo e pode ser causado de várias formas. Ocorrem também como uma consequência dos efeitos mais complexa nas guias de ondas uma vez que a luz se propaga em multimodos, em vez de no modo fundamental [2]. Contudo, outras formas podem ser vistas de acordo com o trabalho [33][34]. Crosstalk pode causar perdas de inserção na distribuição de amplitude e fase na saída do AWG.

2.3.2 Vantagens de WDM-PON

Dentre as características das redes WDM, algumas podem ser colocadas como vantajosas quando comparado com as demais redes ópticas, sobretudo por empregar múltiplas

frequências ópticas, sendo que os usuários possuem canais independentes entre si para se comunicarem com a central, o que faz com que a banda por assinante seja ampla. Ademais, essa configuração permite uma ampliação gradativa na capacidade da rede, em decorrência da eliminação da estrutura de compartilhamento de banda.

Os problemas de gerenciamento, segurança e operação em modo rajada dos transmissores ONT em sistemas GPON ou XG-PON, ocasionados pelo compartilhamento de um único canal óptico, são eliminados. Nessa configuração, cada assinante dispõe de um canal óptico ponto a ponto virtual com o OLT, apesar de a arquitetura física da rede ser do tipo ponto-multiponto. Outra vantagem é a utilização de um roteador AWG, em vez do emprego de divisores de potência em cascata na ONT. Dessa forma, a perda de inserção é muito menor que a perda apresentada pelos *splitters* e independe do número de usuários. Além disso, como a largura de banda de cada receptor nas ONTs é igual à largura de banda dedicada do canal, não há deterioração adicional da relação óptica sinal-ruído (*Optical Signal-to-Noise Ratio* – OSNR), relacionada ao número de usuários.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram apresentadas as características das redes ópticas passivas como tecnologia de acesso de última milha. Entretanto, em função do crescimento de acordo com as necessidades dos assinantes por banda larga, a supervisão passa ser fundamental para manutenção preventiva de redes ópticas visando à redução dos custos operacionais e diminuição no tempo de queda do serviço. Para isso, técnicas de OTDR e OFDR podem ser empregadas a fim de caracterizar perdas devido à inserção dos componentes e também de eventos (i. e. quebras na fibra) que inserem perda de potência ao longo da rede. No próximo capítulo, serão vistos conceitualmente os métodos existentes de monitoramento.

3 SUPERVISÃO WDM-PON

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A supervisão das redes ópticas veio para ajudar a solucionar problemas decorrentes das ampliações dos sistemas de telecomunicação, mais especificamente dos sistemas WDM-PON que, devido à sua alta capacidade de transmissão, vem se tornando essencial para as novas necessidades dos usuários. O monitoramento deve ocorrer sem interrupções nos serviços prestados pelas operadoras, visando sempre prover um alto grau de confiabilidade, o que é possível devido à evolução dos sistemas de supervisão (por exemplo: OTDR). Portanto, neste capítulo, será visto detalhadamente o método de reflectometria no domínio do tempo para atender à demanda de supervisão.

3.2 OTDR

OTDR é técnica de monitoramento por reflectometria no domínio do tempo implantada em um instrumento optoeletrônico utilizado para caracterizar as ligações ópticas. Pode ser utilizado para estimar o comprimento da fibra, atenuação, incluindo uniões e perdas nos conectores, bem como a identificação e localização de eventos (falhas).

3.2.1 Princípio de funcionamento

A reflectometria consiste na análise de sinais provenientes de uma reflexão em um determinado meio, para que seja possível extrair informações acerca deste meio. O reflectômetro óptico, ou OTDR, consiste na técnica de reflectometria óptica no domínio do tempo capaz caracterizar as ligações ópticas, podendo ser utilizado para estimar parâmetros tais como atenuação, comprimento, conexões e perdas nos conectores, bem como a identificação e localização de eventos (falhas) no enlace óptico [35], neste sentido, é utilizado um instrumento optoeletrônico com esta técnica como meio de aplicar a supervisão. O pulso de luz é acoplado numa fibra em teste via um acoplador direcional óptico. As reflexões geradas pelo retro espalhamento e pela reflexão de Fresnel retornam ao acoplador direcional e são encaminhadas para o fotodiodo. O sinal elétrico é amplificado e enviado para um microprocessador que calcula o atraso de propagação e a atenuação percebida pelo fotodiodo

de avalanche APD (*An avalanche photodiode*). A tela do OTDR apresenta os resultados num formato gráfico que permite a caracterização do estado da fibra [36].

Os parâmetros reconhecidos pelo OTDR são: o tempo em que o pulso é enviado na fibra, sua largura de pulso e a velocidade com que ele viaja pela fibra óptica. O tempo que o pulso de luz gasta para viajar pela fibra, se refletir e voltar para o detector do OTDR pode ser medido precisamente. Conhecendo-se este tempo, o OTDR pode calcular a distância (km). Na Figura 3.1, podemos ver como o OTDR mostra os eventos que comumente ocorrem em um enlace. Conhecendo-se esse tempo, o OTDR pode calcular a distância d a partir da fórmula [36]:

$$d = \frac{V_g t}{2} = \frac{C \cdot t}{2n_g} \quad (3.1)$$

Onde V_g é a velocidade de grupo que a luz se propaga na fibra, t é o intervalo entre o sinal transmitido e o recebido, C é a velocidade da luz no vácuo, n_g é o índice de refração de grupo na fibra.

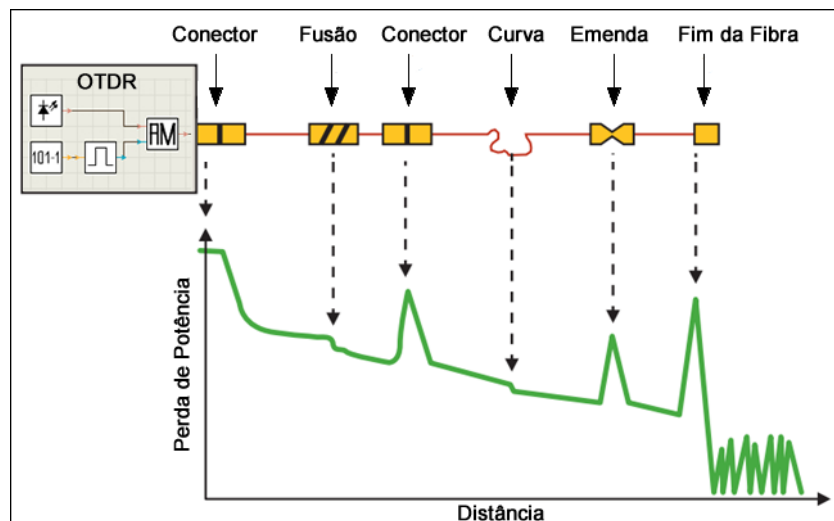


Figura 3.1- Curva OTDR caracterizada por eventos ópticos.

A curva obtida na Figura 3.1 adaptada de [37] mostra o nível de luz retro espalhada e picos de reflexão devido às reflexões de Fresnel, o que podem ser caracterizadas como eventos ópticos ao longo do enlace, sendo podem ser decorrentes de fusões, curvas e etc., e o pico pode advir comumente de fissuras ou imperfeições na fibra.

A forma de determinar os eventos que ocorrem no enlace óptico por meio do OTDR baseia-se principalmente na reflexão de Fresnel e no retro espalhamento de Rayleigh. A Reflexão de Fresnel ocorre no início e no fim do enlace e se dá devido ao ângulo entre a fibra e o raio de luz incidente. Em uma interface clivada perpendicularmente ao eixo da fibra o coeficiente de luz refletida não excederá 4% [36]. O OTDR aponta uma falta em enlaces ópticos em função da potência refletida no local que ocorre o evento, pois existem coeficientes diferentes entre a fibra e o meio. Portanto, para determinar a potência refletida capitada pelo OTDR, usa-se a fórmula 3.2 que para uma potência de luz incidente P_0 , a potência refletida P_{refl} , segundo [35], é dada por:

$$P_{refl} = P_0 \left(\frac{n_{fibra} - n_{ar}}{n_{fibra} + n_{ar}} \right)^2 \quad (3.2)$$

Nos demais eventos detectados o retro espalhamento de Rayleigh é principal efeito analisado. Este espalhamento decorre de irregularidades submicroscópicas na composição e na densidade do material da fibra. Em consequência disso, ocorrem flutuações no valor do índice de refração do material ao longo da fibra, em função deste fenômeno os feixes de luz que viajam na fibra são espalhados resultando em perdas. Através do aperfeiçoamento dos processos de fabricação, as irregularidades na fibra vêm sendo controladas, contudo as originadas por diferenças na densidade do material são intrínsecas ao vidro e não podem ser evitadas [36].

Fisicamente, o Espalhamento de Rayleigh se dá quando o comprimento de luz da luz incidente é muito maior que as dimensões do átomo [38]. Considerando a probabilidade de ocorrência de Rayleigh (RS), então para um menor comprimento de onda, maior a chance do espalhamento de Rayleigh ocorrer, daí uma justificativa do uso desse efeito para monitorar redes ópticas de acesso.

A fórmula 3.3 especifica a ocorrência do retro espalhamento de Rayleigh, um dos principais fenômenos que caracteriza o OTDR e pode ser dado:

$$P(RS) \sim \frac{1}{\lambda^4} \quad (3.3)$$

3.2.2 Eventos

Conexão Inicial de uma fibra: Frequentemente, nas extremidades de um enlace, observa-se um efeito chamado Reflexão de Fresnel. Este evento ocorre especificamente na interface da fibra óptica com outro meio, em locais como conectores, emendas mecânicas e também em locais onde a densidade do material varia. Este efeito é resultado da reflexão parcial do sinal incidente nessas interfaces[36].

Fim da fibra ou quebra: Observa-se um pico ao final da fibra seguido de uma queda severa no nível do sinal, representando o final do enlace. Uma quebra pode ser representada da mesma forma, entretanto é comum um enlace aberto ou uma quebra gerar um decaimento imediato no nível do sinal.

Conector ou emenda mecânica: A representação destes dois eventos é similar, são descritos por um pico e uma queda desnivelada do sinal anterior ao pico. Este evento ocorre devido soma da reflexão do sinal que transpõe o conector ou emenda, com o sinal propagante. A adição construtiva da potência é a causa da elevação do nível de potência no traço.

Emenda de fusão: Neste caso não há pico no traçado, mas somente o desnível da tendência do sinal. Existe também a possibilidade de um conector provocar uma reflexão de forma a aumentar o nível de energia ao invés de atenuar, isto se dá devido à diferença no coeficiente de retro espalhamento antes e depois do conector.

Curvas no enlace: Este evento possui comportamento muito parecido à emenda de fusão. A forma de diferencia-lo esta diretamente relacionada com a planta de instalação da fibra, isto é, verifica-se onde há e não há conectores, para que por exclusão conclua-se uma dobra.

Rachaduras ou fendas: Este evento descreve uma fibra danificada. Seu sinal característico é composto por um pico mais acentuado seguido de queda com sinal irregular. Um evento deste tipo pode ocorrer em qualquer parte do enlace de acordo com as características da fibra utilizada. Uma forma de observar esse tipo de evento baseia-se em aumentar a faixa dinâmica de um sinal OTDR, desta maneira é possível identificar de forma mais detalhada os eventos que ocorrem na fibra, conforme [4]. Com base neste ruído, pode-se determinar o alcance dinâmico do OTDR.

3.2.2.1 Alcance Dinâmico

O alcance dinâmico é uma das características mais importantes de um OTDR, porque determina o comprimento máximo observável de uma fibra, considerando-se a atenuação na fibra, nas emendas e nas conexões. Deve-se também considerar que quanto maior o comprimento da fibra, mais o sinal retro espalhado se aproximam do ruído, aumentando a margem de erro das medidas e fazendo com que pequenos eventos sejam dificilmente detectados. Para se medir uma perda de emenda com valor de precisão de 0,1 dB, necessita-se de uma relação sinal ruído de aproximadamente 6,5 dB acima do nível de pico do ruído. Para um valor de precisão de 0,05 dB, necessita-se de uma relação sinal ruído de aproximadamente 8dB acima do nível de pico de ruído, que por sua vez está a aproximadamente 2,3 dB acima do nível médio de ruído (SNR=1) [36].

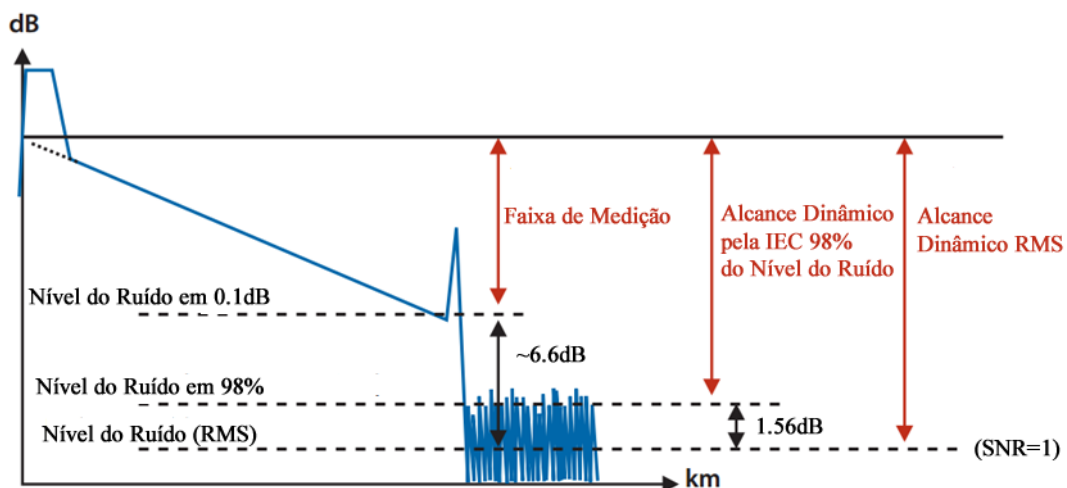


Figura 3.2 - Definição do Alcance Dinâmico[37].

