

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TELEINFORMÁTICA E REDES DE
COMPUTADORES

LUIZ GUSTAVO VILLELA LOEPPER

GPON: UMA ABORDAGEM PRÁTICA

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2013

LUIZ GUSTAVO VILLELA LOEPER

GPON: UMA ABORDAGEM PRÁTICA

Monografia de especialização apresentada ao Curso de Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores, do Departamento de **Eletrônica** da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Teleinformática e Redes de Computadores.

Orientador: Prof. Kleber Kendy Horikawa Nabas, Dr.

CURITIBA

2013

Dedico este trabalho à minha família e meus colegas de trabalho, pela dedicação e compreensão despendidas.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço aos meus colegas de sala e de trabalho, pelo auxílio à execução deste trabalho.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

O bom senso é a coisa do mundo melhor partilhada: pois cada um pensa estar tão bem provido dele, que mesmo os que são mais difíceis de contentar em qualquer outra coisa, não costumam desejar tê-lo mais do que o tem.

(DESCARTES, René)

RESUMO

LOEPPER, Luiz Gustavo Villela. GPON. 2013. 60 f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Curso de Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Uma das vantagens das redes PON sobre as redes em fibra ponto-a-ponto é a utilização de uma única fibra para vários clientes, reduzindo o custo de implantação e operação de uma rede de banda larga. Entretanto, a utilização para até 128 clientes torna necessário realizar uma boa engenharia de planejamento da rede óptica, analisando as diferentes topologias que podem ser utilizadas, assim como da distribuição de bandas entre os usuários. A inserção de elementos passivos no meio da rede ponto-à-ponto incrementam a dificuldade da análise pelas equipes de campos, portanto, a utilização dos equipamentos de medições ópticas deve ser reavaliada utilizando os divisores ópticos como elementos demarcadores da rede. Com a alta densidade de usuários permitida e as altas capacidades de bandas que o GPON permite, a localização do elemento central (OLT) e a distribuição dos acessos se torna além de uma escolha técnica, uma decisão econômica, onde a quantidade de clientes disponíveis em uma região acaba por definir a topologia a ser utilizada.

Palavras-chave: PON. Divisores ópticos. Rede de acesso. Medições ópticas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Arquitetura FFTx. Fonte: Rohman, 2010.....	16
Figura 2 - Inserção de luz em uma fibra. Fonte: JDSU, 2011.....	19
Figura 3 - Reflexão da luz. Fonte: JDSU, 2011.....	19
Figura 4 - Comparação entre tipos de fibras. Fonte: Rodriguez, 2012.....	20
Figura 5 - Atenuação da fibra em função do comprimento de onda. Fonte: JDSU, 2011.....	21
Figura 6 - Dispersão Modal. Fonte: JDSU, 2011.....	21
Figura 7 - Dispersão Cromática. Fonte: JDSU, 2011.....	22
Figura 8 - Dispersão PMD. Fonte: JDSU, 2011.....	22
Figura 9 - Divisores Ópticos. Fonte: Furukawa, s.d.....	23
Figura 10 – Um único nível de divisão. Fonte: o autor.....	25
Figura 11 - Múltiplos níveis de divisão. Fonte: o autor.....	25
Figura 12 - Topologia em barramento. Fonte: o autor.....	26
Figura 13 - Tráfego downstream. Fonte: Alcatel, 2011.....	28
Figura 14 - Tráfego upstream. Fonte: Alcatel, 2011.....	28
Figura 15 - Proteção Tipo A. Fonte: ITU-T, 2003.....	30
Figura 16 - Proteção Tipo B. Fonte: ITU-T, 2003.....	31
Figura 17 - Proteção Tipo C. Fonte: ITU-T, 2003.....	31
Figura 18 - Proteção Tipo D. Fonte: ITU-T, 2003.....	32
Figura 19- Topologia Radial. Fonte: o autor.....	33
Figura 20 - Topologia utilizando divisores ópticos desbalanceados. Fonte: o autor.....	33
Figura 21 - Topologia utilizando divisores ópticos moduladres. Fonte: o autor.....	34
Figura 22 - Topologia em Anel - utilizando a Proteção tipo B. Fonte: o autor.....	34
Figura 23 - Topologia mista. Fonte: o autor.....	35
Figura 24 - Frames de Downstream e o controle de acesso Upstream. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.....	36
Figura 25. Tipos de alocação de banda. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.....	37
Figura 26. T-CONT. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.....	38
Figura 27 - Pacotes de Downstream. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.....	38
Figura 28 - Pacotes de Upstream. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.....	39
Figura 29 - Encapsulação GEM de pacotes Ethernet. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.....	39

Figura 30- Cenário de Upstream e colisões de pacotes. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.	41
Figura 31 - Janela de " <i>ranging</i> ". Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.	41
Figura 32 – GPON. Fonte: o autor.	46
Figura 33 - Kit de limpeza de fibras. Fonte: EXFO, s.d.	49
Figura 34 - OTDR EXFO FTB-1. Fonte: EXFO, s.d.....	50
Figura 35 - OTDR em funcionamento. Fonte: EXFO, s.d.....	50
Figura 36 - Exemplo de traço de OTDR. Fonte: EXFO, s.d.	51
Figura 37 - ORL Meter - EXFO FOT-930. Fonte: EXFO, s.d.....	51
Figura 38 - Resultados medição com FOT-930. Fonte: EXFO, s.d.....	52
Figura 39 - Thresholds para fibras monomodo. Fonte: EXFO, s.d.....	52
Figura 40 - Pon Power Meter - EXFO PPM-350C. Fonte: EXFO, s.d.	52
Figura 41 - Tela PPM-350C. Fonte: EXFO, s.d.....	53
Figura 42 - Thresholds Power Meter no cliente. Fonte: o autor.....	53
Figura 43 - Microscópio EXFO FP4S. Fonte: EXFO, s.d.....	54
Figura 44 - Fluxo de inspeção de conectores. Fonte: JDSU, 2011.	54
Figura 45 - Medições via OTDR na bobina. Fonte: o autor.	55
Figura 46 - Construção - verificação após lançamento. Fonte: o autor.	56
Figura 47 - Construção - certificação após lançamento. Fonte: o autor.	56
Figura 48 - Construção - caracterização do Divisor Óptico. Fonte: o autor.....	57
Figura 49 - Testes de aceitação do trecho do cliente. Fonte: o autor.....	58
Figura 50 - Teste de aceitação do trecho principal. Fonte: o autor.	58
Figura 51 - Ativação de um novo cliente. Fonte: o autor.	59
Figura 52 - Tratamento de falha - análise de potências. Fonte: o autor.	59
Figura 53 - Tratamento de falhas - localização da falha no trecho do cliente. Fonte: o autor.	60
Figura 54 - Tratamento de falhas - localização da falha na fibra principal. Fonte: o autor.	60
Figura 55 - Topologia com proteção Tipo-B. Fonte: o autor.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requerimento de banda para serviços IP	15
Tabela 2 - Tipos de PON e suas principais características	17
Tabela 3 - Perdas em divisores óticos balanceados	24
Tabela 4 - Perdas em divisores óticos desbalanceados	26
Tabela 5 - Classes de lasers	29
Tabela 6 - Comparação entre fornecedores GPON	43
Tabela 7 - Perdas de divisores óticos balanceados	47
Tabela 8 - Valores de atenuação por km de fibras óticas	47
Tabela 9 - Valores de perdas de retorno de conectores	48
Tabela 10 - Parâmetros GPON	49

LISTA DE SIGLAS

APC	Angled Physical Contact (Contato físico angular)
APON	ATM PON
ATM	Asynchronous Transfer Mode (Modo assíncrono de transferência)
BER	Bit Error Rate (Taxa de erro de bit)
BPON	Broadband PON (PON banda larga)
BT	British Telecommunications
CATV	Cable TV (TV a cabo)
CRC	Cyclic Redundancy Check (Verificação de redundância cíclica)
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation (Alocação dinâmica de banda)
DSL	Digital Subscriber Line (Linha digital de assinante)
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer (Multiplexador de acesso DSL)
EFM	Ethernet in the First Mile (Ethernet na primeira milha)
EPON	Ethernet PON
ETSI	European Telecommunications Standardization Institute (Instituto europeu de normas de telecomunicações)
FEC	Frame Error Check (Verificação de erro de quadro)
FSAN	Full Service Access Network (Rede de acesso de serviço amplo)
FTTB	Fiber to the Building (Fibra até o edifício)
FTTC	Fiber to the Curb (Fibra até a calçada)
FTTCab	Fiber to the Cabinet (Fibra até o armário)
FTTH	Fiber to the Home (Fibra até a residência)
GEM	GPON Encapsulation Method (Método de encapsulação GPON)
FFTx	Fiber to the X (Fibra até o X)
GPON	Gigabit PON
GTC	GPON Transmission Convergence (Convergência de transmissão GPON)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto dos engenheiros eletrônicos e eletricitistas)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
ITU	International Telecommunication Union (União internacional de telecomunicações)
ITU-T	ITU Telecommunication Standardization (Seção normativa da ITU)

LAN	Local Area Network (Rede local)
OAM	Operation, Administration and Maintenance (Operação, administração e manutenção)
OLT	Optical Line Terminal (Terminal de linha óptica)
OMCI	ONT Management and Control Interface (Interface de controle e do gerenciamento da ONT)
ONT	Optical Network Terminal (Terminal da rede óptica)
ONU	Optical Network Unit (Unidade de rede óptica)
OSI	Open Systems Interconnection (Sistema aberto de interconexão)
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer (Reflectômetro óptico no domínio do tempo)
P2P	Peer-to-peer (Usuário-a-usuário)
P2MP	Ponto-Multiponto
PHY	Physics (Física)
PLOAM	Physical Layer OAM (OAM da camada física)
PMD	Physical Media Dependent (Dependente do meio físico)
PON	Passive Optical Networks (Rede Ótica Passiva)
POTS	Plain Old Telephone Service (Serviço telefônico convencional)
QoS	Quality of Service (Qualidade de Serviço)
RFC	Request for Comments (Requisição para comentários)
SLA	Service-Level Agreement (Acordo de nível de serviço)
SNMP	Simple Network Management Protocol (Protocolo de gerenciamento de rede simples)
SOHO	Small Office/Home Office (Pequena empresa/empresa em casa)
T-CONT	Transmission Containers (Contêineres de Transmissão)
TCP	Transmission Control Protocol (Protocolo de controle de transmissão)
TDM	Time Division Multiplexing (Multiplexagem por divisão no tempo)
TDMA	Time Division Multiple Access (Acesso multiplexado por divisão no tempo)
VLAN	Virtual Local Area Network (LAN Virtual)
VoD	Video on demand (Video sob demanda)
WDM	Wavelength Division Multiplexing (Multiplexagem por divisão de comprimento de onda)

SUMÁRIO

1. MOTIVAÇÃO	14
2. INTRODUÇÃO.....	15
2.1.FTTX	15
2.2.HISTÓRICO PON	16
3. FIBRAS ÓPTICAS	18
3.1.TEORIA	18
3.2.TIPOS DE FIBRA.....	19
3.2.1. Multimodo	19
3.2.2. Monomodo.....	20
3.3.TRANSMISSÃO	20
3.3.1. Atenuação.....	20
3.3.2. Dispersão.....	21
3.3.3. ORL	22
3.4.DIVISORES ÓPTICOS	23
3.4.1. Divisores Ópticos Balanceados	24
3.4.2. Divisores Ópticos Desbalanceados	25
4. GPON	27
4.1.NORMAS	27
4.2.EQUIPAMENTOS	29
4.3.ARQUITETURAS DE PROTEÇÃO.....	30
4.3.1. Tipo A	30
4.3.2. Tipo B	30
4.3.3. Tipo C	31
4.3.4. Tipo D	31
4.4.TOPOLOGIAS	32
4.4.1. Radial.....	32
4.4.2. Divisor Óptico Desbalanceado.....	33
4.4.3. Divisor Óptico Modular.....	34
4.4.4. Proteção Tipo-B até o Divisor Óptico 2xN	34
4.4.5. Misto	35
4.5.PROTOCOLOS.....	35
4.5.1. Alocação de Banda.....	36
4.5.2. Pacotes GPON	38
4.5.3. Encapsulação GEM	39
4.5.4. Ranging	40
4.6.FORNECEDORES.....	42
4.7.FUTURO	44
4.7.1. XG-PON.....	44
4.7.2. TWDM-PON.....	44
4.7.3. AWG-based WDM-PON	44
5. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÕES	45
5.1.ANÁLISE TEÓRICA.....	45
5.1.1. Divisores Ópticos	46
5.1.2. Fibras.....	47
5.1.3. Conectores	47

5.1.4. Fusões.....	48
5.1.5. Perda total	48
5.2. PARÂMETROS GPON	48
5.3. LIMPEZA DE CONECTORES	49
5.4. EQUIPAMENTOS ÓPTICOS	50
5.4.1. OTDR.....	50
5.4.2. Multifunction Loss Tester	51
5.4.3. Pon Power Meter	52
5.4.4. Microscópio (probe) de inspeção.....	54
5.5. PROCEDIMENTOS SOBRE GPON	55
5.5.1. Construção	55
5.5.2. Aceitação	57
5.5.3. Ativação	58
5.5.4. Tratamento de falha.....	59
6. ESTUDO DE CASO	61
6.1. APLICAÇÃO	61
6.2. TOPOLOGIA UTILIZADA.....	61
6.3. OUTRAS APLICAÇÕES BRASILEIRAS.....	62
7. CONCLUSÃO	63
8. BIBLIOGRAFIA	64

1. MOTIVAÇÃO

A tecnologia estudada nesta monografia, o GPON, alia a grande banda disponível com a alta disponibilidade do serviço, com baixos custos, inovando na parte de serviços com o chamado “triple play”, entregando um combo de voz, dados e vídeo.

Empregando fibras ópticas no conceito FTTx e a utilização de elementos passivos (os divisores ópticos) numa topologia ponto-multiponto, as tecnologias PONs já são majoritárias em países desenvolvidos e estão provendo aos países em desenvolvimento a possibilidade de entregar um serviço de qualidade aos usuários, contribuindo até mesmo para a inclusão digital nos projetos de “cidades digitais”.

O presente trabalho abordará, de forma detalhada, sobre a tecnologia GPON, suas aplicações e suas principais características. Estruturado em sete tópicos, o primeiro e o segundo contemplam a motivação e a introdução ao tema GPON. Já o terceiro tópico compõe a base teórica necessária para o entendimento do meio de transmissão da tecnologia GPON, cujas características e detalhamento técnico são explorados no tópico quatro. O quinto tópico tem por objetivo propor procedimentos de medições sobre redes PON utilizando equipamentos de medições ópticas nas fases de Construção, Aceitação, Ativação e Tratamento de Falhas de uma rede PON. O sexto tópico analisa brevemente um caso de implantação de uma rede GPON e compara com outros casos no cenário brasileiro. E por fim, o sétimo tópico é a conclusão, onde são analisados os aspectos da implantação e difusão da tecnologia GPON.

2. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por banda, devido principalmente ao crescimento da utilização de serviços de VoD, jogos online, tráfego P2P, entre outras aplicações (Tabela 1), tem motivado a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para prover uma banda larga de qualidade para o usuário final.

Tabela 1 - Requerimento de banda para serviços IP

Aplicação	Banda
Video (SDTV)	3.5Mbps
Video (HDTV)	15Mbps
Video games	10Mbps
Voz	64Kbps
Peer-to-peer download	100 Kbps – 100Mbps

Fonte: Lam, 2007

Dentre as várias tecnologias utilizadas, a utilização de fibra óptica tem se destacado como a melhor forma de suprir as crescentes demandas.

A utilização em grande escala de PON, principalmente no Japão e nos EUA, fomentou a adoção da tecnologia na Europa e em países em desenvolvimento, notavelmente nos países pertencentes ao BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China).

2.1. FTTx

A utilização de fibras ópticas para soluções de acesso são comumente referenciadas como FTTx, onde “x” pode ser H (*home* – casa), B (*building* – prédio), N (*node* – nó) ou C (*cabinet* – armário), notadamente o ponto terminal da fibra, onde fica localizada a ONT ou ONU (Figura 1).

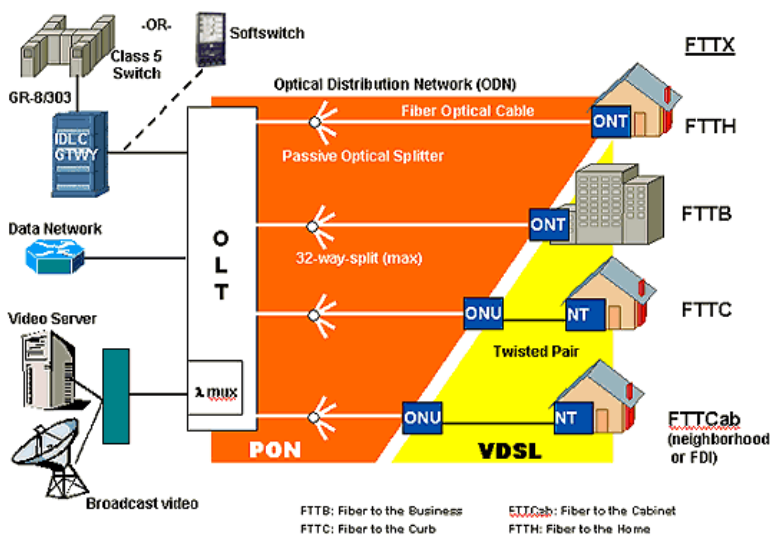


Figura 1 - Arquitetura FTTx. Fonte: Rohman, 2010

Após a ONU, podem ser utilizadas diferentes tecnologias para o acesso ao cliente, como par trançado, rede Ethernet (10/100Base-T), VDSL, ADSL2+ etc. A diferença entre as tecnologias define a distribuição da quantidade de usuários por fibra e a velocidade de acesso: uma rede FTTC oferece 40 à 80 Mbps, e uma rede FTTB de 100 à 300 Mbps (Xudong, 2013).

A topologia utilizada em redes FTTx pode ser P2P ou P2MP.

2.2. Histórico PON

Em 1995, foi fundado o consórcio FSAN formado por sete operadoras de telecomunicações, incluindo BT, NTT e Bell South, com o objetivo de padronizar as necessidades e serviços para uma rede óptica passiva, focando em criar um modelo econômico de grande escala e baratear o custo de sistemas FTTx.

As recomendações FSAN foram adotadas pela ITU, gerando as primeiras especificações PON.

Baseado em ATM, o primeiro padrão ITU-T G.983 se refere ao APON (ATM PON). Avanços neste padrão deram origem então ao chamado BPON. O APON/BPON prove 622 Mbps de tráfego no sentido downstream e 155 Mbps no sentido upstream.

Em março de 2001, o padrão IEEE 802.3 iniciou o projeto 802.3ah EFM. Um dos pontos abordados foi criar o padrão para P2MP PONs, de onde surgiu o EPON. Este padrão ganhou popularidade em países do Leste Asiático, como Japão e Coreia, sendo escolhida pela NTT como padrão para disseminação em larga escala do serviço FTTH. Ao mesmo tempo, a ITU-T estava trabalhando no Study Group 15 (SG15) sobre o next-generation PON, chamado de GPON, com velocidades de 2.5 Gbps no sentido downstream e 1.25 Gbps upstream. Este estudo culminou no padrão ITU-T G.984.

Em 2008, a Verizon já havia instalado mais de 800000 linhas GPON, e as operadoras dos EUA e Europa iniciavam seus testes, indicando o avanço de GPON sobre EPON.

A tabela 2 faz a comparação entre as tecnologias PON:

Tabela 2 - Tipos de PON e suas principais características

Características	EPON	BPON	GPON
Recomendação	IEEE 802.3ah [1]	ITU-T G.983	ITU-T G.984
Protocolo	Ethernet	ATM	Ethernet, TDM
Taxa de bits	1000 Mbit/s, DS e US	622 Mbit/s DS, 155 Mbit/s US	2488 Mbit/s DS, 1244 Mbit/s US
Distância (km)	10	20	20 – 60
Divisões ópticas	16 ou 32	32	32 ou 64

Fonte: Teleco, 2008

3. FIBRAS ÓPTICAS

Uma fibra óptica é uma longa estrutura cilíndrica, formada por um material dielétrico (sílica ou plástico) em duas camadas, o núcleo e a casca, com índices de refração diferentes, permitindo a propagação da luz por reflexões consecutivas. As principais vantagens da transmissão de informação utilizando fibras ópticas são:

- Capacidade de transportar grandes quantidades de informação;
- Baixa atenuação
- O sinal pode ser transmitido por longas distâncias sem necessitar ser regenerado;
- Matéria-prima abundante;
- Imunidade à interferência eletromagnética;
- Cabo de fibra óptico é mais leve e menor que cabos metálicos
- Vida-útil de mais de 25 anos
-

3.1. Teoria

O primeiro conceito que devemos abordar é a capacidade da fibra receber luz em seu núcleo. Esse valor é definido pela abertura numérica (“*Numerical Aperture*” – NA), dado pela fórmula:

$$NA = \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Onde n_1 é o índice de refração do núcleo e n_2 o índice de refração da casca (Figura 2).

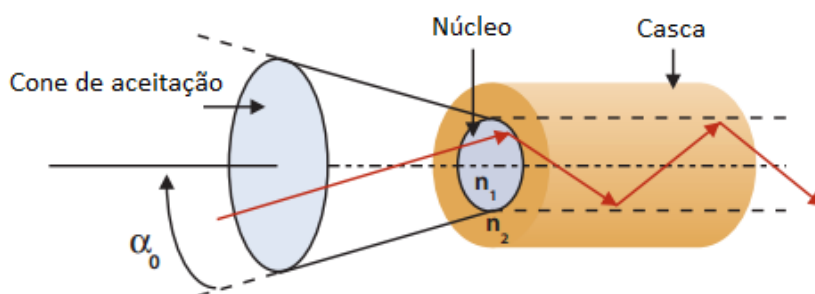


Figura 2 - Inserção de luz em uma fibra. Fonte: JSDU, 2011.

Quando a luz entra na fibra respeitando o valor de α_0 , ela sofre o efeito da reflexão total e é transmitida até a outra extremidade da fibra através de múltiplas reflexões (Figura 3).

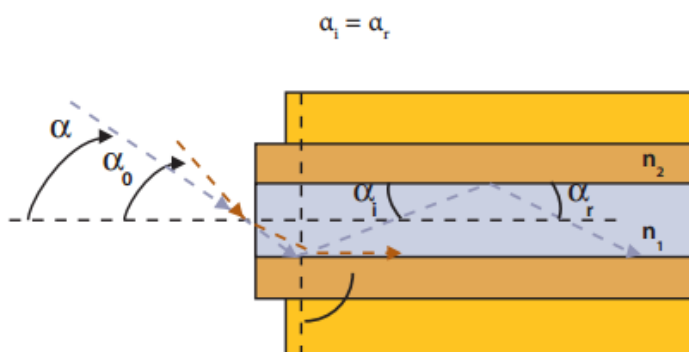


Figura 3 - Reflexão da luz. Fonte: JSDU, 2011.

3.2. Tipos de fibra

Uma fibra pode ser classificada em dois tipos, multimodo ou monomodo, de acordo com a forma que a luz é propagada pela fibra.

3.2.1. Multimodo

Com um maior diâmetro do núcleo, facilita o acoplamento de fontes luminosas, necessitando de pouca precisão nos conectores. É utilizada para curtas distâncias.

3.2.2. Monomodo

Por possuir uma menor dimensão de núcleo, a luz sofre menor dispersão, alcançando distâncias maiores de transmissão. Ao mesmo tempo, normalmente é utilizado um laser como fonte de geração de sinal (Figura 4).

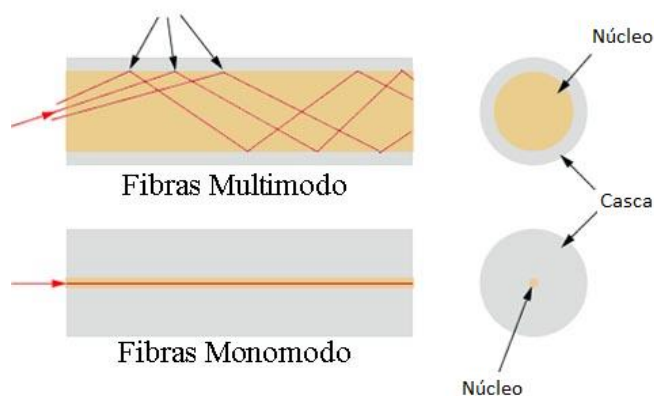


Figura 4 - Comparação entre tipos de fibras. Fonte: Rodriguez, 2012.

3.3. Transmissão

Dentro da transmissão em fibra ótica, existem alguns aspectos que devem ser levados em conta: Atenuação, Dispersão e Perda por Reflexão (ORL).

3.3.1. Atenuação

Ao atravessar a fibra, o nível de potência cai conforme a distância. Essa perda é expressa em dB/km.

A atenuação é causada por vários fatores: o primeiro é devido a impurezas no material da fibra (hidroxilas, por exemplo), a luz é absorvida e sua energia convertida em calor; outro fato importante é a “Dispersão de Rayleigh”, causada pela incidência da luz nas impurezas do material onde ela está se propagando. Essa dispersão varia conforme o comprimento de onda da luz transmitida.

Com base nestas atenuações, podemos traçar o gráfico abaixo (Figura 5), da relação da Atenuação versus Comprimento de onda.

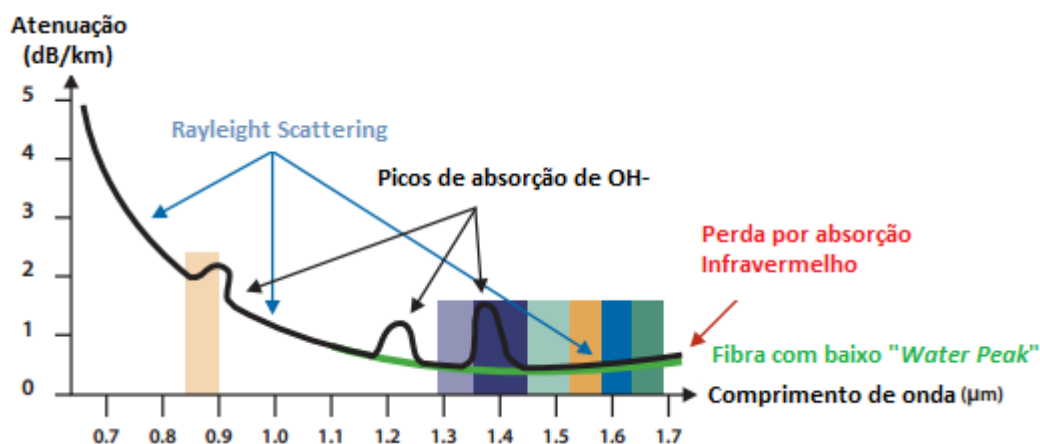


Figura 5 - Atenuação da fibra em função do comprimento de onda. Fonte: JDSU, 2011.