Os OTDRs enviam pulsos repetidamente para a fibra. São tiradas médias dos resultados para que o ruído aleatório do receptor seja suavizado no tempo. Na tela do OTDR, o nível de ruído será reduzido com o tempo. Quanto maior o tempo, maior será o alcance dinâmico. As maiores melhorias do sinal ocorrem no primeiro minuto. A maioria dos OTDRs têm suas faixas dinâmicas especificadas após três minutos de medição [36].

Um dos métodos de determinação do alcance dinâmico é pode ser especificado quando o nível de ruído é superior a 98% aos pontos de dados. Esta definição é endossada pela norma IEC 61746 do IEC (*International Electrotechnical Commission*). Este fenômeno também é caracterizado pelo RMS (*root mean square*), atribuído pelo nível de ruído quando o SNR é igual 1, é a diferença entre o ponto do traçado retroespalhamento extrapolado na extremidade

próxima da fibra e o RMS nível de ruído. Se o ruído for Gaussiano, o valor RMS pode ser comparada com a definição da IEC 61746 subtraindo 1,56 dB de RMS do alcance dinâmico. Entretanto, o alcance dinâmico com uma ideia do limite que o OTDR pode medir quando o nível de ruído é de 0,1 dB no traçado. A diferença entre o $N = 0,1$ e o $SNR = 1$ (RMS) de definição é de aproximadamente menor que 6,6 dB, o que significa que um OTDR com uma alcance dinâmico de 28 dB ($SNR=1$), ou seja, pode-se medir um evento na fibra de 0,1 dB, com um alcance dinâmico de 21,4 dB [37].

3.2.2.2 Zona Morta

A zona morta de um OTDR é definida como a distância (ou tempo) entre o início de um evento e o ponto onde um evento consecutivo pode ser detectado no *link* de fibra. A zona morta é também conhecida como resolução espacial entre dois pontos, pois determina o espaçamento mínimo que pode ser medido entre dois eventos. Na curva do OTDR existem trechos “cegos” que ocorrem devido a eventos reflexivos, que saturam o receptor do OTDR. Durante estes trechos, o OTDR não irá detectar o sinal de retro espalhamento com precisão. O comprimento de fibra que não está completamente caracterizada, durante esse período, sendo que a largura de pulso mais tempo de recuperação denominada a zona morta [36], [37]. Este fenômeno pode ser caracterizado como atenuação e evento de zona morta.

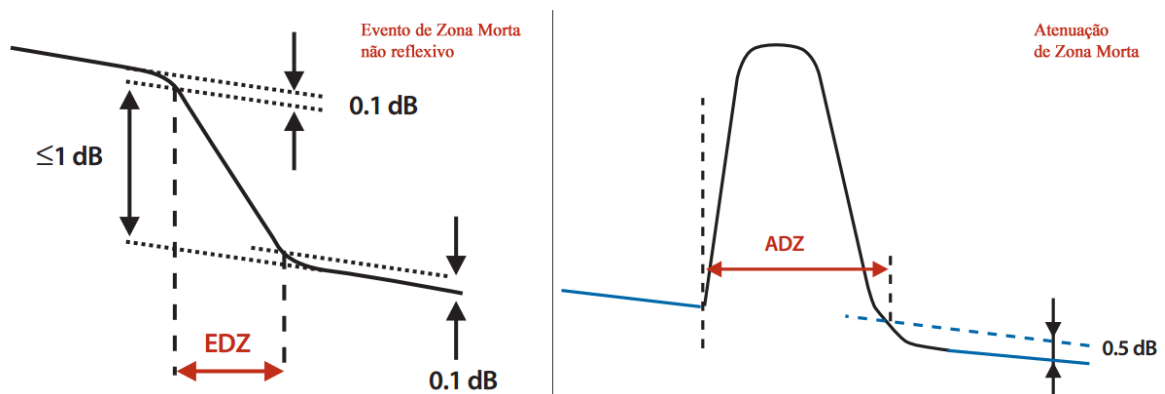


Figura 3.3 - Ilustração para Evento e Atenuação de Zona Morta do OTDR.

A Zona morta pode ser especificada tanto para um caso não reflexivo, quanto uma atenuação. No caso não reflexivo uma falta ou evento óptico sofre uma queda ou elevação na potência durante o traçado do OTDR. Já na atenuação, o evento óptico é caracterizado através salto atenuado, normalizando logo em seguida.

Evento de zona morta (*event dead zone* - EDZ) refere-se à distância mínima a partir de um ponto onde ocorre um evento, até outro ponto onde outro evento de mesma natureza pode ser detectado, porém ainda podem ser distintos. Entretanto esse evento só pode ser detectado e não se pode medir a perda associada a ele. Os eventos de Zona Mora podem ser classificados em reflexivos (quando há reflexões de Fresnel) ou não reflexivos (quando há degraus por variação do nível do sinal retro espalhado), no canto esquerdo da Figura 3.3 é apresentado o evento de zona morta não reflexivo. Para eventos reflexivos, a zona morta de evento é definida como a distância medida no ponto onde a curva cai 1,5 dB do nível de saturação devido à reflexão de Fresnel. Para eventos não reflexivos, o evento de zona morta se refere à distância entre os pontos onde os níveis de início e fim de uma emenda estão dentro de $\pm 0,1$ dB ou com um determinado valor (≤ 1 dB) de seus valores iniciais e finais. Usualmente, esta zona morta é um valor fixo e depende somente da largura de pulso aplicada.

Atenuação de zona morta (*attenuation dead zone* - ADZ) define a distância mínima do ponto a partir do início de uma reflexão e o ponto onde o traço do retroespalhamento pode voltar a ser detectado, podendo ser realizadas medidas para a verificação da localização de eventos discretos (não reflexivos). A zona morta atenuação (ADZ) para um evento reflexivo ou atenuado também pode ser definida na norma IEC 61746, para esta a região o traçado do evento apresentado desvio do rastreamento de retroespalhamento perturbadas por mais do que um dado valor vertical (normalmente 0,5 ou 0,1 dB)[37], o lado direito da Figura 3.3 exibe este caso. Esta distância é medida no ponto onde a curva tenha retornado acima do nível da curva retro espalhada, extrapolada para a esquerda, considerando uma reflectância de -30 dB. Geralmente, quanto maior a potência refletida, maior será a zona morta[36].

3.2.3 Métodos OTDR existentes.

No trabalho [39], o sinal de monitoramento é composto por vários comprimentos de onda correspondentes a um determinado número de ramos da fibra *drop*, onde um divisor óptico é colocado após a fibra alimentadora para dividir igualmente os sinais na rede *drop*. O comprimento de onda é separado de acordo com cada ONU por intermédio da utilização de um filtro específico para este canal, sendo que os demais são bloqueados. Um elemento de reflexão, posicionado antes da ONU, é responsável pelo retorno do sinal de controle.

Se ocorrer alguma falha na fibra *drop*, o sinal de retorno terá uma grande perda, e a intensidade do sinal medido no dispositivo de monitoramento será muito fraco. Em seguida, será possível determinar em qual fibra houve a falha. Caso haja falha na fibra de alimentação,

o sinal refletido mostrará uma grande perda, o qual será avaliado pelo próprio dispositivo de monitoramento.

A supervisão de cada ramo da fibra *drop* é viável, pois cada ramo reflete apenas um comprimento de onda específico, e os sinais de monitoramento refletidos da rede *drop* não são sobrepostos.

Neste método [40] estão incluídos tanto a detecção de falhas quanto módulos de localização. O sinal enviado pela OLT primeiro passa pelo acoplador WDM, depois é transmitido para os ramos de fibras através de um divisor óptico. Filtros ópticos são utilizados para bloquear todos os outros comprimentos de onda, porém cada ONU receberá seu próprio comprimento de onda até chegar ao elemento de reflexão. O dispositivo localizado na OLT envia e detecta o sinal de controle, o qual é refletido de volta, seja pelos dispositivos ou por uma falha óptica. Um computador de gerencia é acionado e imediatamente se desloca para o processo de localização, para tal um OTDR ajustável é utilizado para enviar o comprimento de onda que passa por um acoplador WDM, pela fibra alimentadora, divisor óptico, dispositivo de filtragem e as fibras de queda. Os sinais refletidos serão utilizados para sintonizar o OTDR ajustável para localiza e identificar a falha.

Em [41] O módulo de controle é colocado na CO, que é constituído por uma unidade de gerenciamento, um gerador de pulso, um filtro sintonizável passa banda e receptor OTDR. A unidade de controle detecta as falhas das fibras por monitorar o estado do sinal *upstream*. Assim que a potência reduzida do sinal de um canal específico é recebido a unidade de controle irá acionar um interruptor que ligará o transmissor de gerador de pulso, o qual modula o sinal de *upstream*. A diferença de potência entre o sinal medido e o sinal de dados é menor que 4GHz. Ao utilizar os sinais de medição produzidos pelo gerador de pulso, os defeitos tanto na fibra de alimentação quanto nos ramos de fibra podem ser localizados sem a utilização de um OTDR sintonizável. Caso aconteça uma falha na fibra de alimentação, a unidade de controle seleciona aleatoriamente um canal *upstream* e modula com o canal de medição. Se as falhas ocorrerem em vários trechos de fibra, a primeira unidade de controle identifica os canais que falharam e inicia o processo de localização de acordo com a prioridade pré-determinada do canal.

O Método de supervisão proposto no trabalho [42] utiliza um isolador óptico antes da fonte de luz para bloquear os sinais refletidos, o AWG é usado no nó remoto. Um multiplexador DWDM e um switch são usados para selecionar o sinal de controle e transmiti-lo ao sistema. Um espaço entre o canal de *downstream* e o sinal de monitoração correspondente mantém a faixa espectral livre (FSR) do AWG, pois o sinal de dados e de

supervisão são encaminhados para a porta de saída do AWG para não ocorrer interferência entre eles. Os sinais de controle são gerados pela fonte de banda larga dentro do OTDR, cujo espectro é contado pelo DWDM e em seguida enviado para o comutador óptico. O OTDR só pode traçar um caminho por vez para cada ONU.

Caso ocorra uma falha em algum ramo da rede o sinal de controle e dados são refletidos, então este sinal é acoplado no *switch* através do acoplador. O switch irá alocar o sinal passando para DWDM que por sua vez encaminha ao OTDR para que o mesmo possa localizar a falha.

Para método de supervisão [3], na OLT uma fonte de sinal OTDR é multiplexado com os sinais dos usuários em um acoplador que possui dois filtros passa banda a fim de alocar os sinais em uma frequência central. No nó remoto estão localizados vários dispositivos para processar o sinal enviado, sendo um acoplador demultiplexador e filtros passa banda para segmentar os sinais dos usuários e de monitoramento. Após o monitoramento é encaminhado para um switch que irá multiplica-lo de acordo com a quantidade de usuários e o sinal de dados irá para o AWG, onde será separado conforme os espectros das fontes dos usuários. Os sinais que saírem do switch e do AWG se integram novamente em um último acoplador que contém uma quantidade de filtros passa banda e multiplexadores equivalentes ao número de usuários do sistema, tais dispositivos irão filtrar de acordo com a frequência central correspondente, neste sentido, o acoplador será responsável pela junção do sinal de controle e de informação e então será encaminhado para as ONU.

Quando ocorre uma falha no sistema, o sinal de controle é refletido e se for em um ramo de fibra ele passa pelo acoplador que o processará de acordo com o referido trecho através de seu filtro correspondente a frequência central. Logo que chegar ao dispositivo OTDR o mesmo irá identificar a falha no sistema. Caso a falha seja na fibra de alimentação o sinal refletido será recebido no OTDR que apontará a localização da falha. Este método está caracterizado nesta dissertação.

Contador de fótons OTDR (PC-OTDR) baseia-se na medição do sinal óptico retrodifundido realizado por uma sequência de tempo de experiências correlacionadas de contagem de fótons (TCPC). Em essência deste tipo de método, uma sequência de emissões de fótons discretos são expressos pelo sinal retro espalhado [43].

Em OTDR convencional, a principal desvantagem é o baixo nível de sinal óptico. Este problema torna-se uma vantagem para PC-OTDR, porque o processo de detecção de sinal tem uma natureza distinta e, portanto, PC-OTDR não sofre problemas demais com sistemas analógicos [43].

3.3 OFDR

O reflectómetro óptico no domínio da frequência (OFDR), descrito em [44], baseia-se na detecção coerente do sinal de luz refletida proveniente da fibra óptica, quando a frequência das ondas de luz é varrida.

A técnica OFDR coerente consiste em analisar o sinal de batimento entre as reflexões distribuídas a partir da fibra em teste e um reflexo de referência fixo chamado de oscilador local. Usando um varrimento de frequência linear do laser, as frequências de batimento correspondem exatamente à posição de reflexão, enquanto que o quadrado da potência normalizado para uma dada frequência de batimento dá a reflectividade na distância correspondente [45].

Esta técnica é muito poderosa para o propósito de rede de fibra óptica componentes caracterização com grande faixa dinâmica e sensibilidade [44], [46] e, recentemente, também é aplicada a supervisão PON [47]. Como o trabalho não demonstra uma avaliação de supervisão da rede utilizando OFDR, então o OTDR foi mais detalhado e exemplificado, contudo, cabe uma breve comparação.

3.4 COMPARAÇÃO ENTRE OTDR E OFDR

A vantagem de um OTDR é que, uma vez que mede o tempo de volta da luz refletida, pode dar informação sobre perdas na fibra para distâncias muito longas. Por outro lado, o tempo de medição para obter um traço OTDR adequado com base na medição de um grande número de ONUs torna-se mais complexo devido a falta de faixa dinâmica para monitorar a infra-estrutura após o nó remoto e da resolução limitada que torna impossível distinguir dois eventos próximos uns dos outros.

O OFDR examina onda contínua com maior amplitude e tem capacidade de alcançar uma alta resolução, sem perder a faixa dinâmica. Graças a esta técnica de detecção coerente, OFDR também pode ter uma elevada sensibilidade. Outra vantagem da OFDR é que ele pode fornecer a informação de temperatura em qualquer lugar na rede.