3.3.2. Dispersão

Dispersão é um fenômeno inerente da propagação de campos eletromagnéticos, na fibra óptica, podemos listar:

- **Dispersão Modal:** Ocorre principalmente em fibras multimodos, onde o sinal acaba sofrendo diferentes atrasos devido a ter percorrido diferentes caminhos ópticos (Figura 6).

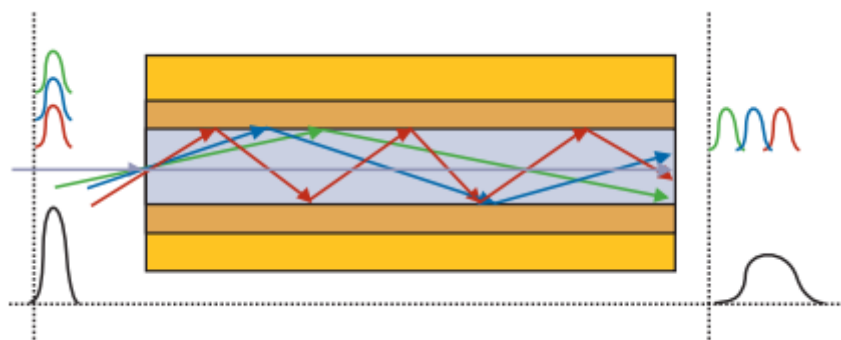


Figura 6 - Dispersão Modal. Fonte: JDSU, 2011.

- **Dispersão Cromática:** Ocorre principalmente em fibras monomodo, é o atraso diferencial que as várias componentes espectrais do sinal sofrem (Figura 7).

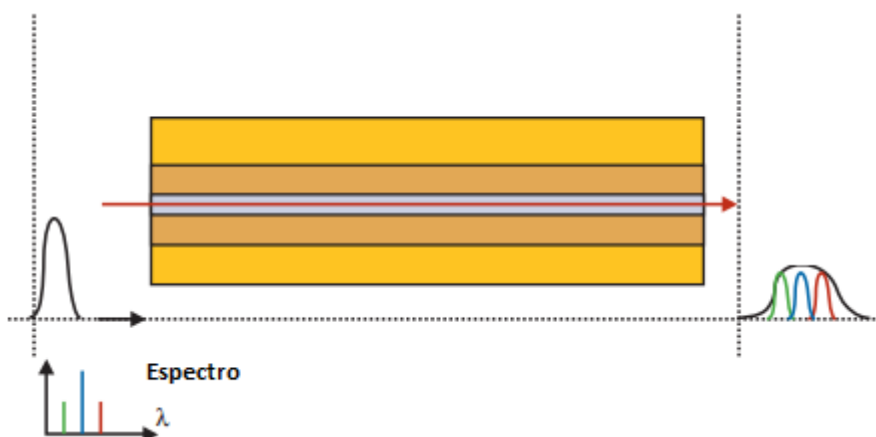


Figura 7 - Dispersão Cromática. Fonte: JDSU, 2011

- **Dispersão dos modos de polarização (PMD):** Deve ser considerado em fibras monomodo funcionando a altas taxas de transmissão e longas distâncias. É a variação de velocidade de propagação das componentes ortogonais de polarização (x, y e z) (Figura 8).



Figura 8 - Dispersão PMD. Fonte: JDSU, 2011.

3.3.3. ORL

ORL é a perda de potência resultante da reflexão causada por descontinuidade numa fibra óptica, causada por conectores, terminações, equipamentos ou descontinuidades na própria fibra. Ocorre devido à descontinuidade no índice de refração, por exemplo, nas interfaces ar-vidro, onde ocorre a reflexão do sinal. Esse fenômeno é conhecido como Reflexão de Fresnel, dado pela fórmula:

$$ORL = 10 \log_{10} \frac{P_o}{P_r}$$

O valor de ORL é medido em dB; P_o é a potência de entrada e P_r é a potência refletida.

Quanto maior o valor de ORL, menor é a potência refletida, o que é uma característica de bons acoplamentos.

Grandes reflexões podem causar:

- Aumento do ruído de transmissão, piorando o SNR (relação sinal-ruído) e aumentando o BER (erros por bits).
- Aumento da interferência na fonte de luz, influenciando na potência e até mesmo no comprimento de onda.
- Danos no transmissor.

3.4. Divisores Ópticos

Dentro de uma rede PON, um elemento essencial é o divisor óptico (*Splitter*). Divisores Ópticos são elementos passivos, geralmente construídos com tecnologia PLC (Planar Lightwave Circuit), que tem como função realizar a divisão (Split) da luz de sua entrada entre suas diversas saídas, realizando a conexão entre vários clientes (ONUs) até um único escritório central (OLT).

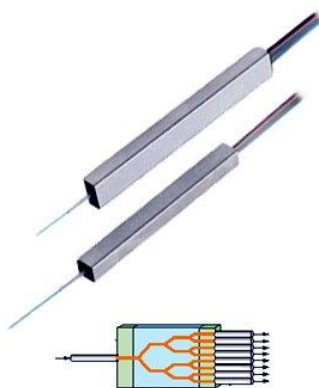


Figura 9 - Divisores Ópticos. Fonte: Furukawa, s.d.

Os divisores ópticos podem ser divididos em Divisores Ópticos Balanceados e Desbalanceados.

3.4.1. Divisores Ópticos Balanceados

São os tipos mais utilizados em redes PON. Podem possuir uma única entrada para N saídas (1xN) ou duas entradas para N saídas (2xN). Por ser balanceado, N é um múltiplo de dois, e a potência medida em uma das saídas é dada em função do número total de divisões realizadas:

$$\text{Perda no Divisor Óptico (db)} = 10 \times \log_{10}\left(\frac{1}{N}\right)$$

Dessa forma, podemos calcular a tabela de perda teórica em função do número de divisões (Tabela 3):

Tabela 3 - Perdas em divisores óticos balanceados

Divisões	Perda no Divisor Óptico (dB)
2	3
4	6
8	9
16	12
32	15
64	18

Fonte: o autor.

Com a utilização de Divisores Ópticos Balanceados, podemos ter as possíveis topologias (Figura 10):

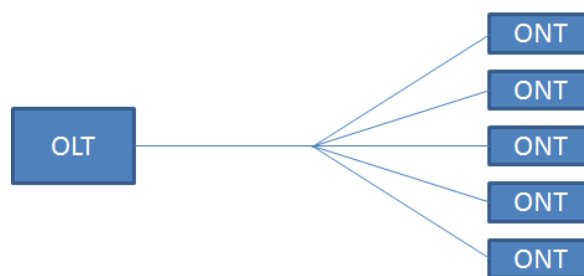


Figura 10 – Um único nível de divisão. Fonte: o autor.

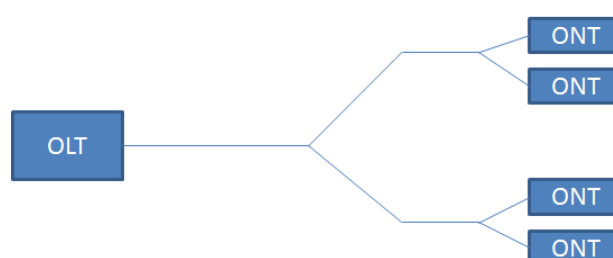


Figura 11 - Múltiplos níveis de divisão. Fonte: o autor.

Estas topologias devem ser escolhidas levando em conta fatores como link-budget total – distância dos clientes, área de cobertura e facilidade de manutenção.

3.4.2. Divisores Ópticos Desbalanceados

Os divisores ópticos desbalanceados possuem uma característica construtiva especial. A partir de uma entrada, ele possui somente duas saídas, porém a potência destas saídas não é igual – dessa forma, desbalanceado. Cada uma das suas saídas é identificada pelo percentual da potência total que possuirá. Esse percentual e a perda máxima em cada saída estão representados na tabela 4.

Tabela 4 - Perdas em divisores ópticos desbalanceados

Modelo	Perda máxima A (dB)	Perda máxima B (dB)
1/99	21,6	0,3
2/98	18,7	0,4
5/95	14,6	0,5
10/90	11	0,7
15/85	9,6	1
20/80	7,9	1,4
25/75	6,95	1,7
30/70	6	1,9
35/65	5,35	2,3
40/60	4,7	2,7
45/55	4,15	3,15

Fonte: Furukawa, s.d.

Assim como as topologias empregadas para os Divisores Ópticos Balanceados, a utilização de Divisores Ópticos Desbalanceados possibilita a utilização da topologia em barramento (Figura 12).

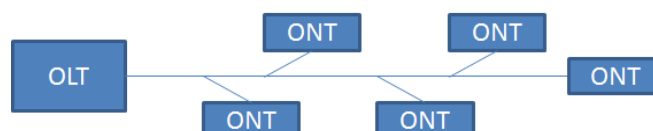


Figura 12 - Topologia em barramento. Fonte: o autor.

Esta topologia é empregada normalmente em situações onde os pontos de abordagem de clientes já estão definidos e são espaçados gradualmente por uma grande extensão. Por exemplo: atendimento em rodovias.

4. GPON

A tecnologia GPON é baseada na norma ITU-T G.984, que por sua vez, foi criada para atender as demandas de crescimento de demandas e padronizar PONs com capacidade de Gigabit: Gigabit PON – GPON.

A norma ITU-T G.984 apresenta uma visão em alto nível sobre os componentes e estrutura do GPON, o que permite diferentes implementações pelos fabricantes, dificultando a interoperabilidade de equipamentos. Este ponto é um dos maiores empecilhos atuais para a disseminação da tecnologia: as operadoras brasileiras estão exigindo, em suas RFPs que os fabricantes possuam equipamentos interoperáveis. Isto está forçando a uma padronização mais detalhada da tecnologia.

4.1. Normas

A família de recomendações ITU-T G.984 são divididas em:

- G.984.1 – Características gerais
- G.984.2 – Especificação da camada do PMD (Physical Media Dependent)
- G.984.3 – Especificação da camada de convergência da transmissão
- G.984.4 – Especificação da interface de controle e gerenciamento da ONU (OMCI)
- G.984.5 – Otimização de banda
- G.984.6 – Extensão de alcance
- G.984.7 – Longo alcance

Estas normas ditam as principais características e especificações do GPON.

No GPON, as taxas de transmissão definidas são:

- Downstream: 2488.32 Mbps operando em 1490nm
- Upstream: 1244.16 Mbps operando em 1310nm.

Para estas taxas de transmissão, o alcance máximo entre OLT e ONU é de 60km, e para funcionamento do protocolo GTC a distância máxima entre ONUs é de 20km.

A transmissão de pacotes no sentido de Downstream é feita de forma TDM (Figura 13):

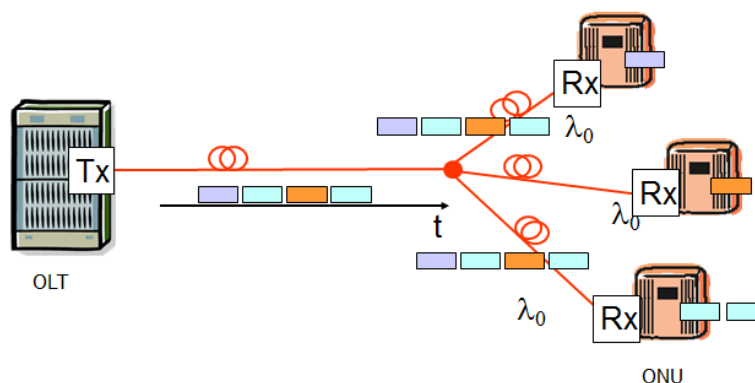


Figura 13 - Tráfego downstream. Fonte: Alcatel, 2011.

O tráfego de Downstream é recebido por todas as ONUs. A ONU filtra os dados, descartando aqueles que não são destinados à ela.

Já no sentido de Upstream, o método utilizado é o TDMA (Figura 14).

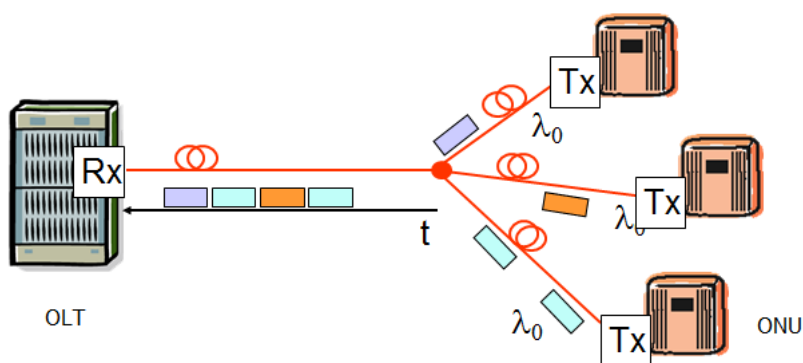


Figura 14 - Tráfego upstream. Fonte: Alcatel, 2011.