O OFDR para redes de comunicação óptica de pequenas distâncias pode ser muito útil para a localização precisa e identificação de eventos. No entanto, para o acesso e sistemas de fibra de longa distância o OTDR é obviamente uma escolha melhor.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo considerou o estudo detalhado do OTDR apresentando os conceitos que regem seu princípio de funcionamento, sobretudo, os tipos de eventos que o mesmo pode qualificar através das medições e perdas ao longo do enlace, ao final foram dados alguns modelos que existentes atualmente utilizados para monitorar uma rede WDM-PON. No próximo capítulo, será visto a simulação de vários casos, de forma de mensurar o impacto que um sinal de OTDR pode causar diante o tráfego das informações.

4 METODOLOGIA PARA ESTUDO DO IMPACTO DA SUPERVISÃO OTDR EM REDES WDM-PON

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo será apresentada a estratégia que foi utilizada para montar os cenários da WDM-PON, juntamente com todos os componentes e blocos pertinentes para a simulação. Serão apresentados esquematicamente cada ramificação da rede, passando pela OLT, pelos enlaces referentes às fibras alimentadora e a *drop*, o nó remoto e a ONU com módulo de estimação da BER versus a potência recebida.

4.2 METODOLOGIA

Para execução deste trabalho foi necessário seguir uma determinada metodologia de forma que os resultados viessem coerentes com o que se pretendia analisar, desta forma podemos verificar um fluxograma que descreve as etapas executadas durante este trabalho. A Figura 4.1 apresenta a sequencia na qual o trabalho foi desenvolvido seguindo métodos de avaliação de desempenho[48].

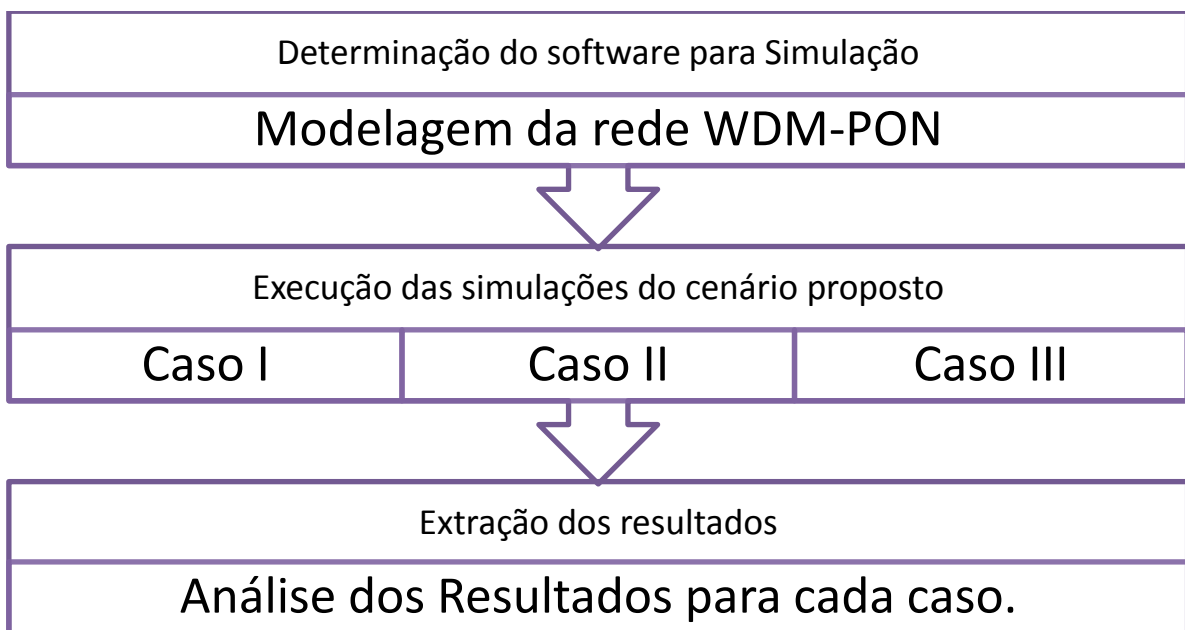


Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia empregada no trabalho.

Inicialmente foram estudados os softwares existentes para simulação de redes ópticas juntamente com outras ferramentas de análise, tal como, o MatLab que é largamente utilizado

para verificação e tratamento de dados. Feito a determinação do software, iniciou-se o processo de modelagem do sistema WDM-PON, que foi configurado de acordo com a pretensão para extração dos resultados. O sistema foi feito para apresentar 3 casos distintos: característica do OTDR dado a inserção de alguns eventos, análise da penalidade que um canal de monitoramento pode causar considerando distâncias diferentes do enlace e posteriormente a visualização da penalidade quanto taxas de bits. Seguindo o fluxograma proposto, são feitas diversas simulações dos casos em análise para que sejam expostos os resultados utilizando cossimulação com o Matlab.

4.2.1 Software de Simulação

Para fins de modelagem da rede óptica e extração de dados, foi necessário o uso de uma ferramenta robusta que permitisse analisar desempenho de redes com eficiência. Existem alguns software que permitem a modelagem do sistema WDM-PON, tais como os descritos a seguir.

4.2.1.1 O Software *Optisystem*

O OptiSystem é um inovador pacote de comunicação óptica de simulação do sistema para o projeto, testes e otimização de praticamente qualquer tipo de link óptico na camada física de um amplo espectro de redes ópticas.

A interface gráfica do usuário controla o *layout* dos componentes ópticos, modelos de componentes gráficos e apresentação. O software possui uma extensa biblioteca de componentes ativos e passivos, criados assim para atender às necessidades de engenheiros de telecomunicações, integradores de sistemas, estudantes e uma ampla variedade de outros usuários[49].

4.2.1.2 Software *VPITransmissionmaker*

O software *VPITransmissionMaker* desenvolvido pela empresa *VPIPhotonics* é largamente utilizado como instrumento para simulação de redes ópticas, pois foi desenvolvido para modelar todos os tipos de redes e sistemas fotônicos, incluindo redes ópticas, aplicações de fotônica, de micro-ondas, sistemas TDM com um único canal e sistemas WDM. Este

software oferece um ambiente rico para projetos de fotônica, permitindo o detalhamento da rede além de fornecer uma boa documentação dos componentes e exemplos que abordam aplicações recorrentes. Os sistemas ópticos do *VPITransmissionMaker* incluem transmissões ópticas de curto, médio e longo alcance e permite a atualização da tecnologia e a substituição de componentes a serem desenvolvidos para plantas de rede existentes [50].

A combinação de uma poderosa interface gráfica com uma simulação sofisticada e robusta como escalonador, juntamente com sinais ópticos flexíveis, permite uma modelagem eficiente de todo o sistema de transporte, incluindo ligações bidirecionais, de anel e malha de redes. Além disso, o simulador fornece ferramentas avançadas, como por exemplo, simulação interativa, macros e design-assistentes, importação automática de dados arquivos, conversão de formato e cossimulação usando linguagens de programação padrão objetivando agilizar e capturar os processos de projeto [2], [31]. A Figura 4.2 representa o esquema de funcionamento e as diversas aplicações do *software* utilizado.

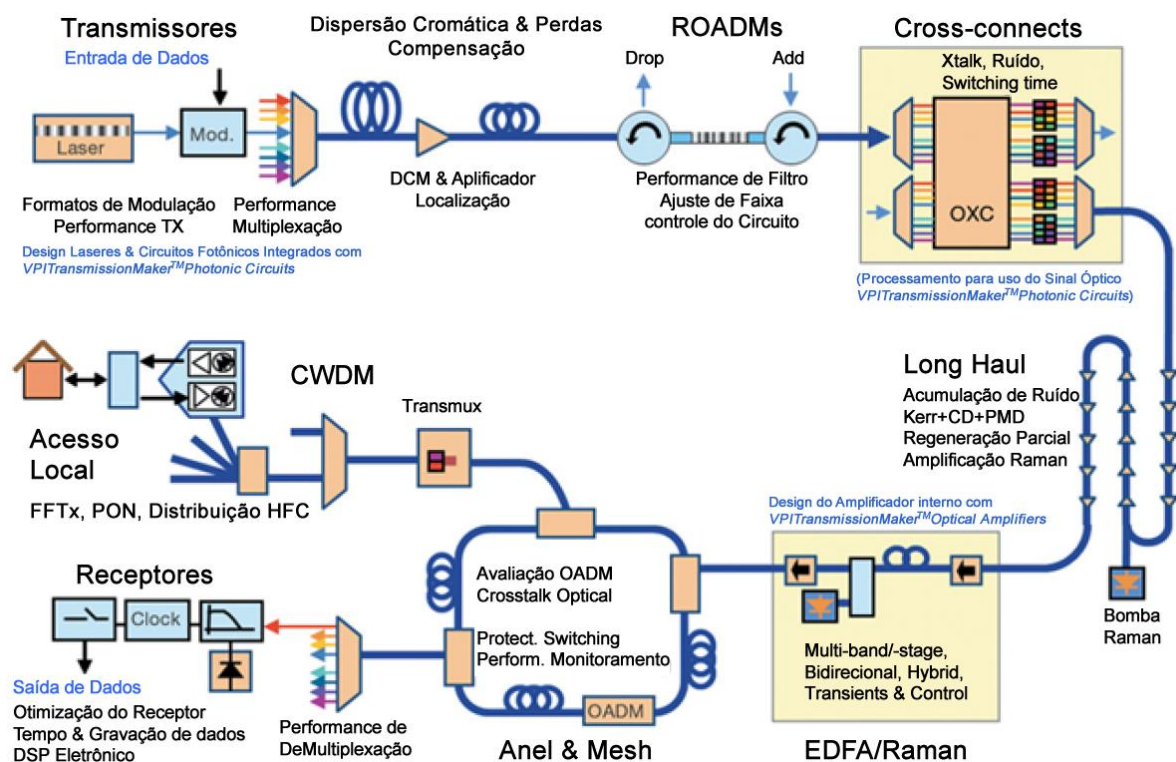


Figura 4.2 - Estrutura *VPITransmissionMaker*[31].

Por motivos estratégicos o software utilizado para simulação do modelo estudado foi o *VPITransmissionMaker*, pois tem sido largamente utilizado pelo grupo de trabalho em redes ópticas. Contudo, tanto o *OptiSystem*, quanto *VPITransmissionMaker* poderiam ter sido

utilizados para o desenvolvimento do trabalho uma vez que ambos fazem interação com o Matlab e possuem uma vasta biblioteca de componentes ópticos.

4.2.2 Modelagem do Sistema

A estrutura do modelo baseia-se em uma adaptação do trabalho proposto por [2], onde pretendem-se investigar o desempenho do sinal que chega no terminal óptico através da análise da curva da *BER* deste sistema. O modelo consiste basicamente na OLT ligado através de um enlace com comprimento total de 30 km até o nó remoto e 32 fibras *drop* de 5 a 9 Km, onde são introduzidos e analisados eventos em trechos distintos da rede a partir de um OTDR. Na ONU foram configurados componentes do simulador para estimar e imprimir a curva da *BER*.

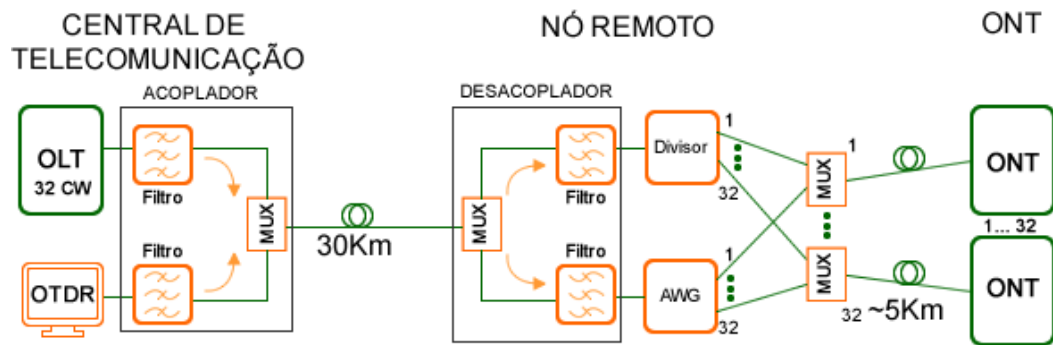


Figura 4.3 - Ilustração da rede WDM utilizada[2].

A Figura 4.33 ilustra a simplificação da rede modelada, sendo que a Figura 4.44 o modelo implantado no *software* pronto para simulação. Sendo que a sessão destacada em verde representa a OLT, o quadrado azul é o nó remoto, o laranja trata dos usuários final e o vermelho é o módulo responsável pela extração da *BER*. A partir desta ideia foram criados casos para observação e teste do OTDR aplicado na rede mostrada posteriormente.

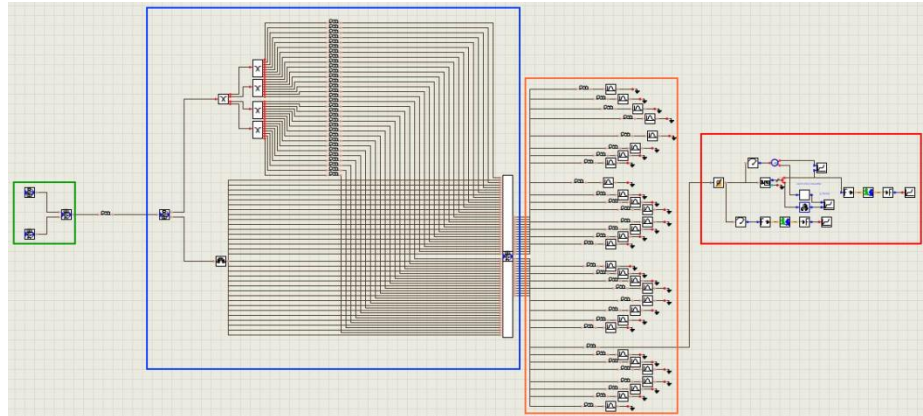


Figura 4.4 - Estrutura da rede WDM-PON no Simulador.

4.2.2.1 OLT

O bloco que representa a OLT é composta por 3 módulos fundamentais para o sistema, sendo que dentre estes estão as fontes de sinal com as frequências de operação dos usuários constituídos por 32 módulos de um laser modulado pertencente ao próprio modulador. Tal módulo consiste em um laser onda contínua (*CW* - continuous wave), um gerador pseudoaleatório, um codificador NRZ (*No Return to Zero*) e um modulador de Mach-Zehnder. A frequência de operação destas fontes foi espaçada de 100 GHz entre si. Para acoplar estas frequências foi instalado um multiplexador.

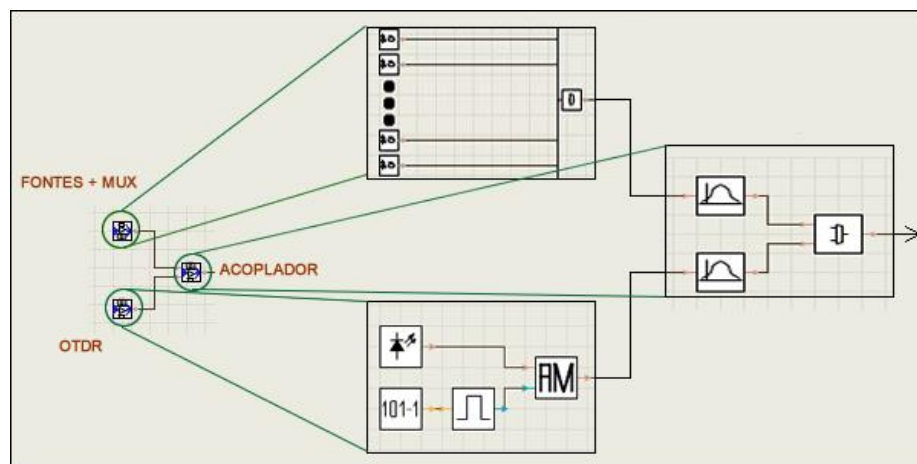


Figura 4.5 - Central de telecomunicações constituída por todos os blocos.

Todos 32 sinais possuem potência de 2 mW e taxa de amostragem padrão, sendo o primeiro laser na frequência de 192,8 THz e o último laser na frequência 195,9 THz. A **Erro! fonte de referência não encontrada.** ilustra um trecho de como o bloco foi construído no simulador.

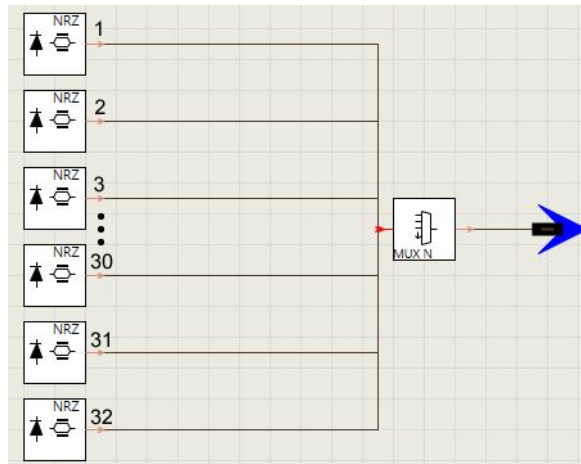


Figura 4.6 - Configuração da fonte de sinal dos usuários

Para simular o sinal de OTDR para o monitoramento foi inserido em um único bloco quatro componentes, sendo um laser CW com a frequência de operação do sinal, um gerador pseudo randômico, um gerador de onda quadrada e um modulador de amplitude a fim de modular a frequência de operação do CW.

Além do bloco dos lasers com a frequência dos usuários e do OTDR, na OLT existe um terceiro. O acoplador responsável por juntar os sinais que saem da fonte e do monitoramento.

4.2.2.2 Enlace Óptico

O enlace óptico é responsável por ligar dois pontos de uma rede e ao longo de seu comprimento ocorre perda na potência devido os efeitos não lineares da fibra. Para medir a degradação da potência foi elaborada uma forma de coletar o sinal no decorrer do percurso do enlace inserindo um elemento repetidor (*loop*) juntamente com uma fibra universal bidirecional e um filtro óptico. O bloco do enlace possui uma entrada e duas saídas. O sinal vai direto para o repetidor que manda para as duas entradas da fibra onde são processados os efeitos de acordo com seu comprimento, ao sair da fibra o sinal volta para o repetidor através de uma das suas saídas e pela outra vai para o filtro e posteriormente para o bloco de cossimulação o qual será analisado mais a frente. Este processo ocorre em um determinado número de vezes, conforme o repetidor foi configurado.

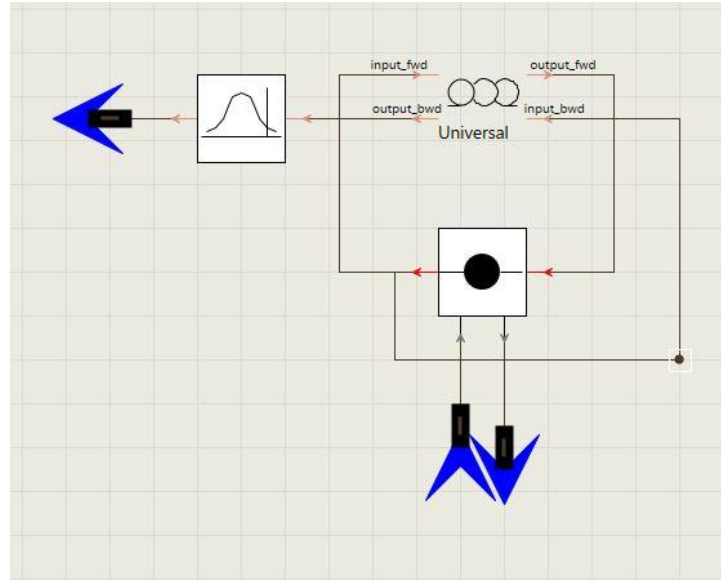


Figura 4.7 - Enlace Óptico no simulador.

Na prática, a cada passagem pelo repetidor uma potência retro espalhada é enviada na direção contra propagante da fibra a fim de ser medida pelo bloco de cossimulação que representa a potência do sinal ao longo do enlace.

4.2.2.3 Nó Remoto

Igualmente ao OLT, o nó remoto é um segmento fundamental para uma WDM-PON, pois é o local onde os componentes passivos são instalados, tal como o AWG de acordo com o explicado anteriormente.

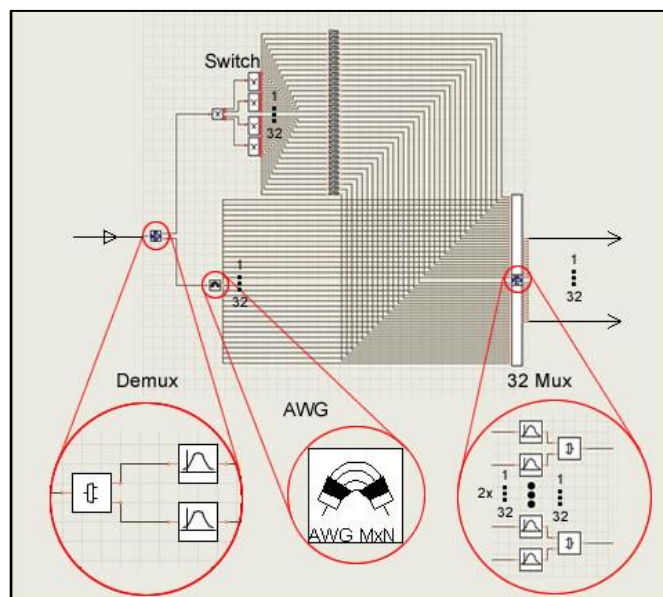


Figura 4.8 - Esquemático do Nó Remoto configurado no simulador.

O Nó Remoto nesta rede o está configurado conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada**.8, que exibe como este foi montado no simulador. Contudo, este bloco também pode ser visto mais detalhadamente na **Erro! Fonte de referência não encontrada**. que especifica item a item e exibe a função de cada componente.

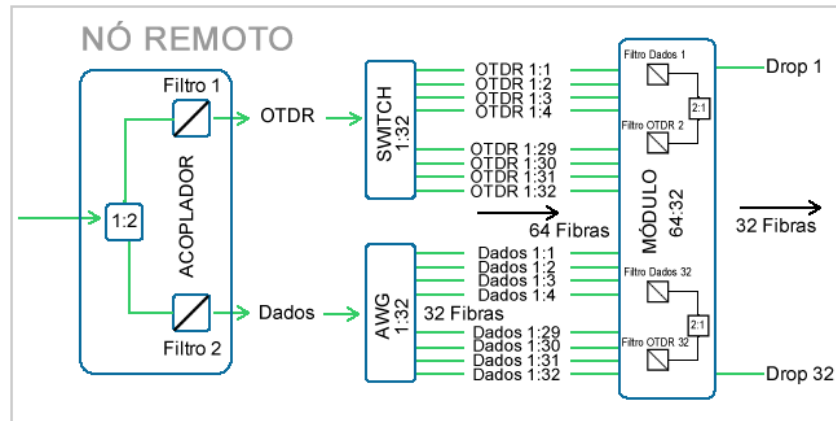


Figura 4.9 - Esquema interno do Nó Remoto.

O sinal ao chegar ao nó remoto é dividido por um acoplador composto por filtros de larguras de bandas equivalentes aos sinais de dados e de monitoramento. Haja vista que o sinal de monitoramento é atenuado após a passagem do AWG ou o mesmo não está configurado para receber tal sinal, existe a necessidade de introduzir acopladores que permitam que sinal de monitoramento e o sinal de informação sejam separados.

Através da fragmentação do sinal no acoplador é possível fazer com que o sinal de OTDR contorne o AWG para então ser introduzido nos 32 canais de transmissão. Para que isso ocorra, o sinal de OTDR é passado ao barramento (*switch*), este por sua vez replica o sinal para posteriormente ser introduzido individualmente nos 32 canais que são emitidos para os usuários, pois cada canal é separado pelo AWG até que seja roteado todas as frequências por este componente. A introdução do OTDR para as ONU's ocorre devido a introdução de um último acoplador, responsável pela inserção do sinal de monitoramento que é encaminhado pelo *Switch* e do comprimento de onda equivalente a cada ONT oriundo do AWG.

4.2.2.4 ONU

Estes blocos possuem função de receber o sinal óptico após percorrer o enlace. Isto é, essa terminação pode significar o usuário/ONU ou uma ONT de onde o sinal pode ser

redistribuído, modelada por uma fibra *drop* de 5km de comprimento, um filtro e um receptor nulo ou "terra". As características do filtro são ajustadas de forma a permitir a passagem somente do sinal de informação equivalente ao respectivo usuário refletindo o sinal da supervisão. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é ilustrada a composição do loco com suas 32 terminações.

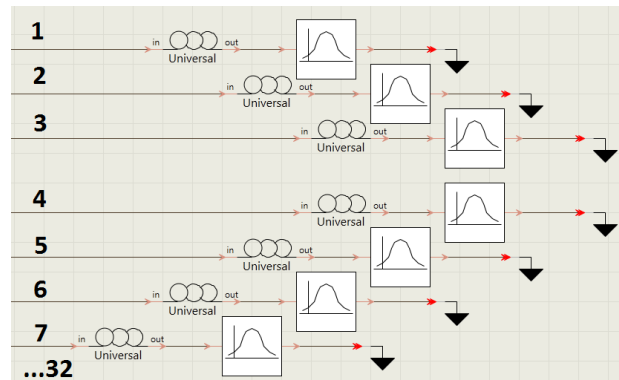


Figura 4.10 - Esquema que representa a ONU.

4.2.2.5 Medidor da BER

Neste estudo, levou-se em consideração a utilização de um bloco específico para a medição da curva da BER *versus* a potência recebida a fim de investigar o sinal que chega em cada ONU, devido esta medição na terminação foi inserido o dispositivo mostrado na Figura 4.11 - Esquema do Módulo responsável pela coleta de dados da BER. que contém um atenuador com saída variável, medidores de potência no ramo que segue para medir a BER e outro referente ao trecho que coleta a potência que chega na ONU.

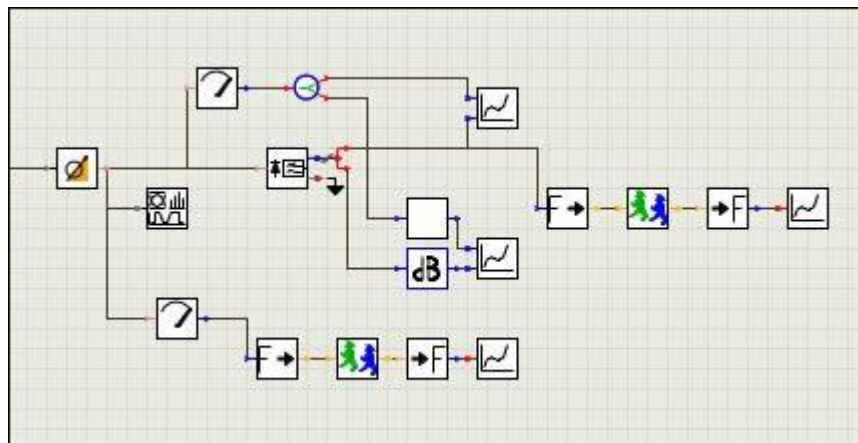


Figura 4.11 - Esquema do Módulo responsável pela coleta de dados da BER.

No bloco de medição estão vários componentes que assumem as funções de receber, medir e comparar o sinal que chega à ONU, sendo que o atenuador variável é responsável por receber o sinal, atribuir uma perda de potência até que a mesma seja equivalente ao nível da BER e gradativamente aplicar uma pequena variação no valor de acordo com um determinado número de vezes. Na saída do atenuador, o sinal é distribuído em dois segmentos que irão processar de forma que um tenha como resultado a BER e enviado para cossimulação e o outro receba apenas a potência variada pelo atenuador. Ao receber os respectivos sinais o Matlab irá comparar e imprimir os resultados através de funções de análise.