A OLT controla o espaço de tempo de acesso de cada ONU, evitando colisões de pacotes.

4.2. Equipamentos

Para operar em taxas de gigabit por segundo e ainda cobrir a área total da rede GPON, os lasers utilizados devem ser mais sensíveis. Os transmissores utilizados na rede GPON são fotodiodos por efeito avalanche. Com a evolução dos lasers, maiores distâncias puderam ser alcançadas (Tabela 5).

Tabela 5 - Classes de lasers

Laser	Orçamento de potência (dBm)	Distância de cobertura
Classe A	20dB	0-15km
Classe B	25dB	0-20km
Classe B+	28dB	20-40km
Classe C	30dB	0-40km
Classe C+	32dB	0-60km

Fonte: Lam, 2007.

Esta informação é importante para realizar o projeto da rede GPON. Os fatores que devem ser levados em conta:

1. Distância máxima de fibra entre OLT e ONU
2. Divisões óticas necessárias
3. Tipo de laser que será utilizado.

Com a primeira informação, a distância máxima entre OLT e ONU, podemos saber a perda de potência que teremos neste trecho. Com o restante da potência, podemos balancear a escolha do Divisor Óptico que será utilizado (conforme tabela 4) e o tipo de laser.

Na norma GPON, o nível máximo de divisões que podem ser feitas é de 128. Supondo o cenário de queremos atender 64 clientes por porta PON (perda teórica de 18dB e real de 21,3dB) , utilizando um laser Classe B+ (orçamento de potência de 28dB), temos: $28\text{dB} - 21,3\text{dB} = 6,7\text{dB}$; Considerando uma perda de 0,4dB/km na fibra óptica, temos: $6,7\text{dB}/0,4\text{dB/km} = 16,75\text{km}$.

Desta forma, ao usar um laser Classe B+ com um Divisor Óptico Balanceado de 64 divisões, nossa distância máxima entre OLT e ONU é de 16,85km.

4.3. Arquiteturas de proteção

A norma G.984.1 define quatro tipos possíveis e opcionais de proteções sobre a rede GPON, garantindo assim uma maior garantia de qualidade sobre a rede de acesso.

4.3.1. Tipo A

Esta primeira configuração duplica a quantidade de fibras até o Divisor óptico, mantendo únicas as ONUs e OLTs. No caso de uma falha na rede, a fibra rompida é comutada para outra fibra sem defeito.

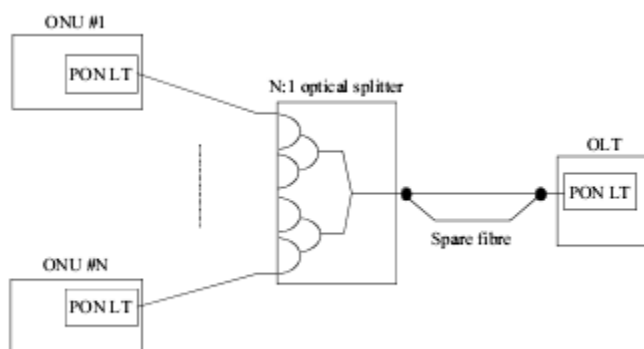


Figura 15 - Proteção Tipo A. Fonte: ITU-T, 2003.

4.3.2. Tipo B

A segunda configuração possível também duplica as fibras até o Divisor óptico, porém o hardware do lado da OLT também é duplicado. Desta forma, duas portas PON em placas de linha diferentes são responsáveis por iluminar um único divisor óptico 2xN. No caso de alguma falha na rede óptica entre a OLT e o Divisor óptico, a OLT (LT(0)) identifica esta falha e comuta automaticamente para a outra porta protegida (LT(1)).

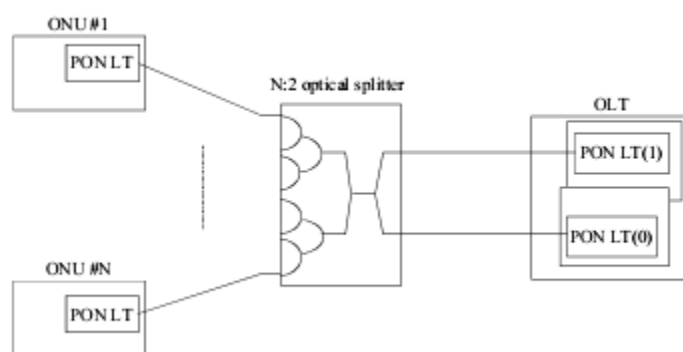


Figura 16 - Proteção Tipo B. Fonte: ITU-T, 2003.

4.3.3. Tipo C

No tipo de proteção C, não somente a porta PON e a fibra até o Splitter são protegidas, como também a ONU também possui duas portas para receber o Uplink GPON, desta forma oferecendo redundância completa entre ONU e OLT.

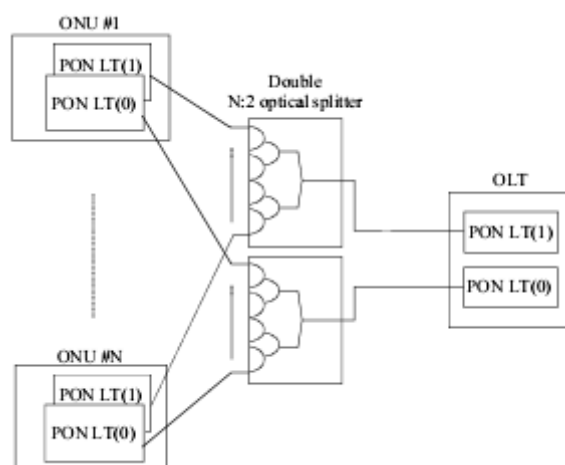


Figura 17 - Proteção Tipo C. Fonte: ITU-T, 2003

4.3.4. Tipo D

Este último esquema de proteção é a união do Tipo B e do Tipo C, desenhado para casos onde existam mais tipos de ONUs, podendo ou não ser duplicadas e garantindo dessa forma a redundância de acesso.

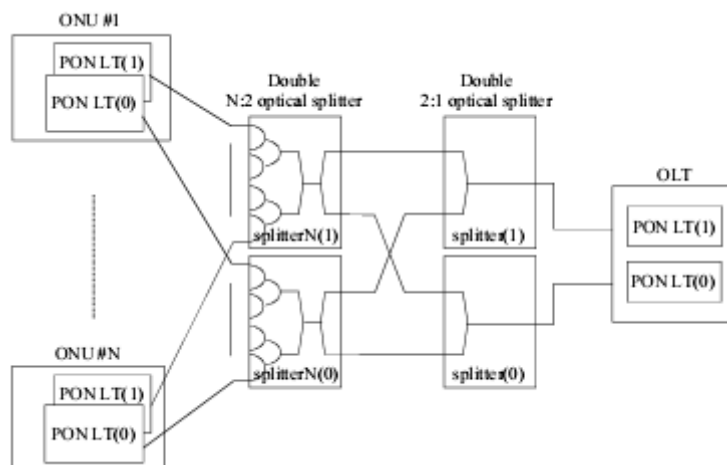


Figura 18 - Proteção Tipo D. Fonte: ITU-T, 2003

4.4. Topologias

A seguir, serão descritas algumas topologias de rede de fibra possíveis, assim como a utilização de diferentes tipos de Divisores Ópticos.

4.4.1. Radial

Esta é a topologia mais comum e utilizada em redes PONs. Para este cenário, são utilizados Divisores ópticos 1xN, podendo possuir outros Divisores Ópticos em cascata. A vantagem desta topologia está relacionada ao custo, e a desvantagem é que não utiliza nenhum tipo de proteção na rede.

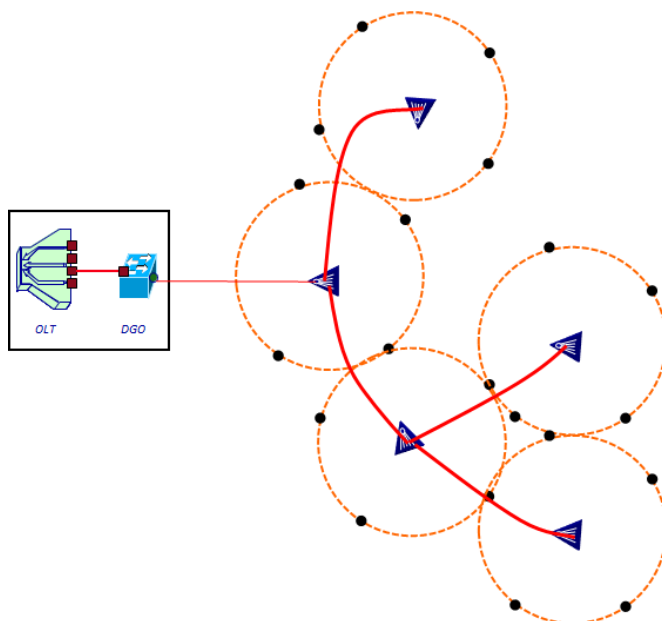


Figura 19- Topologia Radial. Fonte: o autor.

4.4.2. Divisor Óptico Desbalanceado

Com a utilização de Divisores Ópticos Desbalanceados, podemos aproveitar o budget de potência de forma a alcançar uma distância maior. Este cenário é útil para poucos clientes bem espaçados, por exemplo, clientes ao longo de uma rodovia.

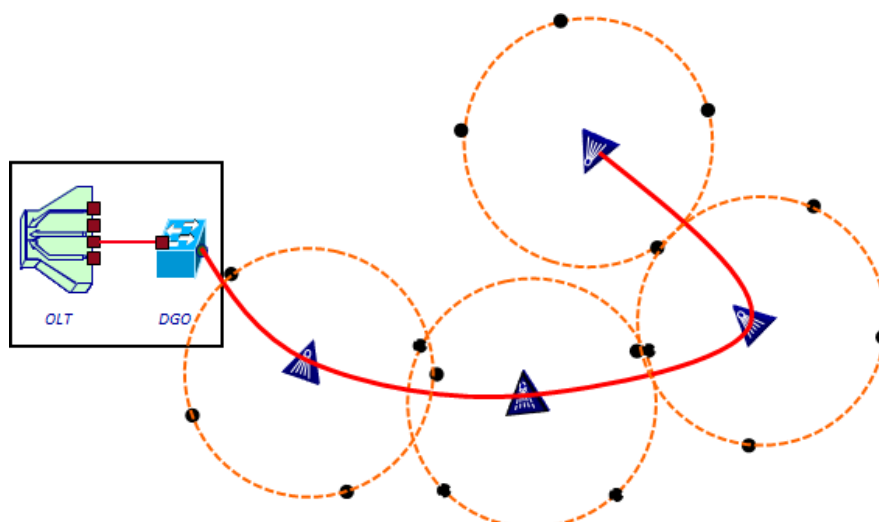


Figura 20 - Topologia utilizando divisores ópticos desbalanceados. Fonte: o autor.

4.4.3. Divisor Óptico Modular

A utilização de Divisores Ópticos Modulares na mesma localidade da OLT no escritório-central ou ponto de presença tem como vantagem aproveitar melhor as portas PON, com maior carregamento em número total de ONUs possíveis.

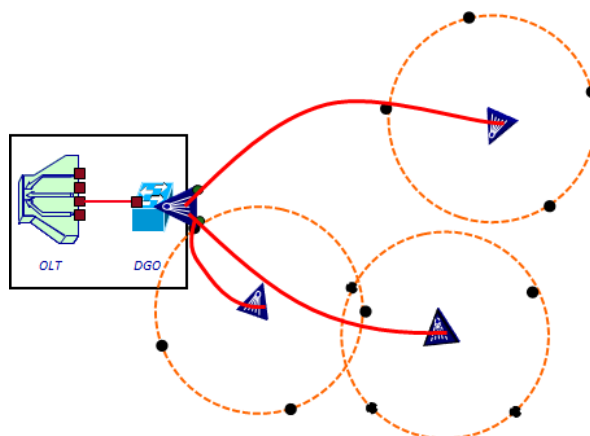


Figura 21 - Topologia utilizando divisores ópticos moduladres. Fonte: o autor.

4.4.4. Proteção Tipo-B até o Divisor Óptico 2xN

A utilização da proteção Tipo-B do GPON, como já explicado, garante uma segurança maior ao cliente. A topologia utilizada é a de criação de um Anel, onde o Divisor Ópticos 2xN fica localizado. A partir deste divisor atendemos diretamente as ONUs. Obviamente, esta topologia é mais cara, uma vez que necessita de redundância de fibras até o Divisor Óptico.

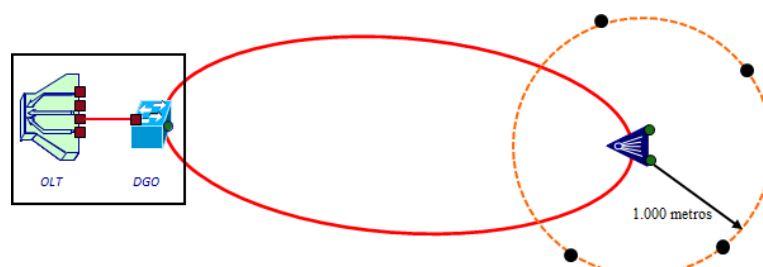


Figura 22 - Topologia em Anel - utilizando a Proteção tipo B. Fonte: o autor.

4.4.5. Misto

Esta é uma topologia que está cada vez sendo mais utilizada. A partir de uma rede em anel já existente, são conectados Divisores Ópticos 2xN em primeiro nível e após este Divisor Óptico, outros Divisores 1xN são conectados. Misturando as diversas topologias já estudadas. Este modelo oferece um grau de redundância e consegue possuir uma boa ocupação da porta PON em quantidade de clientes.

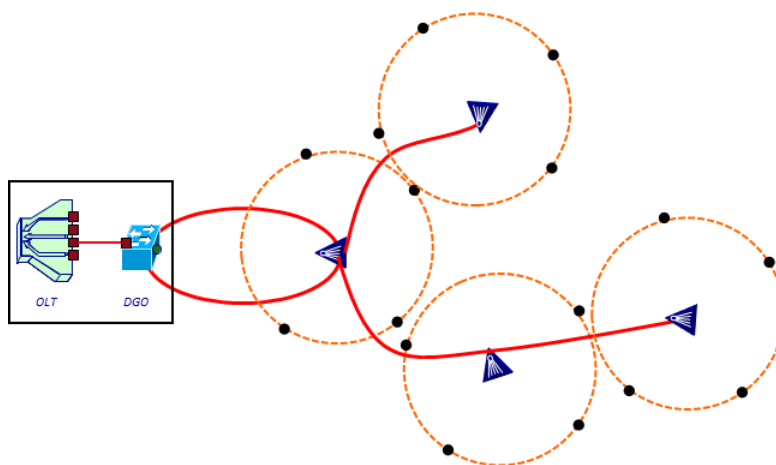


Figura 23 - Topologia mista. Fonte: o autor.

4.5. PROTOCOLOS

A principal função do nível GTC é prover o transporte multiplexado entre OLT e ONUs, incluindo também:

- Funções PLOAM
- Interface para DBA
- Registro e *ranging* das ONUs
- FEC
- Encriptação de dados Downstream
- Canal de comunicação para o OMCI

Estas funções do GTC são realizadas através de Contêineres de Transmissão (T-CONTs). Cada T-CONT é identificado por um ID de alocação (Alloc-ID) designado pela OLT e representa o canal de comunicação entre a OLT e uma

ONU. Para cada ONU podem existir vários tipos de T-CONTs, conforme políticas de QoS. O modo de transmissão utilizado é o GEM (GPON encapsulation mode).

4.5.1. Alocação de Banda

Dentro da rede GPON, o algoritmo de DBA prove meios de maximizar a utilização do meio, permitindo que a OLT controle a alocação de banda no sentido de Upstream da ONT.

Este controle é importante, pois além de garantir uma melhor utilização do meio, garante que não ocorram colisões – caso cada ONT decidisse transmitir no tempo que quisesse.

O algoritmo DBA calcula dinamicamente a permissão de ocupação de tempo (timeslots) para que a ONU possa transmitir e propaga essa informação através de mensagens com o mapa de ocupação de banda (BW Map) para todas as ONUs. O BW Map especifica o tempo destinado para a transmissão de Upstream de cada ONU, através de “Contêineres de Transmissão” (T-CONT) (Figura 24).

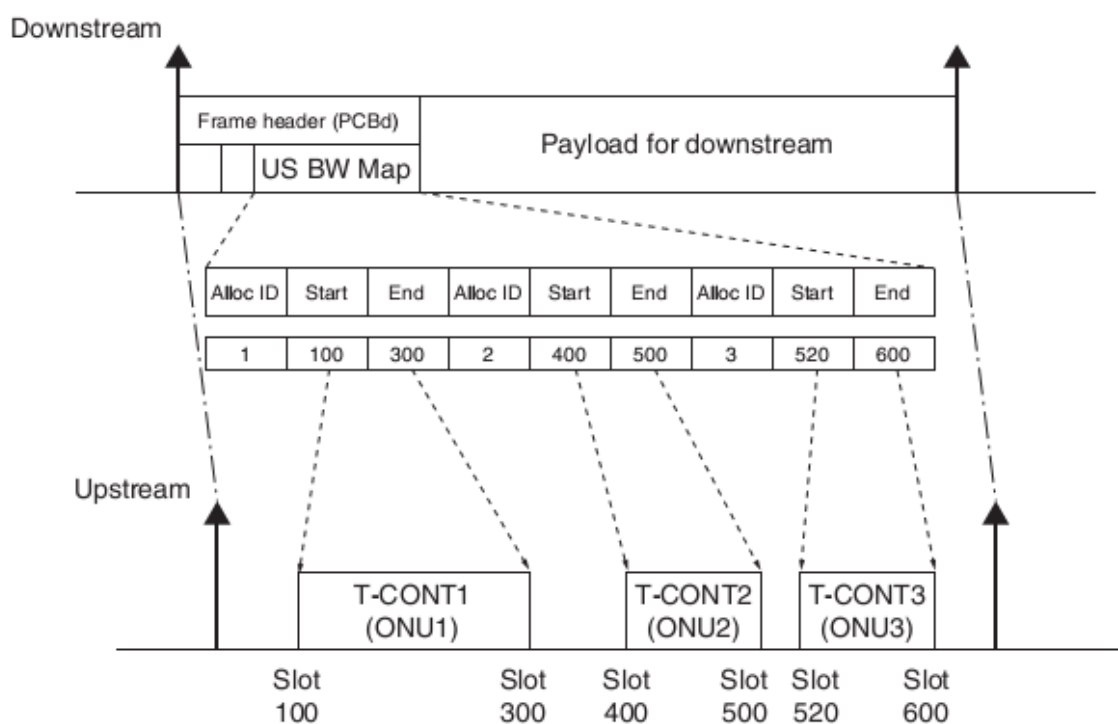


Figura 24 - Frames de Downstream e o controle de acesso Upstream. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.

O DBA utiliza o conceito de Contêineres de Transmissão (T-CONT) para alocação de banda para cada interface PON, que podem ser configurados com a combinação dos possíveis parâmetros abaixo (Figura 25):

- CIR: banda fixa, sem utilização de DBA
- AIR: banda garantida – DBA prio 1
- EIR: banda extra
 - Non-Assured – alta prioridade de banda adicional – DBA prio 2
 - Best-Effort – baixa prioridade de banda adicional – DBA prio 3

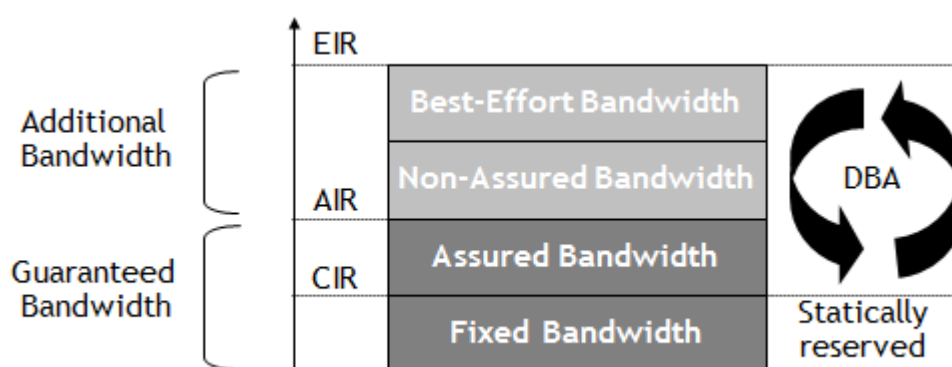


Figura 25. Tipos de alocação de banda. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.

Ao utilizar a banda fixa, o T-CONT é provisionado e mesmo que não tenha dados para ser enviado, as alocações associadas a esta banda fixa ainda são enviadas para a OLT – ou seja, fragmentos GEM serão enviados no sentido Upstream entre a ONT e a OLT.

Para banda garantida, os dados alocados a este T-CONT sempre serão transmitidos, porém, caso não haja dado a ser transferido, a banda pode ser utilizada por outros T-CONTs.

Para a banda “adicional”, podemos dividir em Não-garantida (Non-Assured) e Melhor-esforço (Best-effort), para ambos os casos, não há garantia de fornecimento de banda.

De acordo com a sua configuração, podemos ter cinco tipos de T-CONTs (Figura 26):

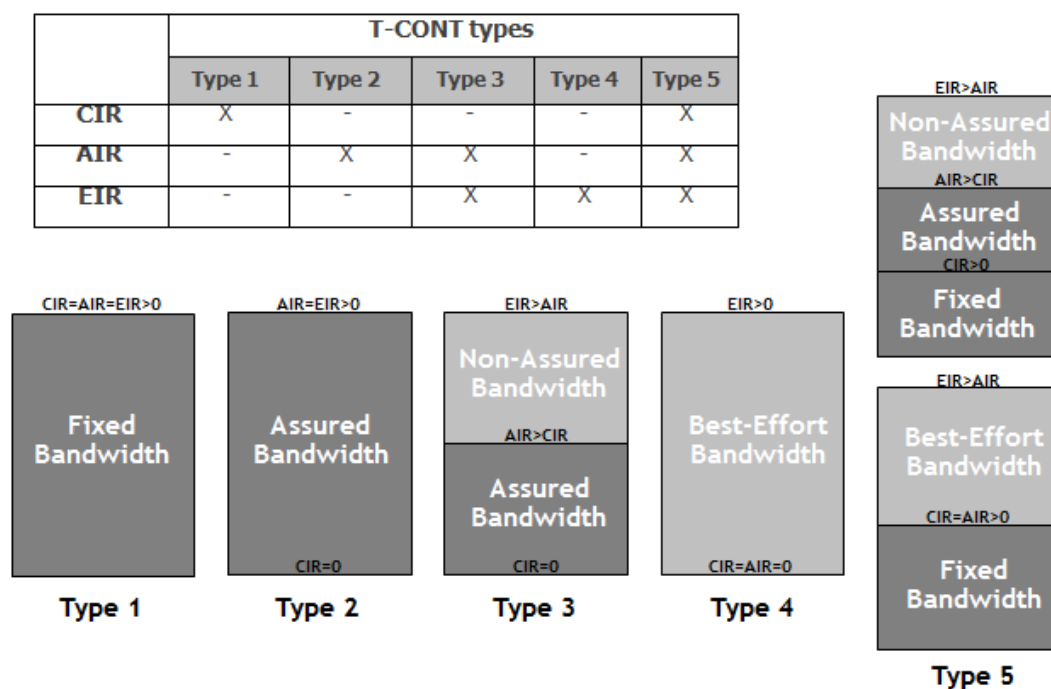


Figura 26. T-CONT. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.

4.5.2. Pacotes GPON

No sentido de Downstream, cada pacote possui um comprimento de $125\mu\text{s}$, que contem o PCBd (downstream physical controle block – bloco de controle físico de downstream) e o Payload contendo os dados (Figura 27).

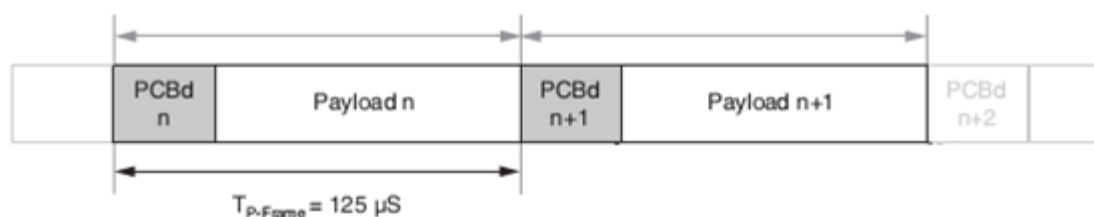


Figura 27 - Pacotes de Downstream. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.

Já no sentido de upstream, os pacotes também possuem um comprimento de $125\mu\text{s}$. Os pacotes são formados por rajadas enviadas de diferentes ONYs. Ao enviar uma rajada, a ONU inicia o pacote com o PLOu (upstream physical layer overhead). Se esta ONU possuir mais T-CONTs associados, ela só precisa enviar uma vez o PLOu (Figura 28).

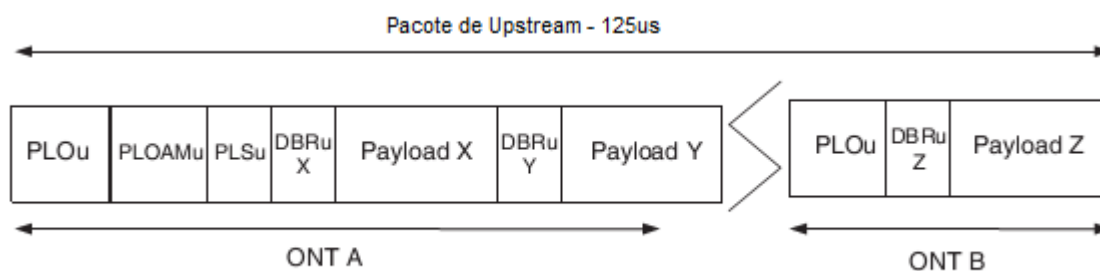


Figura 28 - Pacotes de Upstream. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.