4.2.2.6 Cossimulação

Durante o estudo foram vistos vários casos onde são necessários a interação entre o software *VTITransmissionMaker* e o Matlab, pois para analisar o comportamento da rede seria interessante coletar a potência sinal e aplicar métodos de análises. Para utilizar a cossimulação foram inseridos alguns componentes para receber o sinal processado e encaminhar para análise externa. Figura 4.12 mostra a estrutura da cossimulação onde medidor de potência recebe e filtra o sinal recebido do sistema e dispara o valor medido para a entrada do componente responsável em enviar esta informação para a interface que irá interagir com uma função desenvolvida no Matlab que por sua vez devolverá ao VPI.

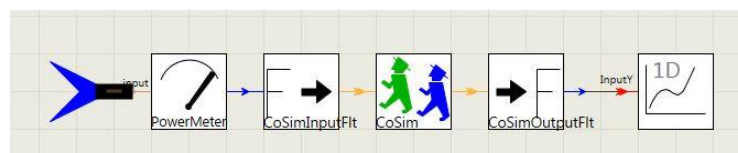


Figura 4.12 - Estrutura da interface de cossimulação.

Através da cossimulação é possível aplicar funções desenvolvidas no Matlab para processar o sinal simulado no VPI a fim de investigar mais detalhadamente os resultados das simulações. As funções desenvolvidas encontram-se em anexo neste trabalho.

4.3 MÉTRICA DE ANÁLISE

Para fins de análise de desempenho da rede óptica deste estudo foi considerado a BER que é calculado através das probabilidades de erro numa transmissão digital. Uma maneira

comum de se fazer isso é dividir o número N_e de erros ocorridos num certo intervalo de tempo t pelo número N_t de pulsos ($0 \text{ s e } 1 \text{ s}$) transmitidos nesse intervalo. Assim, tem-se.

$$BER = \frac{N_e}{N_t} = \frac{N_e}{B_t} \quad (4.1)$$

Um valor típico de BER, para sistemas de telecomunicações por fibras ópticas, varia de 10^{-9} a 10^{-15} [35]. O Valor da BER utilizado para avaliar o desempenho do sistema ficou definido em 10^{-9} , onde, em média um erro ocorre a cada bilhão de pulsos enviados.

4.4 PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO

Os parâmetros globais são inseridos antes do início das simulações e permitem que as configurações do sistema passem por todos os blocos do modelo e podem ser vistos na Tabela 4.1. Tais parâmetros são comuns para todos os módulos das simulações.

Parâmetros globais da simulação	
Tempo de simulação	32/1e8 s
Taxa de Bit	1 e 10 GBit/s

Tabela 4.1- Parâmetros globais do esquema simulado.

Dentre as configurações globais existem dois parâmetros que podem ser destacados, sendo o tempo de simulação, o qual especifica o número de bits processados por um tempo em segundos, isto é, quanto maior o número de bits a ser executados no sistema para um mesmo intervalo de tempo, maior será o tempo em que o software vai processar o sistema, este parâmetro ajustado para melhorar o desempenho do sistema dando resultado mais rápido. Outro parâmetro são as taxas de bits, pois é o mesmo que será analisado pelo estudo em questão e o quanto o sistema pode processar dado a estrutura do mesmo.

4.4.1 OLT

Os parâmetros da OLT são segmentados de acordo com os blocos internos que simulam as fontes de sinal, OTDR e o acoplador.

4.4.1.1 Parâmetros das fontes do sinal

As fontes de sinal são configurados para simular um canal de forma que cada receptor possa receber e interpretar a informação enviada. Na Tabela 4.2 pode ser visto as configurações dos parâmetros inseridos para a fonte de sinal dos usuários.

Parâmetros da Fonte de Sinal dos usuários	
Laser	
Frequências do Laser	192.8e12Hz a 195.9e12Hz
Potência de entrada	2.0e-3 W
Multiplexador	
Perda de Inserção	0.3dB
Frequência central do Filtro	194.4e12Hz

Tabela 4.2- Parâmetros de configuração dos usuários[2].

A WDM-PON possui 32 canais com a taxa de amostragem padrão, sendo que no primeiro laser foi colocado a frequência de 192,8 THz e o último laser na frequência 195,9THz com a potência inicial de 2mW.

O multiplexador possui uma frequência central para o filtro passa faixa trapezoidal configurada para atender a faixa espacial de todas as frequências dos 32 Lazeres. A perda por inserção é de 0,3 dB, o que se reflete posteriormente na perda inicial do traço OTDR.

4.4.1.2 OTDR

A fim de simular o OTDR, foram atribuídas algumas configurações para os parâmetros de para gerar um sinal similar com equipamentos existentes no mercado [51]. A Tabela 4.3 exibe as principais atribuições dadas aos componentes que formam o bloco do OTDR.

Parâmetros do OTDR	
Frequência de Emissão do Laser	184.5e12 Hz
Potência do Laser	2.0e-3W
Largura do Pulso	10ns
Índice de modulação	0.4

Tabela 4.3- Parâmetros de configuração do OTDR[2], [51].

O dispositivo OTDR é composta por um laser CW no comprimento de 1626 nm (184.5 THz) com potência de entrada no valor de 2mW, um gerador de bits que ativa um gerador de pulsos e um modulador de amplitude óptico que modula o sinal do laser de acordo com os pulsos elétricos.

4.4.1.3 Acoplador

Antes do sinal dos dados e do OTDR sair da OLT, o mesmo é multiplexado através de um acoplador, que foi configurado para atender os parâmetros das fontes de sinal e do monitoramento. Na Tabela 4.4 estão as informações inseridas nos componentes do acoplador.

Parâmetros do Acoplador	
Perda de Inserção	0.3dB
Frequência central do Filtro 1	194.4e12Hz
Frequência central do Filtro 2	184.5e12Hz
Tipo de Filtro	Passa Banda
Função de transferência	Trapezoidal

Tabela 4.4 - Parâmetros de configuração dos acopladores na OLT e NR[2].

No acoplador um filtro fica responsável por permitir a passagem do sinal de monitoramento e o outro pelos sinais de dados (32 Lasers CW) em sua frequência central.

O segundo filtro deve possuir uma largura de banda suficiente para que todas as frequências de entrada sejam filtradas.

4.4.2 Enlace óptico

A configuração do enlace óptico possibilita que a coleta da potência dos sinais seja efetuada pelos blocos de cossimulação. O enlace é continuado após o nó remoto para completar toda a rede e atingir as ONU's. A Tabela 4.5 apresenta os parâmetros inseridos para configurar a fibra óptica no simulador.

Parâmetro & Valor na Fibra	
Número de Spans da Fibra	Passa Banda
Comprimento	100m
Índice de refração de grupo	1,47
Atenuação	0,2 dB/km
Frequência de referência	193,1 THz
Dispersão	16.10^{-6} s/m ²
Espalhamento de Raman	Sim

Espalhamento de Rayleigh	Sim
Descrição do Retroespalhamento	OTDR
Descrição de Rayleigh	Coefficiente de Rayleigh
Análise de Polarização	Escalar
Campo de análise	Bidirecional

Tabela 4.5 - Parâmetros configurados para simulação da fibra[2].

O enlace é composto pelos seguintes componentes: uma fibra universal, um repetidor programado para atender certo número de interações de acordo com o comprimento do enlace, por exemplo, se a distancia entre dois pontos for 1km haverá 10 interações no repetidor e um filtro configurado para a passagem do canal de monitoramento.

4.4.3 Nó Remoto

Os parâmetros do nó remoto estão ajustados e processados em ordem de passagem do sinal, seguindo uma sequencia entra o acoplador que separa o sinal de supervisão e de informação, distribuindo para o AWG e Switch respectivamente saindo para multiplexadores responsáveis por juntar os sinais individuais das ONU's.

4.4.3.1 Acoplador Demultiplexador

Na entrada do bloco do nó remoto está o acoplador que irá demultiplexar o sinal que chega da fibra alimentadora, separando o sinal de supervisão e o sinal dos usuários, para tal, foi instalado neste bloco um demultiplexador e dois filtros para cada faixa de frequência, seguindo os parâmetros da Tabela 4.4 citado na sessão 4.4.1.3.

4.4.3.2 Switch Óptico 1x32

Ao ser separado o sinal no acoplador, a faixa de supervisão segue para o switch 1x32 que multiplicará este sinal a fim de distribuir para os 32 canais que seguirão individualmente em todas as ONU's. Neste componente é inserido apenas uma perda de inserção equivalente a dispositivos de mercado em torno de 1.3dB.

4.4.3.3 AWG

Enquanto o sinal de supervisão segue para o switch, o sinal de informação segue para o AWG para que seja separado nos 32 canais de acordo com o que foi configurado na OLT. Na Tabela 4. estão os parâmetros de configuração do AWG.

Parâmetro do AWG	
Número de portas de entrada	1
Número de portas de saída	32
Faixa de Frequência de operação	192,5 – 196,1 THz
Frequência inicial do Canal	192,8 THz
Espaçamento de canal de saída	100 GHz
Incoloridade (Colorless)	Ligado
Faixa Espectral Livre (FSR)	3,5 THz
Perda de Inserção	2.5dB
Resolução de Ruído	25 GHz

Tabela 4.6 - Parâmetros de configuração do AWG[2], [52].

O AWG possui uma porta de entrada e 32 portas de saída configuradas para atender todas as faixas de frequências das fontes de sinal, por isso a operação do AWG fica em torno de 192,5THz a 196,1THz e o FSR atendendo 3,5THz, tendo a frequência inicial igual ao primeiro laser CW dos usuários na OLT com espaçamento de 100GHz e o parâmetro de incoloridade ligado para atribuir ordem no roteamento na saída do AWG.

4.4.3.4 Acoplador Multiplexador

Ainda no nó remoto, existe um último componente caracterizado por um bloco com 64 filtros, sendo 32 para permitir o canal de supervisão e os outros 32 para filtrar cada canal dos usuários, na saída destes filtros possui um multiplexador com as frequências centrais de entrada

das portas 1 e 2 configurada para receber o sinal referente do monitoramento e da frequências roteada pelo AWG para o usuário final. Este bloco permite que todos 32 canais dos usuários sejam monitorados pelo sistema.

4.4.4 ONU e Medidor de BER

A ONU é representada por um filtro configurado de acordo com a frequência da ONT é um terra para finalizar o circuito. Contudo, para investigar a potência recebida de uma terminação e Na Tabela 4.6 estão os valores inseridos no módulo responsável pela extração da curva da BER enquadrada no valor de 10^{-9} .

Parâmetros do Atenuador Variável	
Atenuação Inserida	11.5 dB
Incremento	0.5 dB
Número de etapas	9
Taxa de amostragem padrão	De acordo com a ONU investigada

Tabela 4.6 - Parâmetros inseridos para configurar o módulo de BER.

Existem 4 parâmetros a serem considerados para extrair a curva da BER da potencia recebida na ONU, sendo a atenuação inicial inserida que deve ser próximo a um valor que faça o traçado cruzar o valor da BER padrão de redes ópticas, o incremento de atenuação que será dado considerando o número de etapas que o sistema irá interagir e por fim a taxa de amostragem padrão dada pelo laser CW em análise. O Atenuador variável tem a função de ajustar a defasagem da potencia do sinal que ocorre entre as redes que está monitorada e a que não tem OTDR, pois é necessário encaixar as potências para o nível da métrica de desempenho.

4.4.5 Cossimulação

A Cossimulação proporciona a coleta externa de informação dado um determinado ponto de medição. A Tabela 4.7 determina os parâmetros utilizados para configurar o sistema de interação entre os softwares utilizados.

Parâmetros de cossimulação	
Frequência Central do Medidor de Potência	184,5 THz
Seleção de Banda do Medidor de Potência	Sim
Entrada da Cossimulação	Padrão
Entrada da Cossimulação	Padrão
Tipo de Cossimulação	Matlab
Execução	Função de comandos
Diretório	Diretório onde estão as funções

Tabela 4.7 - Parâmetros de configuração de cossimulação.

Para utilizar cossimulação no VPI é necessário que seja enviado parâmetros da simulação a outros sistemas. Neste estudo, considerou-se como parâmetro a potência do sinal no ponto de coleta, sendo utilizado um medidor de potência com seleção de banda ativada e frequência central estabelecida de acordo com o objeto em estudo. Outros parâmetros estão associados diretamente com o módulo de interação, pois se deve configurar a variável de entrada e saída, dando o tipo de cossimulação, o diretório e a função e que irá executar o processo. As funções desenvolvidas no Matlab encontram-se em anexo neste trabalho e tem como principal objetivo gravar em arquivos o valor potência do sinal dado um ponto específico. Para que seja possível a integração entre o VPI e o Matlab é preciso apontar o caminho de algumas

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, o cenário WDM-PON utilizado na simulação foi modelado e parametrizado a fim de possibilitar uma visão individual de cada elemento da rede óptica. Portanto, foi visto como a central de telecomunicações está configurada, sobretudo os dispositivos e componentes instalados na central, tais como as fontes de sinal, OTDR e o acoplador, posteriormente considerou-se a modelagem dos enlaces, o nó remoto com seus respectivos dispositivos passivos (acoplador, *Switch*, AWG e multiplexadores) e por último, foram caracterizados os módulos instalados nas ONU's assim como a modelagem e os parâmetros de cossimulações. Tais configurações possibilitarão os resultados referentes aos casos analisados no próximo capítulo.

5 RESULTADOS OBTIDOS

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No capítulo anterior, foi apresentado e configurado a modelagem do cenário para testes. Neste capítulo, serão vistos, analiticamente os vários casos que foram testados no modelo WDM-PON em estudo, sendo que o primeiro caso analisará o traçado OTDR, o segundo permitirá a análise da penalidade do sinal de supervisão para variação da distância e por último será visto a influência do monitoramento, quando alternadas as taxas de bits no cenário proposto.

5.2 CASO I

O caso I foi subdividido em dois cenários, onde o primeiro corresponde à rede com supervisão OTDR, mas sem inserir faltas ao longo do enlace. O objetivo neste caso era verificar a inclinação do traçado OTDR considerando a atenuação natural da fibra óptica simulada de 0.2dB/km. A Figura 5.1 exibe o comportamento do sinal de monitoramento sem a inserção de eventos ao longo do enlace.

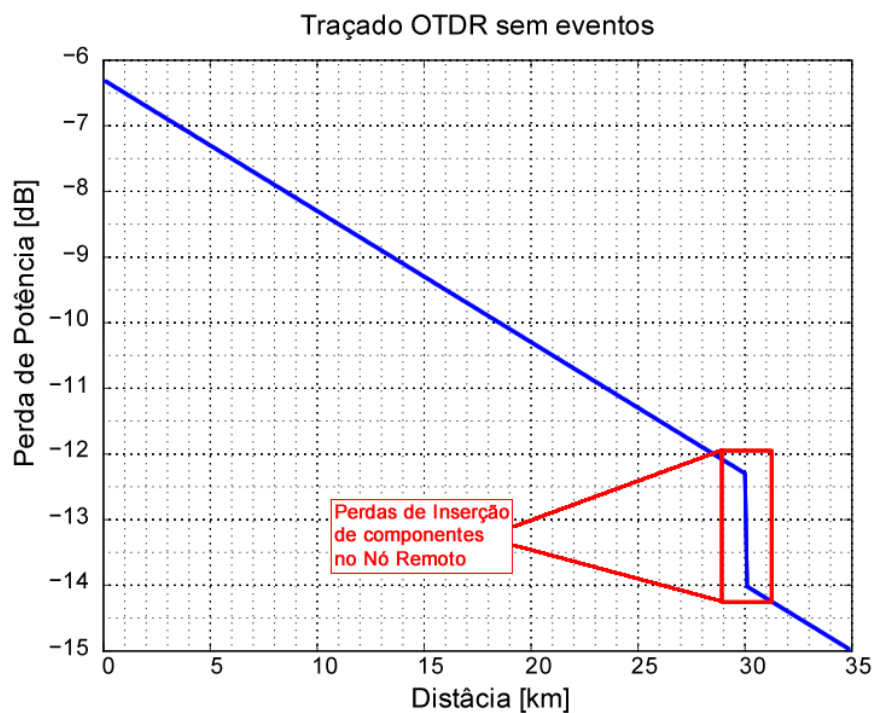


Figura 5.1 - Traçado OTDR extraído da simulação sem evento.

No primeiro cenário do CASO I é visto a perda de potência em relação da distância percorrida em Km. A fibra alimentadora possui 25Km o ocasiona uma perda de 5dB entre a OLT e o nó remoto, onde devido aos componentes ali instalados atribui mais uma perda de 3.1dB, porém, neste primeiro foi AWG ideal. Após o nó remoto existe mais um trecho de fibra com 5Km de comprimento e perda de 1dB. Considerando todas as perdas do enlace os sistema entrega uma potência com perda total de aproximadamente 15dB.

No segundo cenário, realizou-se uma nova simulação, porém inserindo perdas localizadas em pontos específicos ao longo do enlace através da inserção de atenuadores e dividindo o enlace em vários trechos à medida que os pontos fossem identificados, ou seja, entre os atenuadores havia um corte na fibra de acordo com comprimento estabelecido, para tal alternavam os números de interações no repetidor instalado no bloco do enlace. Na fibra alimentadora, foram inseridas duas faltas simulando os eventos ópticos a serem detectados pelo OTDR através de cossimulação: primeiro evento de 1.5dB após 6km e outro de 2.1dB a 27km da central. Uma terceira falta, localizada a 1.4 km do nó remoto na fibra *drop* referente a nona ONU, com a intensidade de 2 dB foi inserida. A Figura 5.2 obtida para esta simulação demonstra corretamente os eventos presentes na rede.

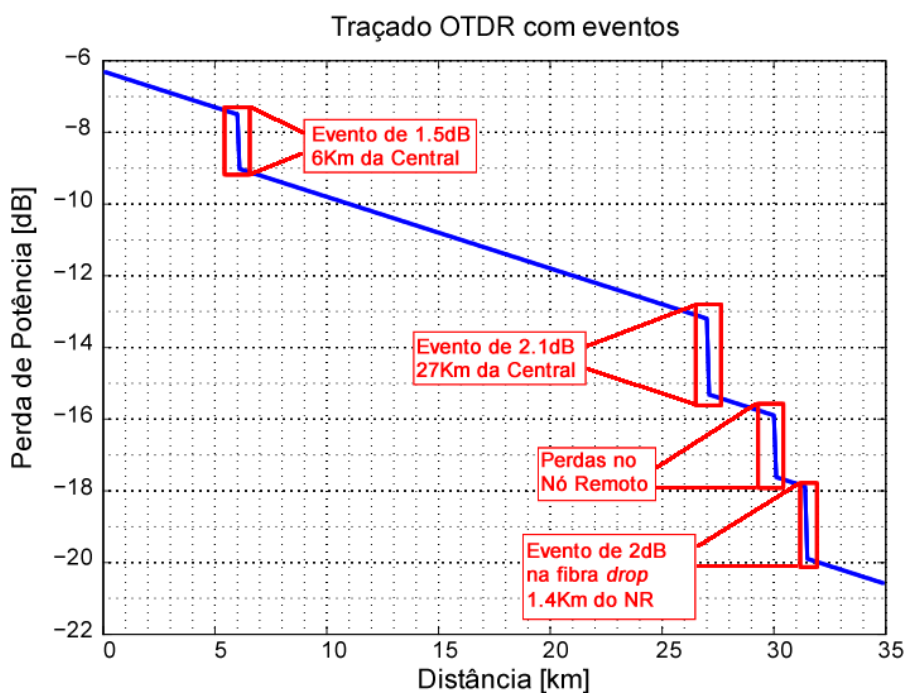


Figura 5.2 - Traçado OTDR com eventos.

A caracterização dos eventos ao longo do enlace principal, de certa forma não é muito difícil de analisar, pois o mesmo é apresentado em uma única fibra, neste caso em particular o

equipamento OTDR localiza sem maior problema a perda inserida, contudo, para os trechos entre o nó remoto e os usuários a análise consiste devido à inserção do switch 1x32 localizado no nó remoto, que multiplica o sinal ODTR para todos para cada uma das ONU's, sendo assim possível a visualização de um determinado evento neste ramo do sistema.

5.3 CASO II

Uma vez obtido o traçado OTDR, o próximo passo foi gerar o gráfico da BER em alguns usuários a fim de analisar a penalidade que o sinal de monitoramento causa no sistema como um todo. Neste sentido, um novo módulo foi inserido junto a ONU com o intuito de obter a BER como visto no capítulo anterior.

O motor de simulação garante que todos os módulos sejam executados pelo menos uma vez, por isso o enlace de transmissão será executado uma vez. A Instrumentação então calcula a BER e a média da potência óptica recebida [53].

Neste caso, simulou-se a rede WDM-PON com e sem a supervisão OTDR e, em ambos os casos, mediu-se a BER. A taxa de transmissão de dados na rede foi de 10Gb/s. Dois comprimentos do enlace foram simulados: 35 km e 39 km.

A curva da BER versus a potência recebida foi gerada através de cossimulação com Matlab simulando o sistema inicialmente retirando todos os componentes que integram o OTDR e em seguida adicionando novamente os dispositivos de monitoramento. Entretanto, para ratificar o modelo e aproxima-lo da realidade foram escolhidos aleatoriamente vários canais sem nenhum critério de escolha definido, retirando as médias dos resultados, cuja frequência de operação estão em 193.2THz, 193.6THz, 194.4THz e 195.2THz. Durante a simulação existiam algumas variantes associadas ao módulo NRZ do VPI na fonte do sinal que necessitavam ser exaustivamente testada, pois a cada simulação as potencia do sinal apresentavam diferentes valores dificultando a análise dos resultados. Esta variante foi resolvida ao alternar a semente nos parâmetros do laser, contudo, ocorria constantemente tal variação, logo tinha que aplicar a metodologia ate que se normalizasse o sistema novamente. Este procedimento atrasos durante as simulações, conseqüentemente no tempo geral das interações.

Ao alternar entre um canal e outro o bloco de cossimulação era migrado entre eles e reconfigurado para atender os parâmetros associados a ONU que estava sendo analisada,

justamente para visualizar o comportamento individual que posteriormente foi separado para retirar as médias.

O OTDR foi ajustado para atender características de equipamentos reais [51] com largura de pulso em 10ns.

Uma vez ajustado a potência de entrada das fontes estudadas iniciou-se primeiramente a avaliação da BER para a rede de 35Km, sendo 30Km da fibra alimentadora mais 5Km da fibra *drop*. A Figura 5.3 exibe o traçado entre os sistemas sem o OTDR na curva azul e inserindo a supervisão posteriormente através da curva vermelha.

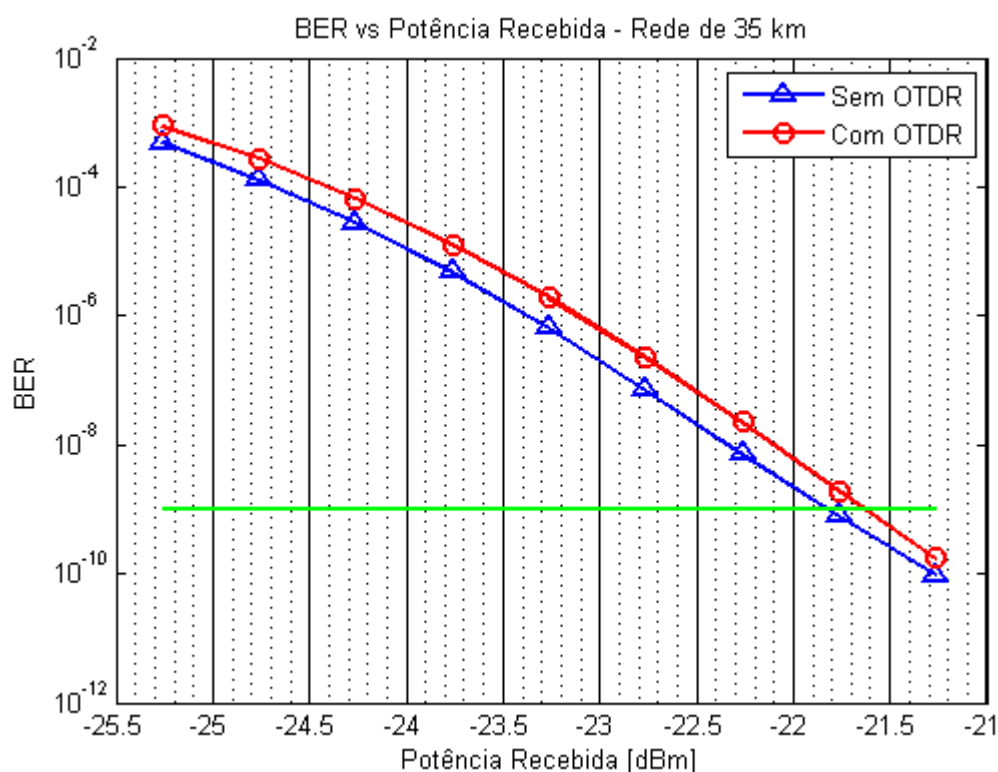


Figura 5.3 - Curva da BER para a rede de 35Km.

A fim de avaliar o estudo para a menor distancia deste caso, o atenuador varável foi ajustado para atribuir a margem de penalidade dentro do padrão da BER de 10^{-9} verificando a diferença entre o sistema sem o sinal de supervisão e com o OTDR constatando uma penalidade de 0.1921 dB.

O caso II avalia o comportamento para duas distâncias, então todo processo anterior foi refeito avaliando agora um enlace total de 39Km entre a OLT e o NR, persistindo as diversas simulações para estabilizar a potencia de entrada dos lazeres para os diversos canais com intuito de retirar a média de todos os pontos. Logo, foi feito todas as simulações para os canais considerando o sistema sem o OTDR e em seguida as diversas soluções para a WDM-

PON já instalado a supervisão. A Figura 5.4 exibe a resposta das simulações da rede de 39Km de distância, impressa pelo Matlab.

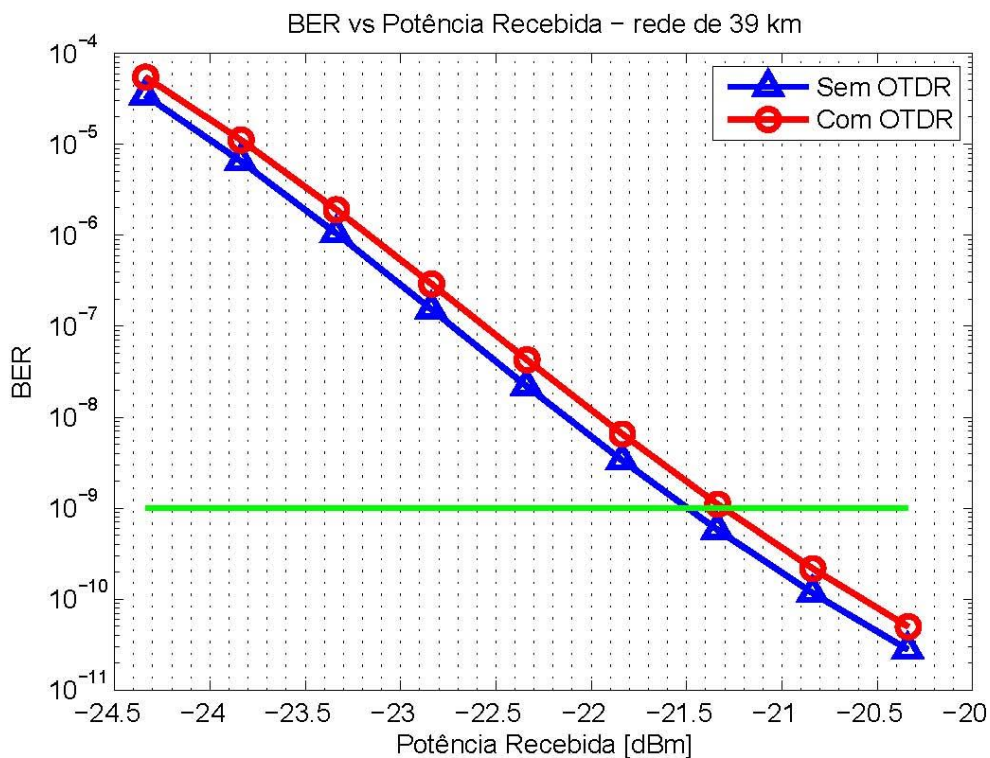


Figura 5.4 - Curva da BER para a Rede de 39Km.