4.5.3. Encapsulação GEM

Conforme visto, nos pacotes de Downstream e Upstream existe uma parte reservada para o Payload. Neste payload, os pacotes GEM são carregados. Estes pacotes GEM encapsulam o pacote Ethernet conforme a figura 29:

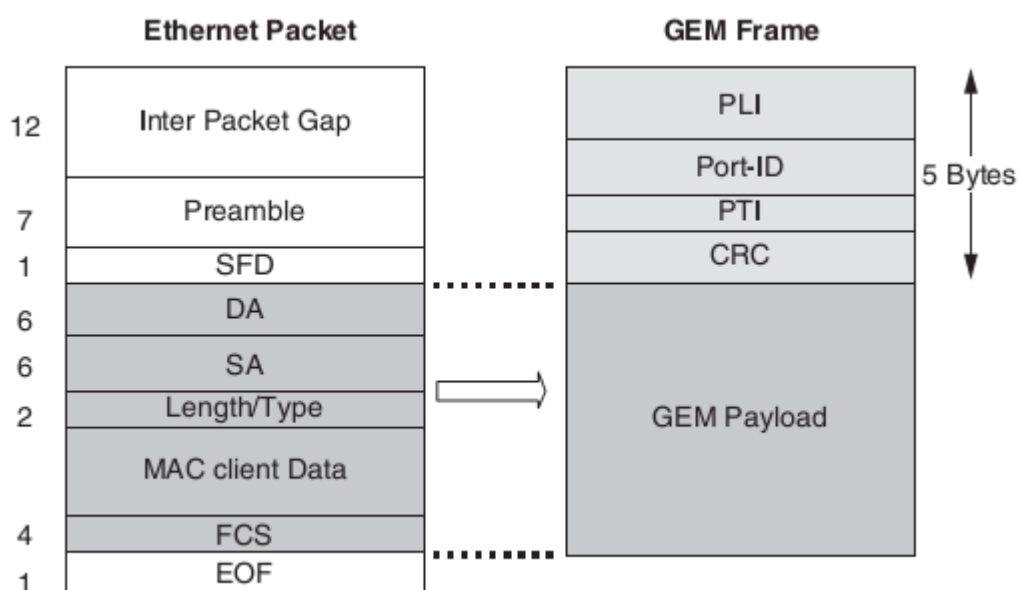


Figura 29 - Encapsulação GEM de pacotes Ethernet. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.

Isto é feito para permitir a fragmentação de pacotes e garantir a distribuição de banda – eventualmente pacotes GEM são enviados com o Payload vazio mantendo a sincronização do receptor. Os campos e tamanhos do pacote GEM são:

- PLI - Payload length indicator (12bits)
- Port ID (12 bits)

- PTI – Payload type indicator (3 bits)
- CRC – Controle de erros de cabeçalho (13 bits)

4.5.4. Ranging

Ranging é o processo de descoberta e sincronização de uma ONU por uma OLT. Quando a OLT está em processo de ranging de novas ONUs, as ONUs em funcionamento cessam temporariamente suas transmissões, através da abertura de uma janela para descoberta de novas ONUs. Este processo pode ocorrer de três maneiras: (1) o operador sabe que uma nova ONU foi conectada e inicia o processo de ativação da mesma; (2) a OLT automaticamente inicia o processo de ativação quando uma ONU que estava funcionando “desaparece”, para verificar se esta ONU volta ao funcionamento; (3) a OLT periodicamente inicia o processo de ativação para checar se novas ONUs foram conectadas.

A seguir o processo de ativação é seguido, através de trocas de mensagens PLOAM da seguinte forma:

1. ONU recebe da OLT parâmetros de operação GPON
2. ONU se ajusta para estes parâmetros
3. OLT descobre o número de série desta nova ONU
4. OLT determina um ONU-ID para esta ONU
5. OLT mede o tempo de ida-e-volta (round-trip) da transmissão da ONU
6. OLT informa o tempo de equalização para a ONU
7. ONU ajusta seu tempo de transmissão para o valor especificado.

O cálculo de tempo de transmissão da ONU é um fator necessário para garantir que durante a operação normal não haja colisão de pacotes no sentido Upstream (Figura 30).

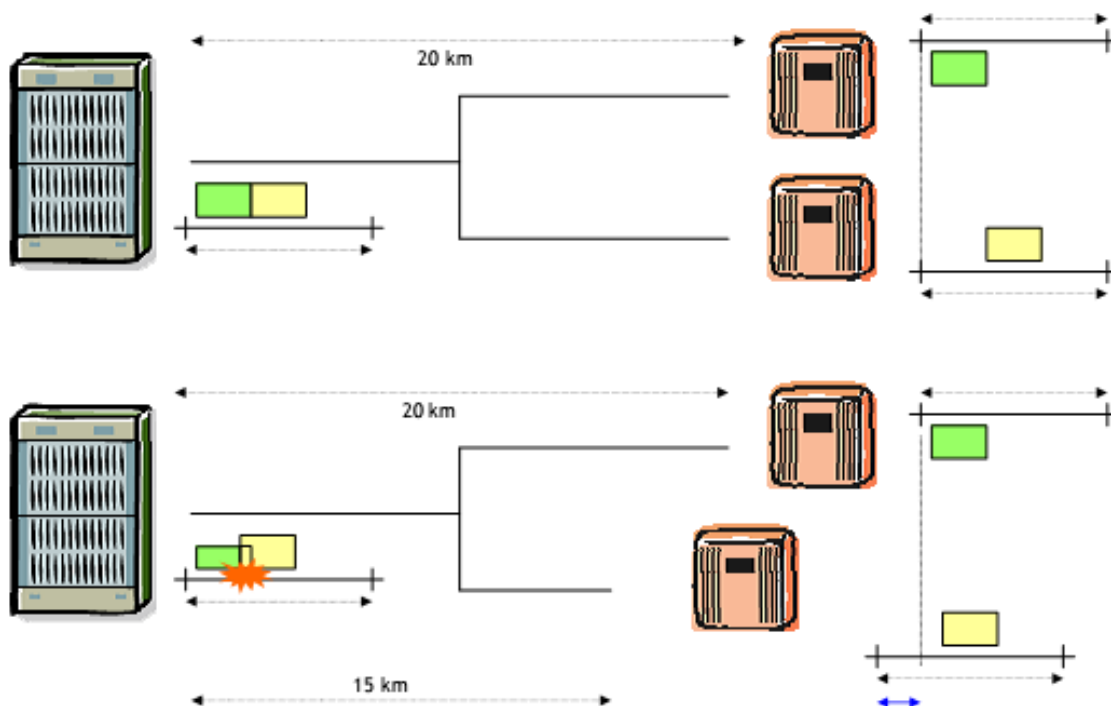


Figura 30- Cenário de Upstream e colisões de pacotes. Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.

O valor da distância máxima que uma ONU pode estar é determinado pelo valor máximo do tempo de ida-e-volta (round-trip) da transmissão da ONU (Figura 31).

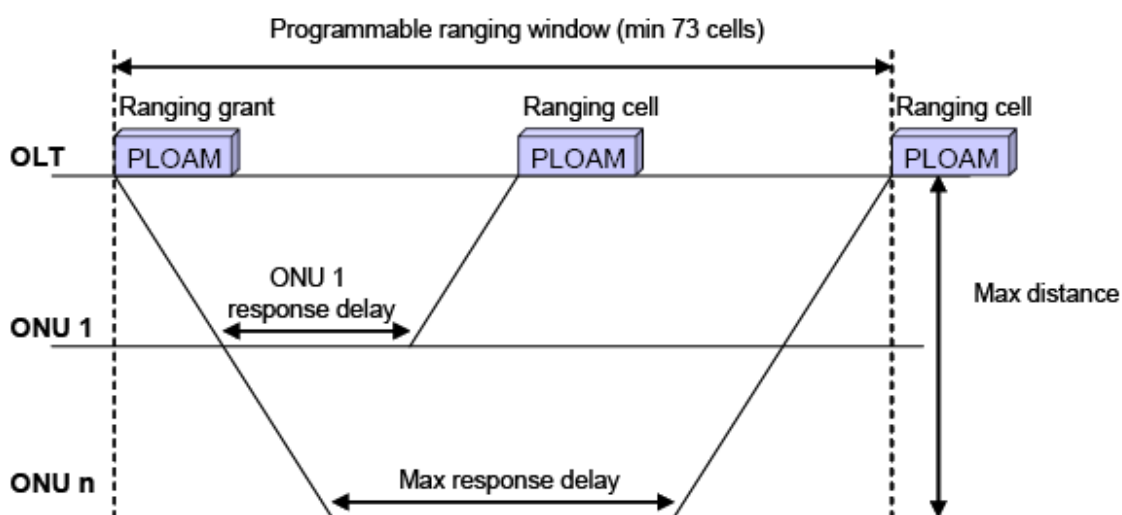


Figura 31 - Janela de "ranging". Fonte: Alcatel-Lucent, 2011.

4.6. FORNECEDORES

Foram analisados alguns fornecedores de solução GPON. Neste ponto, analisaremos com mais ênfase as OLTs, pois são os elementos principais da solução GPON. As ONTs obviamente possuem uma grande importância, mas dentro de toda a solução de acesso, as ONTs acabam se dividindo em dois grandes tipos: àquelas que possuem somente a funcionalidade de funcionarem como uma ponte de camada 2 (*bridge Layer 2*) e àquelas que podem realizar funções de Gateways Residenciais, com funções de camada 3 (*Layer 3*), podendo atuar como pequenos roteadores residenciais. Destas últimas, podemos ter outras funcionalidades integradas, como Wi-fi.

As OLTs podem ser divididas em 3 tipos em função de sua capacidade e tamanho: grande porte (mais de 16000 clientes); médio porte (em torno de 2000 clientes); e pequeno porte (em torno de 512 clientes).

A densidade de clientes OLT é calculada em função da quantidade de portas PONs disponíveis e o nível de divisões ópticas suportada. A quantidade de portas PONs afeta diretamente no tamanho do gabinete (*shelf*) da OLT, o que implica em diferentes utilizações: uma OLT de grande porte deve ser utilizada principalmente nos escritórios centrais, em quanto uma OLT de pequeno porte pode ser utilizada em pequenos armários fixados em postes (desta forma, necessitam suportar uma temperatura máxima maior).

A tabela 6 mostra a comparação entre os fornecedores Alcatel, Huawei, ZTE, Cianet, Parks, Furukawa e Calix. Os elementos analisados foram: Altura do bastidor em “*Rack Units*” (RU), a quantidade total de portas PON disponíveis, se possuem capacidades de roteamento (Camada 3 – L3), o atendimento à norma de Proteção Tipo-B, o nível máximo de divisões ópticas suportado, a temperatura máxima de operação e a classe do laser (B+ ou C+) utilizado. Com esta tabela, não podemos afirmar se um fornecedor é melhor que outro, porém, podemos identificar se o equipamento de um fornecedor é mais adequado para o tipo de projeto e de utilização que se faz necessário.

Tabela 6 - Comparação entre fornecedores GPON

Fabricante	Equipamento	Backplane Capacity	Altura Bastidor	Quantidade PONs	Suporte a L3	Proteção Tipo-B	Nível de divisão ótica	Temperatura Máxima	Laser
Alcatel	ISAM 7302	640 Gbps	13U	128	Sim	Sim	128	65° C	B+ e C+
Alcatel	ISAM 7330	640 Gbps	7U	64	Sim	Sim	128	65 ° C	B+ e C+
Huawei	MA5600T	960 Gbps	13U	128	Sim	Sim	128	55 ° C	B+ e C+
Huawei	MA5603T	960 Gbps	6U	40	Sim	Sim	128	55 ° C	B+ e C+
ZTE	ZXA10 - C300	800 Gbps	10U	128	Sim	Sim	128	45 ° C	B+ e C+
ZTE	ZXA10 - C220	320 Gbps	6U	40	Sim	Não	64	45 ° C	B+ e C+
ZTE	ZXA10 - C320	420 Gbps	4U	16	Sim	Sim	64	45 ° C	B+ e C+
Cianet	CTS2811	208 Gbps	7U	64	Sim	Não	128	50 ° C	B+
Cianet	CTS2800	68 Gbps	4U	16	Sim	Não	128	50 ° C	B+
Parks	Fiberlink 10008 SII	-	1U	8	Não	Sim	64	65 ° C	B+
Furukawa	G1040	296 Gbps	7U	40	Sim	Sim	64	50 ° C	B+
Furukawa	G4S	36 Gbps	1U	4	Sim	Sim	64	50 ° C	B+
Calix	E7	100 Gbps	1U	16	Não	Não	64	65 ° C	B+
Calix	E20	2 Tb	13U	160	Não	Não	64	55 ° C	B+

Fonte: o autor.

4.7. Futuro

Com a utilização massiva de GPON por diversas Operadoras, a ITU-T criou um grupo de estudos chamado de SG15 (Study Group 15), desenhando três projetos futuros para o GPON, o 10 Gigabit capable PON (XG-PON), Time and Wavelength Division Multiplexing PON (TWDM-PON) e Arrayed Waveguide Grating (AWG)-based WDM-PON.

4.7.1. XG-PON

As recomendações XG-PON, também conhecido como Next Generation PON 1, foram elaboradas na ITU-T G.987, e definem uma capacidade de downlink de 10 Gbps e de uplink de 2,5 Gbps, com uma capacidade de divisão de 256 mas o mesmo alcance do GPON atual. O ponto positivo desta tecnologia é que ela é compatível com a infraestrutura GPON atual (divisores ópticos e cabos).