Para o enlace com maior comprimento, foi obtida a BER versus a potência recebida com a penalidade para este caso em torno de 0.188 dB demonstrando ser bem próxima ao valor do enlace menor.

5.4 CASO III

A fim de extrair novas comparações para validar os resultados, o sistema foi reconfigurado para medir a relação da BER com a potência recebida para o média dos canais 5, 9, 17 e 15 cuja frequência de operação estão em 193.2THz, 193.6THz, 194.4THz e 195.2THz, respectivamente assim como o caso II. Entretanto, o procedimento de estimação foi refeito para as taxas de bits 1Gbps e 10Gbps com pulso do OTDR em 10ns. Todos os procedimentos de configuração das medidas e saídas das potências de entrada nas fontes de sinal foram reavaliadas para que o sistema retornasse os resultados de acordo com o esperado, sem divergências que viesse comprometer na análise do sinal, desta forma, o ambiente de

simulação foi testado várias vezes tanto para WDM-PON sem o OTDR, quanto ao cenário com a supervisão. Na Figura 5.5 pode ser vistos estes resultados.

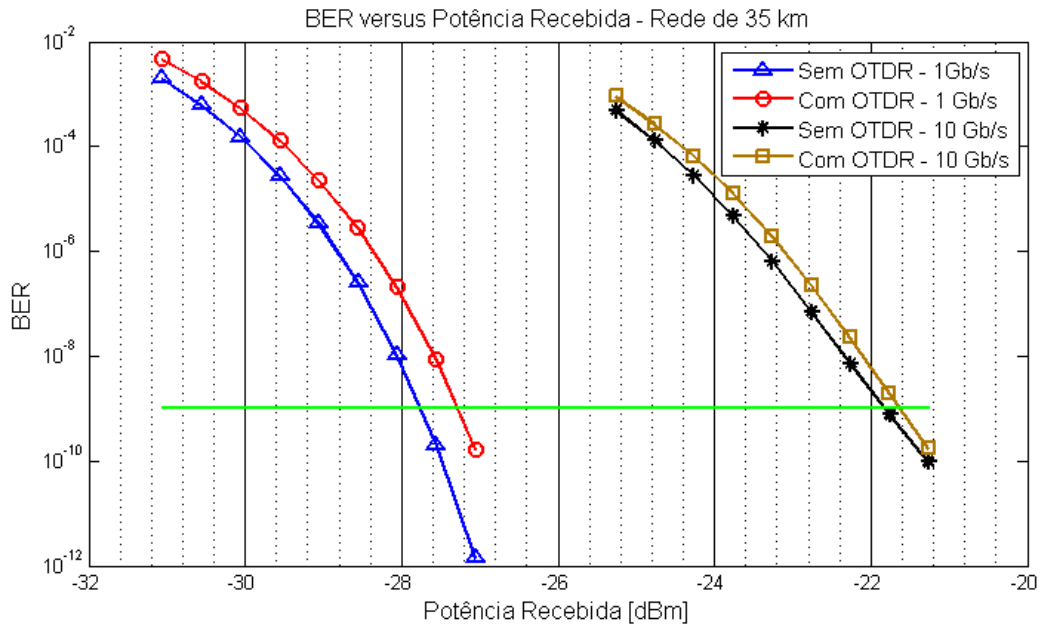


Figura 5.5 - Curva da BER para Redes com taxa de Bits a 1 e 10Gbits/s.

O resultado visto para as taxas de bits exemplificadas nas simulações demonstram as penalidades que o monitoramento OTDR causa no sistema. Para a rede operando a uma taxa de 10Gb/s, a penalidade introduzida para uma BER de 10^{-9} foi de 0,4773dB, enquanto que a rede operando com uma taxa de 1Gb/s, exibiu uma penalidade de 0,1921dB, para o mesmo valor de BER. Esses resultados demonstram que apesar do sistema apresentar uma certa taxa de dados perdidos, não chega a afetar o desempenho da rede como um todo, conforme é possível verificar devido as baixas penalidades introduzidas.

5.5 ANÁLISE PARA OS CASOS II E III

Tanto no caso II quanto no caso III o sistema apresenta um comportamento em comum uma vez que a curva da BER para a WDM-PON com o OTDR em todos os resultados está levemente a cima da curva da rede óptica sem o canal de supervisão como vistos nas Figura 5.3, Figura 5.4 e Figura 5.5.

O comportamento destes sistemas ocorre devido a um dos parâmetros da fibra óptica referente ao fenômeno de retro espalhamento de Ramam que está ativo em todos os casos. Este efeito é dado devido às diferenças entre as frequências dos canais de informação e de

supervisão. Ao configurar uma frequência menor no OTDR, este canal tende sugar a energia do canal de dados quando o acoplamento do sinal é máximo [54], [55].

5.6 ESTUDOS DESENVOLVIDOS PELA EQUIPE DE PESQUISA

Paralelamente aos resultados apresentados neste trabalho, outros estudos similares foram ou estão sendo feitos pelo grupo de redes ópticas. No exemplo a seguir, considera-se o monitoramento por OTDR de uma rede WDM-PON com fonte de sinal e fibras alimentadoras redundantes a fim de garantir maior confiabilidade do sistema.

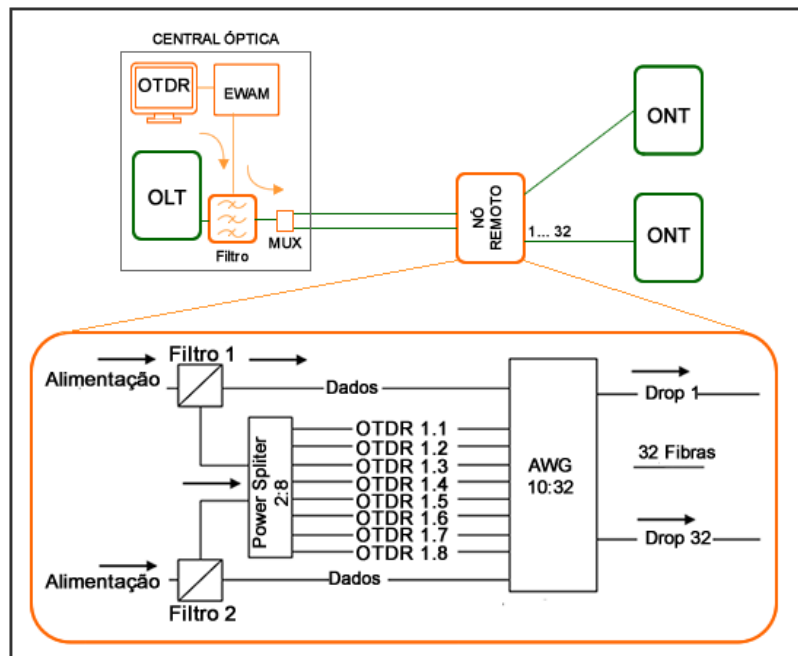


Figura 5.6- Esquema para monitoramento WDM .

Neste trabalho ocorre a investigação da rede igualmente ao discutido na dissertação, porém os resultados avaliam o sinal quando inserido o monitoramento sem o desvio no AWG, sendo que o mesmo tem configuração NxM, mais especificamente 10x32. A configuração do AWG foi feita para receber apenas 8 sinais de OTDR vindo do *Power Sppliter* configurado em 2x8.

O sinal dos usuários partem com o OTDR em duas fibras alimentadora, sendo uma principal e outra secundária de backup em caso de falha da primária até o nó remoto que tratará do sinal através de 2 acopladores encaminhando o sinal do OTDR para o *Power*

Splitter 2x8 e o canal de informação diretamente ao AWG 10x32, pois neste caso receberá 8 sinais de monitoramento e 2 de informação, pois são duas fibras alimentadora.

Este caso específico terá como resultado não apenas 8 ramos supervisionados pelo OTDR misturado com o sinal de informação dos 32 canais de saída. A diferença fundamental entre os estudos da dissertação com este é que um supervisiona todos os canais e o outro apenas 2, porém no caso da utilização do AWG para rotear o OTDR ocorre a simplificação do sistema WDM-PON.

5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram obtidos e analisados os resultados de vários casos de testes feitos no cenário de uma WDM-PON, com objetivo de verificar o comportamento do traçado OTDR com e sem eventos. A principal análise se constituiu na verificação das penalidades medidas quando comparado à rede sem a inserção do sinal da supervisão, para os casos considerando distâncias e taxas de bits distintas. Ao final foi apresentado novo cenário que está sendo estudado dentro do grupo de trabalho de redes ópticas.

6 CONCLUSÃO

6.1 CONSIDERAÇÕES

O crescimento da demanda de banda larga, provenientes dos novos serviços de telecomunicações necessita de tecnologias de acesso inovadoras, dentre as quais, se enquadram as redes ópticas que ao longo do tempo apresentaram novas soluções de acordo com os padrões das gerações desenvolvidas. Com a evolução das redes ópticas, vieram os sistemas de monitoramento responsáveis pela supervisão de tal tecnologia, onde o OTDR é comumente aplicado.

6.2 CONTRIBUIÇÕES

Este trabalho mostra a estratégia para monitoramento de WDM-PON com intuito de auxiliar o provedor de serviços no que concerne a interferência dos sistemas de supervisão. Principalmente se ocorrerá algum tipo de interrupção do sinal entregue, considerando a inclusão de um equipamento OTDR na rede.

Desta forma, este estudo apresenta o seguinte como principais contribuições:

- Proposição de uma estratégia aplicável, factível e flexível, capaz de realizar estudos de planejamento de redes PON, mensurando o impacto de supervisão OTDR;
- Disponibilização, a partir de uma visão sistémica, das características das diversas gerações de redes ópticas, igualmente, os tipos de tecnologias existentes para supervisiona-las;
- Consolidação de know-how nas principais ferramentas de simulação de redes ópticas, sobretudo do Software *VPITransmissionMaker*.
- Apresentação de uma metodologia aplicada na elaboração de redes ópticas com integração de vários softwares através de cossimulação;
- Elaboração de um conjunto de estudos de casos capaz de comprovar a viabilidade do monitoramento nas redes ópticas;
- Aprimoramento de estudos desenvolvidos pela equipe de pesquisa de redes ópticas do LEA/UFPA, em parceria com outros laboratórios do país e do exterior.

6.3 DIFICULDADES

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram encontradas algumas dificuldades citadas aqui, de forma que possa orientar pesquisadores e estudantes que venham utilizar os conhecimentos apresentados nesta dissertação.

As dificuldades encontradas foram decorrentes de diversos fatores, entre os quais se destacam:

- Pelo fato deste trabalho contextualizar as gerações das redes ópticas e as formas de monitoramento, foi necessário fazer um levantamento bibliográfico que pudesse embasar de forma satisfatória esta dissertação, uma vez que as redes ópticas caracterizadas por vários padrões de acordo com sua geração e a evolução desta tecnologia.
- Como esta dissertação foi desenvolvida em um ambiente de simulação, a primeira dificuldade foi determinar qual seria o melhor software se enquadraria para modelagem do cenário.
- Uma vez determinado software a ser utilizado, adquirir o mesmo, pois, via de regra, são software “proprietários” e com custos razoavelmente elevados.
- Como o simulador escolhido ainda não tinha sido utilizado pelo grupo de trabalho de redes ópticas, inicialmente houve dificuldade na instalação, que consumiu bastante tempo, pois houve necessidade de contactar com o fornecedor inúmeras vezes.
- Uma vez instalado, a próxima dificuldade encontrada foi como utilizar software para montar o cenário estudado e integrá-lo ao Matlab para cossimulação.
- Durante as simulações, o cenário montado consumiu bastante tempo na execução, como se não bastasse a demora, ainda ocorria uma variação na potência de saída dos lasers o que interferia no gráfico dos resultados.

Ao optar em estudar redes ópticas enfrentasse de imediato a necessidade de verificar o que vem sendo proposto para esta tecnologia, identificando as necessidades existentes para fazer a supervisão desta rede a fim de contribuir de forma significativa nesta área, que engloba aspectos de satisfação dos usuários.

6.4 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro, os principais desdobramentos vislumbrados são:

- Simular cenários com mais taxas e distâncias diversas, para avaliar o comportamento dessas novas medidas.
- Trocar, no OTDR, as larguras de pulsos de acordo com os vários padrões de mercado para tal equipamento.
- Expandir o cenário, de forma que avalie a rede quando incluído outras tecnologias de acesso para atender a todas as camadas de clientes.
- Estudar as penalidades causada pela supervisão, utilizando somente o AWG e um *power splitter* no Nó Remoto. Desta forma, diminuir os custos na implementação da WDM-PON.
- Utilizar extração de padrão para caracterizar os eventos ocorrido ao longo do enlace.
- Avaliar o impacto do monitoramento na WDM utilizando outras técnicas existentes, assim como o OFDR.

6.5 DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NESTE TRABALHO

Trabalho completo publicado em eventos:

Ulisses W. C. Costa, Renan Santos, Renan Almeida, Nyanne Satie Moritsuka, Carlos R. Lisboa Francês, João C. W. A. Costa, “Análise da influência do monitoramento OTDR em uma rede WDM-PON”. XXXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBrT2013, 1-4 de Setembro de 2013, Fortaleza, CE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. F. Lam, *Passive Optical Networks: Principles and Practice*. Academic Press.
- [2] M. Cen, “Study on Supervision of Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network systems,” KTH Information and Communication Technology, 2011.
- [3] P. J. Urban and S. Dahlfort, “Cost-efficient remote PON monitoring based on OTDR measurement and OTM functionality,” *Transparent Opt. Networks (ICTON), 2011 13th Int. Conf.*, pp. 1–4, 2011.
- [4] M. Wuilpart, A. Grillet, K. Yuksel, D. Gianone, G. Ravet, and P. Megret, “Dynamics enhancement of OTDR-based monitoring systems for passive optical networks,” *Proc. Symp. IEEE/LEOS Benelux Chapter*, 2007.
- [5] A. Ehrhardt, F. Escher, L. Schurer, H.-M. Foisel, A. Templin, M. Adamy, and C. Gerlach, “Investigation of limitations for OTDR-measurements in PON with demarcation devices,” *Opt. Commun. (ECOC), 2011 37th Eur. Conf. Exhib.*, pp. 1–3, 2011.
- [6] M. El-Sayed, P. J. Ibrahim, and F. Gunzer, “Investigation of the precision regarding fiber fault location with a commercial Optical Time Domain Reflectometer,” *High-Capacity Opt. Networks Enabling Technol. (HONET), 2010*, pp. 237–241, 2010.
- [7] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, *Optical Networks - A Practical Perspective*. Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [8] Teleco, “FTTx,” *Teleco.com*. [Online]. Disponível: <http://www.teleco.com.br/ftth.asp>. [Acessado: 01/08/2013].
- [9] Teleco, “Tutoriais Redes Ópticas,” *Teleco.com*. [Online]. Disponível: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriaisolfo1/pagina_1.asp. [Accessed: 22-Jul-2013].
- [10] Teleco, “Tutoriais Redes Ópticas - WDM,” 2009. [Online]. Disponível: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmd/default.asp>. [Acessado: 29/12/2013].
- [11] M. Abrams, P. C. Becker, Y. Fujimoto, V. O’Byrne, and D. Piehler, “FTTP deployments in the United States and Japan—equipment choices and service provider imperatives,” *Light. Technol. J.*, vol. 23, pp. 236–246, 2005.
- [12] G. Keiser, *FTTX Concepts and Applications*. John Wiley & Sons, 2006.
- [13] I. G. 98. Recommendations, “Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).” 2005, 2005.

- [14] I. S. 802.3ah, “Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.” 2004.
- [15] I. G. 98. Recommendations, “Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics.” 2008.
- [16] B. Requirements, “Fiber to the Home Architectures,” pp. 1–12.
- [17] G. Kramer and G. Pesavento, “Ethernet passive optical network (EPON): building a next-generation optical access network,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 2, pp. 66–73, 2002.
- [18] “10Gb/s Ethernet Passive Optical Network.” [Online]. Disponível: <http://www.ieee802.org/3/av/>. [Acessado: 02/08/2013].
- [19] F. Effenberger, D. Cleary, O. Haran, G. Kramer, R. Li, M. Oron, and T. Pfeiffer, “An introduction to PON technologies [Topics in Optical Communications],” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 45, no. 3, pp. S17–S25, Mar. 2007.
- [20] F. J. Effenberger, “The XG-PON System: Cost Effective 10 Gb/s Access,” *J. Light. Technol.*, vol. 29, no. 4, pp. 403–409, Feb. 2011.
- [21] D. Systems, “ITU-T,” 2012.
- [22] J. Park, J. Baik, and C. Lee, “Fault-detection technique in a WDM-PON,” *Opt. Express*, vol. 15, 2007.
- [23] A. Banerjee, Y. Park, F. Clarke, H. Song, S. Yang, G. Kramer, K. Kim, and B. Mukherjee, “Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access: a review [Invited],” *J. Opt. Netw.*, vol. 4, 2005.
- [24] Recommendation ITU-T G.987.1, “10 Gigabit-capable Passive Optical Network (XG-PON): General Requirements,” 2010.
- [25] CPqD, “Capacidade, velocidade e inteligência ditam a evolução das redes ópticas.” .
- [26] F. An, K. S. Kim, Y. Hsueh, M. Rogge, W. Shaw, and L. Kazovsky, “Evolution, challenges and enabling technologies for future {WDM}-based optical access networks,” in *Proc. of JCIS 2003, Research Triangle Park, NC, USA*, 2003, pp. 1449–1453.
- [27] Wikipedia, “Arrayed Waveguide Grating.” .
- [28] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, Terceira e. John Wiley & Sons, 2002.
- [29] P. Munoz D. Pator and J. Capmany, “Modeling and Design of Arrayed Waveguide Gratings,” *J. Light. Technol.*, vol. 20, p. 661, 2002.

- [30] K. N. S. Rajiv Ramaswami and G. H. Sasaki, *Optical Networks: a Practical Perspective*. Morgan Kaufman: Elsevier Inc., 2010.
- [31] “VPI TransmissionMaker Optical Systems User’s Manual.” .
- [32] A. E. N. A. Mohammed A. N. Z. Rashed and A. E. F. A. Saad, “Estimated optimization parameters of arrayed waveguide gratings for C-band applications,” *Int. J. Phys. Sci.*, vol. 4, pp. 149–155, 2009.
- [33] M. K. Smit, A. Member, and C. Van Dam, “PHASAR-Based WDM-Devices :,” vol. 2, no. 2, pp. 236–250, 1996.
- [34] G. E. V. Silva and M. A. Romero, “ESTUDO DE TOPOLOGIAS PARA REDES WDM-PON,” Universidade de São Paulo – USP, 2010.
- [35] G. Keiser, *Optical Communication Essentials*. McGraw-Hill Companies, 2004.
- [36] A. Luis, M. Regina, and C. Caputo, “Aplicação do OTDR na Análise de Problemas de Atenuação em Fibras Ópticas : Estudo de Casos,” vol. 05, 2002.
- [37] S. Edition, “Reference Guide to Fiber Optic Testing,” vol. 1.
- [38] P. A. Tipler, *Física para cientistas e engenheiros*, vol. 2. LTC, 2000.
- [39] P. L. W. T. Zhu and P. Wang, “Fiber network monitoring,” *U.S. Pat. 2009/0263123 AI*.
- [40] S. W. W. F. T. C. Y. Wang T. J. Liaw and C. Wu, “Apparatus for monitoring optical obstructed in an optical split network and method thereof,” *U. S. Patent2008/0291431 AI*,.
- [41] E. S. S. K. M. Lim and K. H. Han, “Fault localization in WDM Passive Optical Network by reusing downstream light source,” *Transparent Opt. Networks (ICTON), 2011 13th Int. Conf.*, vol. 17, pp. 2691–2693, 2005.
- [42] S. K. L. Y. S. Hsieh and Y. T. Lai, “Real time monitoring in a WDM PON based on array waveguide grating incorporated a DWDM filter,” *Aust. Conf. Opt. Fibre Technol. OECC/ACOFT*, vol. 978, 2008.
- [43] M. Hlav and J. Jasenek, “COMMUNICATIONS CUSTOM PHOTON COUNTING OTDR FOR OPTICAL C – BAND,” *J. Electr. Eng.*, vol. 60, no. 4, pp. 215–218, 2009.
- [44] J. P. von der Weid, R. Passy, and N. Gisin., “Coherent Reflectometry of Optical Fiber Amplifiers,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 9, no. 9, 1997.
- [45] M. Wegmuller, P. Oberson, J. P. von der Weid, O. Guinnard, L. Guinnard, C. Vinegoni, M. Legre, and N. Gisin, “Overview of coherent reflectometry techniques: characterization of components and small systems,” *Tech. Dig. Symp. Opt. Fiber Meas. 2000 (NIST SP 953)*, pp. 155–60|viii+189, 2000.

- [46] J. P. von der Weid, R. Passy, G. Mussi, and N. Gisin, "On the Characterization of Optical Fiber Network Components with Optical Frequency Domain Reflectometry," *J. Light. Technol.*, vol. 15, no. 7, Jul. 1997.
- [47] K. Yüksel, M. Wuilpart, V. Moeyaert, and P. Mégret, "Novel monitoring technique for passive optical networks based on optical frequency domain reflectometry and fiber Bragg gratings," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 2, no. 7, p. 463, Jun. 2010.
- [48] E. M. de Carvalho, "Modelagem e Simulação de Desempenho de Redes de Computadores," 2005.
- [49] Teleco, "Redes Ópticas Passivas II: Introdução." [Online]. Disponível: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialropassiva2/pagina_2.asp. [Acessado: 20/11/2013].
- [50] VPIPhotonics, "VPITransmissionMaker Optical Systems." .
- [51] A. CORPORATION, "MT9083 Series ACCESS Master Operation Manual," vol. Tenth Edit, 2013.
- [52] I. Fiberdyne Labs, "DWDM Module Arrayed Waveguide with Tap," 2004.
- [53] B. Mukherjee, *Optical WDM Networks*. Springer, 2006.
- [54] C. Scheerer, "OTDR pulse power limit in on-line monitoring of optical fibres owing to stimulated Raman scattering," *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 7, p. 679, 1996.
- [55] P. M. Kjeldsen, M. Obro, J. S. Madsen, and S. K. Nielsen, "Bit-error-rate degradation due to on-line OTDR monitoring above 1.6 μm ," in *Proceedings of Optical Fiber Communication Conference* (, pp. 95–96.

APÊNDICE A: CÓDIGOS MATLAB PARA COSSIMULAÇÃO

Coleta da potência de Entrada

```
function PotEntrada(input)\n
    fid = fopen('potEntrada.csv','a');\n
    fprintf(fid,'%f;',input);\n
    fclose(fid);\n
end
```

Coleta do primeiro trecho de enlace

```
function otdr1(input1)\n
    fid = fopen('input1.csv','a');\n
    fprintf(fid,'%f;',input1);\n
    fclose(fid);\n
end
```

Coleta do segundo trecho de enlace

```
function otdr2(input2)\n
    fid = fopen('input2.csv','a');\n
    fprintf(fid,'%f;',input2);\n
    fclose(fid);\n
end
```

Coleta do terceiro trecho de enlace

```
function otdr3(input3)\n
    fid = fopen('input3.csv','a');\n
    fprintf(fid,'%f;',input3);\n
    fclose(fid);\n
end
```

Coleta do quarto trecho de enlace

```
function otdr4(input4)\n
    fid = fopen('input4.csv','a');\n
    fprintf(fid,'%f;',input4);\n
    fclose(fid); %%%\n
    %% Coleta a transposta da matriz\n
    PotEntrada = load('potEntrada.csv');\n
    sinal1 = load('input1.csv');
```

```

sinal2 = load('input2.csv');\\
sinal3 = load('input3.csv');\\
sinal4 = load('input4.csv');\\
sinal = [sinal1;sinal2;sinal3;sinal4]; \%Concatena os 3 sinais refletidos\\
tamVetor = length(sinal);\\
Pin = PotEntrada*(ones(tamVetor,1));\\
DistKm = (100/1000)*(1:tamVetor); \% Conversao para Km\\
OTDR = sinal-Pin;\\
plot(DistKm,OTDR,'-r','LineWidth',2),grid minor\\
set(gca,'fontsize',12);\\
xlabel('Distância [km]','fontsize',12);\\
ylabel('Perda de Potência [dB]','fontsize',12);\\
title('Traço OTDR','fontsize',12);\\
saveas(gcf,'OTDR','eps');\\
saveas(gcf,'OTDR','fig');\\
end

```

Coleta do as informações da potência recebida da BER

```

ber_withoutOTDR=load('D:\Mestrado\vpi
code\OTDR_example2\m_files\ber_withoutOTDR.mat','-ASCII');
ber_withOTDR=load('D:\Mestrado\vpi code\OTDR_example2\m_files\ber_withOTDR.mat','-
ASCII');
power_rx_withoutOTDR=load('D:\Mestrado\vpi
code\OTDR_example2\m_files\power_rx_withoutOTDR.mat','-ASCII');
power_rx_withOTDR=load('D:\Mestrado\vpi
code\OTDR_example2\m_files\power_rx_withOTDR.mat','-ASCII');
figure
semilogy(power_rx_withoutOTDR,ber_withoutOTDR,'b^-')
xlabel('Received Power [dBm]')
ylabel('BER')
title('BER vs Received Power')
hold on
semilogy(power_rx_withOTDR,ber_withOTDR,'ro-'), grid minor;
legend('without OTDR','with OTDR')

```



```

semilogy(power_rx_withOTDR,10^-9*ones(size(power_rx_withOTDR)), 'g')
figure
LogBER_withoutOTDR = -log10(ber_withoutOTDR);
LogBER_withOTDR = -log10(ber_withOTDR);
plot(power_rx_withoutOTDR,LogBER_withoutOTDR,'b^','LineWidth',2,'MarkerSize',10,'Ma
rkerFaceColor','b')
xlabel('Received Power [dBm]')
ylabel('-log(BER)')
title('-log(BER) vs Received Power')
hold on
plot(power_rx_withOTDR,LogBER_withOTDR,'ro','LineWidth',2,'MarkerSize',10,'MarkerFa
ceColor','r')
legend('without OTDR','with OTDR')
plot(power_rx_withOTDR,9*ones(size(power_rx_withOTDR)), 'g','LineWidth',2)
coefficient_withoutOTDR = polyfit(power_rx_withoutOTDR,LogBER_withoutOTDR,1);
coefficient_withOTDR = polyfit(power_rx_withOTDR,LogBER_withOTDR,1);
lineBER_withoutOTDR=
coefficient_withoutOTDR(1)*power_rx_withoutOTDR+coefficient_withoutOTDR(2);
lineBER_withOTDR=
coefficient_withOTDR(1)*power_rx_withOTDR+coefficient_withOTDR(2);
plot(power_rx_withoutOTDR,lineBER_withoutOTDR,'b-','LineWidth',2)
plot(power_rx_withOTDR,lineBER_withOTDR,'r-','LineWidth',2)

set(gca,'ydir','reverse');

```