4.7.2. TWDM-PON

A primeira solução para o Next Generation PON 2 é o TWDM-PON, que consiste em 4 XG-PON funcionando junto em diferentes frequências. Desta forma, o downlink pode chegar em até 40 Gbps e o uplink em 10 Gbps. Além disso, o nível de divisões também aumenta em 4x, podendo superar 512. Essa tecnologia deve estar disponível comercialmente a partir de 2018.

4.7.3. AWG-based WDM-PON

Esta última tecnologia ainda não possui uma data para estar disponível comercialmente. Utilizando AWGs, cada usuário poderá possuir 1,25 Gbps de downlink e uplink, e a fibra um total de 40Gbps (32 x 1,25 Gbps).

5. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÕES

As normas de medições de fibras ópticas não contemplam ainda medições realizadas em redes PON. Dentro de uma rede PON, em específico a rede GPON, os métodos de medições são diferentes do padrão Ponto-à-ponto padrão adotado pelo mercado. Além da diferença de parâmetros, a topologia Ponto-Multiponto derivada a partir do Divisor Óptico acrescenta dois fatores complicadores:

1. Mais clientes em uma mesma fibra
2. Diferentes distâncias entre o Divisor Óptico e o fim de fibra

A seguir serão analisados os parâmetros, equipamentos e procedimentos necessários para garantir a qualidade do sinal óptico na rede GPON.

5.1. Análise teórica

A análise da qualidade do sinal óptico é feita levando em conta a perda de potência de diversos elementos que formam a rede óptica:

- Conectores;
- Cordões internos;
- Atenuadores;
- Divisores Ópticos (rede GPON)
- Fibras e cabos externos (fusões, emendas, etc)

Com base nos valores de potência medidos em cada extremidade e nos valores padrões de fábrica dos elementos que compõem a rede, podemos calcular o valor da atenuação por km de cada trecho de comunicação entre POP e Cliente, seja qual for a tecnologia (Figura 32).

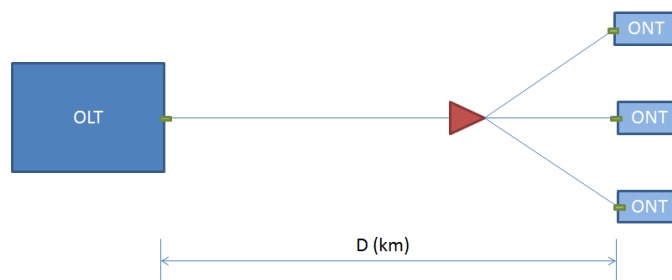


Figura 32 – GPON. Fonte: o autor.

O valor é calculado com base na seguinte fórmula:

$$\alpha \text{ (dB/km)} = (P_{OLT} - P_{ONT/Cliente} - P_{splitter \text{ (se GPON)}} - P_{conectores} - P_{atenuadores})/D$$

Os valores de P_{OLT} , $P_{ONU/Cliente}$, são mensurados através de equipamentos de medições ópticas (OTDRs e PowerMeters). O valor de D é obtido através do OTDR e confrontado com a informação fornecida pela área de projeto.

Os valores de $P_{Divisor \text{ Óptico}}$, $P_{conectores}$ e $P_{atenuadores}$ são baseados nos valores máximos informados pelos fabricantes:

5.1.1. Divisores Ópticos

A atenuação de cada Divisor Óptico é função do nível de divisões que este executa: a cada divisão por 2, a potência em dB diminui em 3 dB ($10 \log (1/2)$). Desta forma, podemos consultar o datasheet fornecido pelo fabricante para conferir a perda máxima aceitável (Tabela 7).

Tabela 7 - Perdas de divisores ópticos balanceados

Divisor Óptico	Perda teórica	Perda real
2x2	3 dB	4 dB
2x4	6 dB	7,3 dB
2x8	9 dB	10 dB
2x16	12 dB	14 dB
2x32	15 dB	17,7 dB
2x64	18 dB	21,3 dB

Fonte: Furukawa, s.d.

5.1.2. Fibras

A atenuação nas fibras varia conforme o comprimento de onda e o valores são informados por km (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de atenuação por km de fibras ópticas

Comprimento de onda	Perda na fibra
1310nm	0,37 dB/km
1490nm	0,30 dB/km
1550nm	0,25 dB/km

Fonte: Furukawa, s.d.

5.1.3. Conectores

Devido aos conectores, além da perda por inserção, devemos nos atentar a perda de retorno – reflexão devido à troca de meios e angulação do conector (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores de perdas de retorno de conectores

Conector	Perda de inserção (IL)	Perda de retorno (ORL)
SC-APC	0,3 dB	> 60 dB
SC-UPC	0,3 dB	> 30 dB
LC-APC	0,3 dB	> 60 dB
LC-UPC	0,3 dB	> 30dB

Fonte: Furukawa, s.d.

5.1.4. Fusões

O valor máximo aceito por fusão é de 0,1 dB.

5.1.5. Perda total

Todo α com valor superior a 0,4dB/km é um indicativo de problema e não deve ser aceito. Para cálculo do valor teórico deve ser considerado 0,3dB/km como perda da fibra e mais 0,1dB por fusão.

5.2. Parâmetros GPON

Abaixo os parâmetros GPON que devem ser considerados para projeto e validação dos links (Tabela 10).

Tabela 10 - Parâmetros GPON

Elemento	Valor
Distância máxima	60km
Orçamento de potência	28 dB
ORL	> 32 dB
Upstream	1310 nm
Downstream	1490 nm
Video (não utilizado)	1550 nm
Bit rate - Upstream	1,25 Gbit/s
Bit rate - Downstream	2,48 Gbit/s

Fonte: ITU-T, 2003.

5.3. Limpeza de conectores

O procedimento de limpeza de conectores é extremamente importante e deve ser o primeiro ponto a ser validado antes de qualquer certificação. O procedimento de limpeza de fibras deve ser feito antes de qualquer conectorização de equipamentos. Além disto, é necessário utilizar um microscópio para inspecionar o conector em busca de sujeiras.

O kit de limpeza de fibras contém equipamentos necessários para a limpeza dos conectores e cordões (Figura 33).



Figura 33 - Kit de limpeza de fibras. Fonte: EXFO, s.d.

5.4. Equipamentos ópticos

Os equipamentos estudados para medições e a sua utilização são descritos a seguir.

5.4.1. OTDR



Figura 34 - OTDR EXFO FTB-1. Fonte: EXFO, s.d.

Equipamento EXFO FTB-1. Utilização: OTDR utilizado para construção e verificação da rede ótica. Utilizado principalmente na fase construtiva e na manutenção para identificação de rompimentos, atenuações e reflexões.



Figura 35 - OTDR em funcionamento. Fonte: EXFO, s.d.

O resultado do OTDR deve ser analisado caso a caso, identificando o comprimento total do enlace, a perda no enlace, nos conectores, nas fusões e

Divisores Ópticos, caracterizando e validando todo o enlace. A figura abaixo explica como entender o traço exibido pelo OTDR (Figura 36).

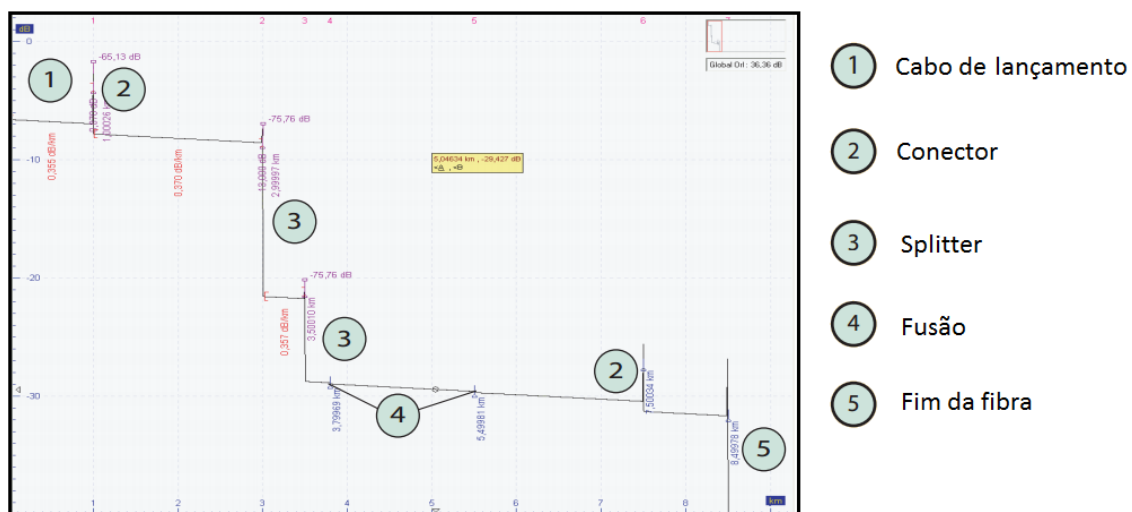


Figura 36 - Exemplo de traço de OTDR. Fonte: EXFO, s.d.

5.4.2. Multifunction Loss Tester



Figura 37 - ORL Meter - EXFO FOT-930. Fonte: EXFO, s.d.

Equipamento EXFO FOT-930. Utilização: Utilizado para certificação de links de fibra óptica. Para o teste, é necessário que tenhamos um equipamento desde na ponta A e outro na ponta B do trecho a ser testado. O resultado informado contém dados de distância, perda por inserção (IL) e perda de retorno (ORL).

Os resultados da medição são exibidos diretamente na tela do equipamento. A facilidade de uso é que ambos os equipamentos (cada um em uma ponta da fibra em teste) mostram o resultado A->B, B->A e a média destes valores, com cores indicando se o valor está fora do "Threshold" definido (em vermelho – Figura 38).

Loss	Loss (dB)		
	A->B	B->A	AVG
ORL	9.72	10.11	9.91
ID	12.55	15.44	13.76
	15.56	18.57	16.81

Fiber Length: 12.011 km

Figura 38 - Resultados medição com FOT-930. Fonte: EXFO, s.d.

Os “Thresholds” para medições em fibras livres (sem atenuadores ou Divisores Ópticos) são definidos conforme a especificação do cabo, sendo adicionado o valor de 0,1dB por emenda a cada km; assim como o valor de ORL mínimo de 32dB (conforme norma GPON). Estes valores devem ser configurados em cada equipamento (Figura 39).

	Loss dB	ORL dB
1310 nm	0.47	32.0
1490 nm	0.40	32.0
1550 nm	0.25	32.0

Figura 39 - Thresholds para fibras monomodo. Fonte: EXFO, s.d.

5.4.3. Pon Power Meter



Figura 40 - Pon Power Meter - EXFO PPM-350C. Fonte: EXFO, s.d.

Equipamento EXFO PPM-350C. Utilização: Verificar níveis de potência nos comprimentos de onda utilizados na rede GPON: 1310nm, 1490nm e 1550nm. Este equipamento possui “Thresholds” configurados para facilmente validar se os níveis de potência estão dentro dos padrões. É importante ressaltar que estes limites são definidos conforme a regra GPON, mas devem ser validados com os valores de projeto.

No exemplo abaixo, temos uma medição realizada do lado do cliente. Recebemos 2.7dBm da ONU (valor OK – PASS), -27,6dBm da OLT (valor fora da especificação, mas proporciona o funcionamento – Warning), e para o comprimento de 1550nm, para operações de vídeo, como não possuímos este serviço na rede, apresenta o valor LO (Figura 41).

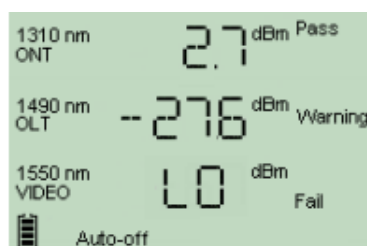


Figura 41 - Tela PPM-350C. Fonte: EXFO, s.d.

Os “Thresholds” para uma medição realizada do lado do cliente, na ONU, são detalhados na Figura 42.

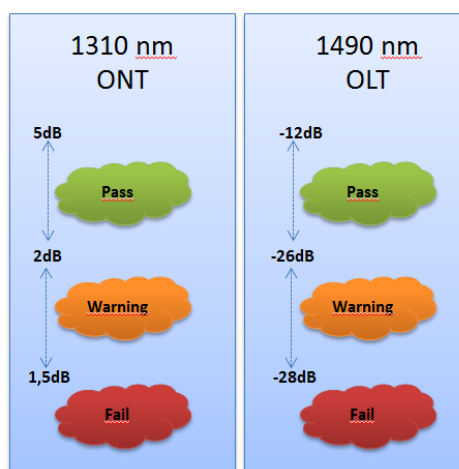


Figura 42 - Thresholds Power Meter no cliente. Fonte: o autor.

5.4.4. Microscópio (probe) de inspeção



Figura 43 - Microscópio EXFO FP4S. Fonte: EXFO, s.d.

Equipamento EXFO Probe FP4S. Utilização: Inspeccionar conectores e cordões para identificação de sujeiras conforme o fluxo da figura abaixo. Compatível com o OTDR FTB-1 e com o ORL Meter FOT-930.

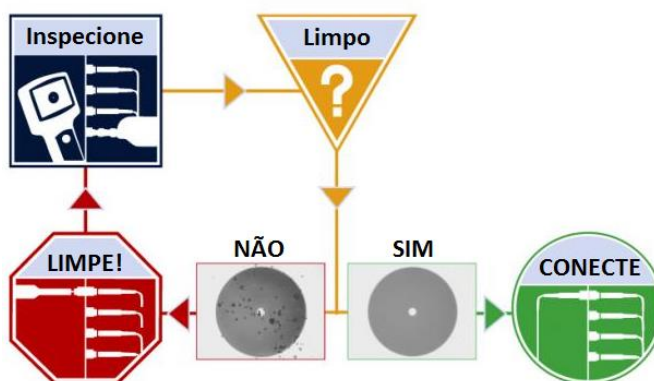


Figura 44 - Fluxo de inspeção de conectores. Fonte: JDSU, 2011.

5.5. Procedimentos sobre GPON

5.5.1. Construção

É necessário realizar testes sobre a rede GPON durante as fases de construção da rede, os testes são descritos abaixo, separados por fase:

- Antes do lançamento: Teste com OTDR na bobina: tem por objetivo verificar a continuidade, o comprimento e atenuação média por km de cada fibra da bobina (Figura 45).

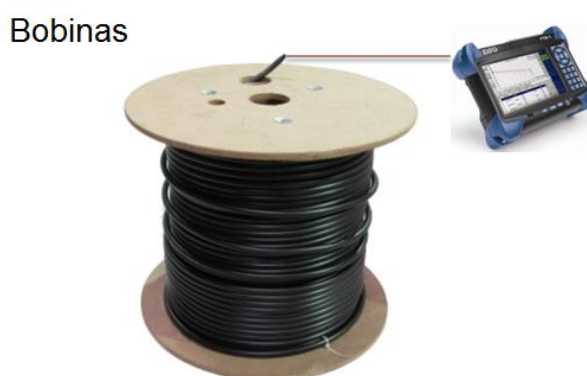


Figura 45 - Medições via OTDR na bobina. Fonte: o autor.

- Após lançamento:

- Antes das fusões do Divisor Óptico e dos cabos de acesso verificar com OTDR:

1. Fibra principal (do POP ao Divisor Óptico, do Divisor Óptico ao POP)
– no caso do anel, os dois lados devem ser verificados;
2. Fibra de acesso (do Divisor Óptico ao acesso do cliente, do acesso do cliente ao Divisor Óptico) (Figura 46).

Após lançamento (antes das fusões de Splitter e cabos de acesso)

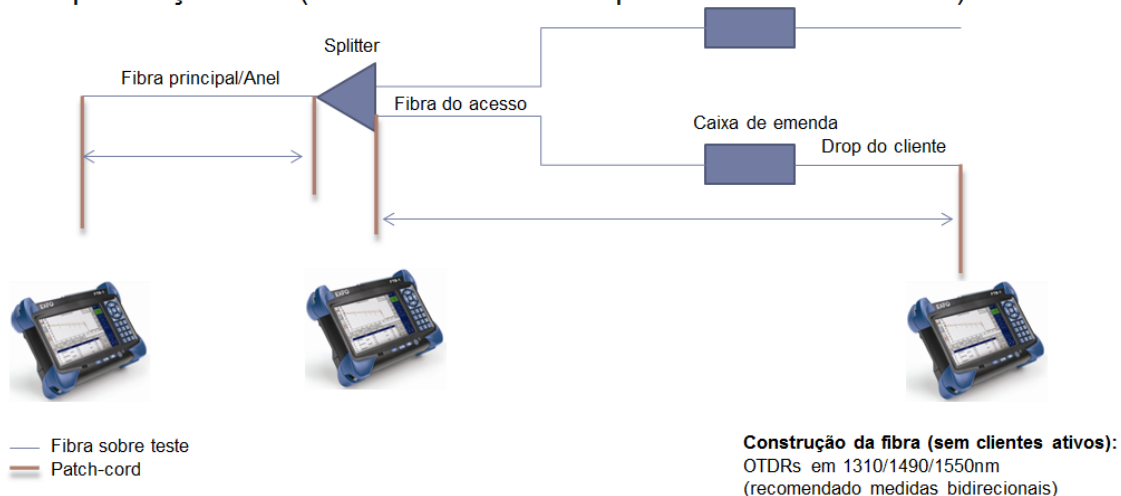


Figura 46 - Construção - verificação após lançamento. Fonte: o autor.

- Após verificação com OTDR, caracterizar com o Multitester FOT-930 parâmetros de IL e ORL:

1. Fibra principal (do POP ao Divisor Óptico, do Divisor Óptico ao POP)
2. Fibra de acesso (do Divisor Óptico ao acesso do cliente, do acesso do cliente ao Divisor Óptico) (Figura 47).

Antes da fusão do Splitter

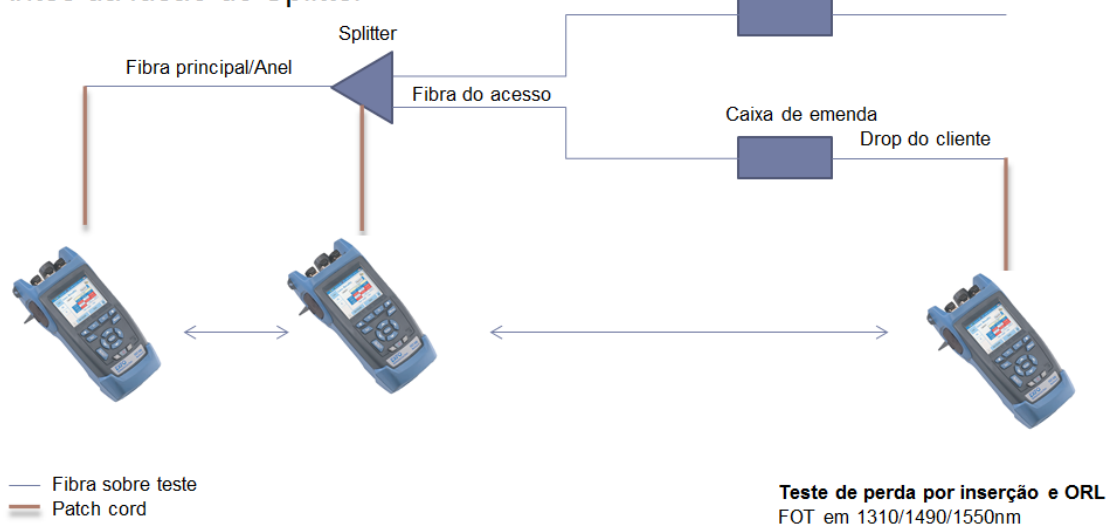


Figura 47 - Construção - certificação após lançamento. Fonte: o autor.

Após a fusão do Divisor Óptico, o mesmo deve ser caracterizado, fazendo um teste com o Multitester FOT-930 entre uma fibra de saída do Divisor Óptico e POP (Figura 48).

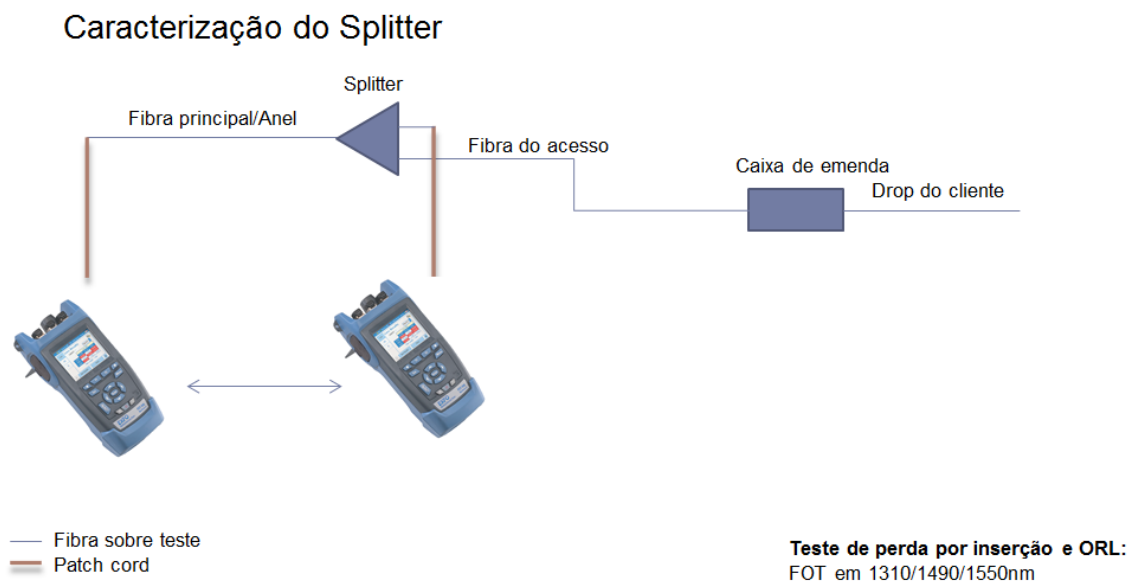


Figura 48 - Construção - caracterização do Divisor Óptico. Fonte: o autor.

5.5.2. Aceitação

Após a fase construtiva, ao entregar o circuito para operacionalização, é necessário realizar testes de aceitação. Para a rede GPON, é necessário testar com o Multitester FOT-930 o trecho entre Divisor Óptico e Drop do cliente antes da fusão deste trecho ao Divisor Óptico (Figura 49).

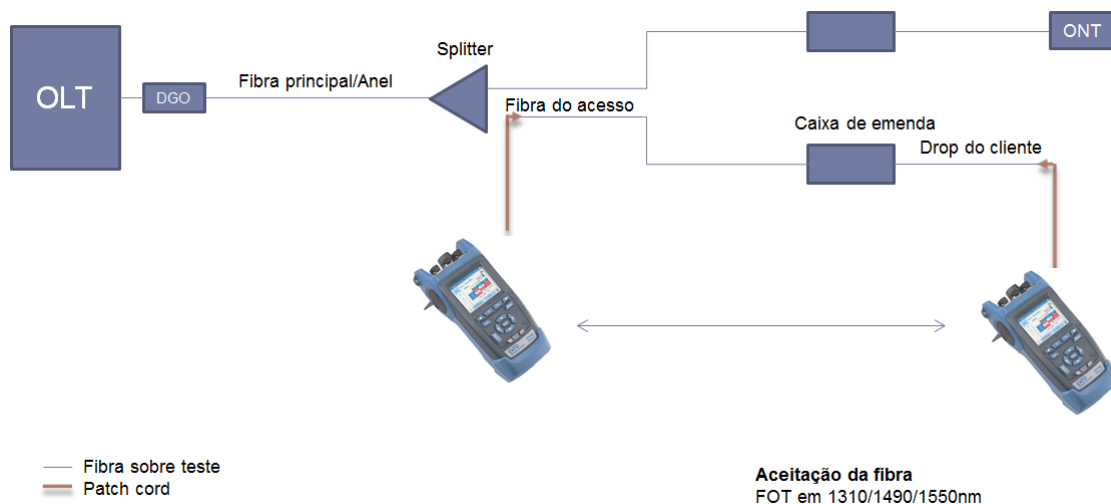


Figura 49 - Testes de aceitação do trecho do cliente. Fonte: o autor.

Testar via função Power Meter do Multitester se a potência recebida no Divisor Óptico (na fibra a ser fundida) no comprimento de onda de 1490nm está de acordo com aquela especificada em projeto (Figura 50).

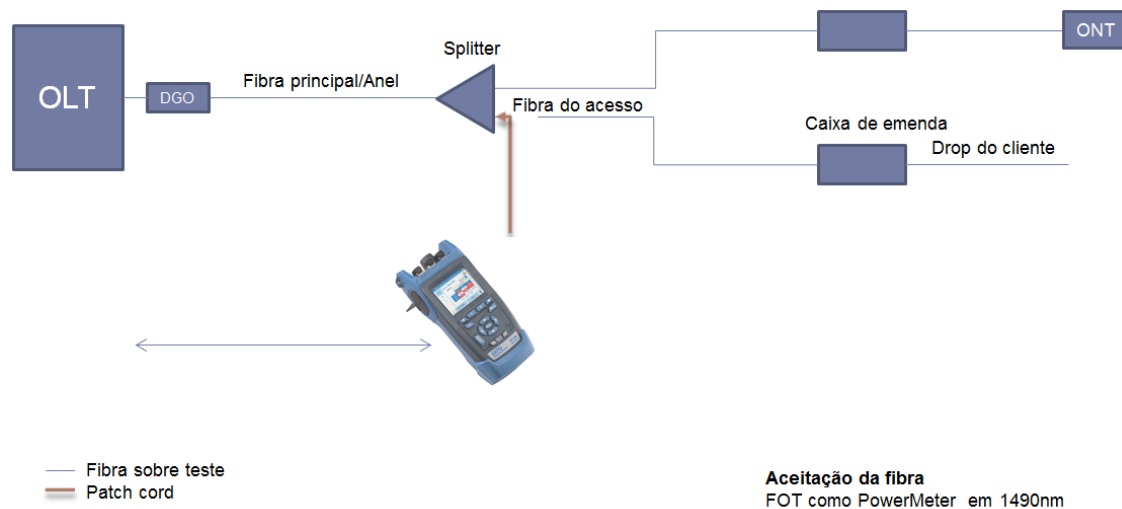


Figura 50 - Teste de aceitação do trecho principal . Fonte: o autor.

5.5.3. Ativação

Para a ativação de um novo cliente, deve ser verificada a potência recebida via PON Power Meter PPM-350C (Figura 51).

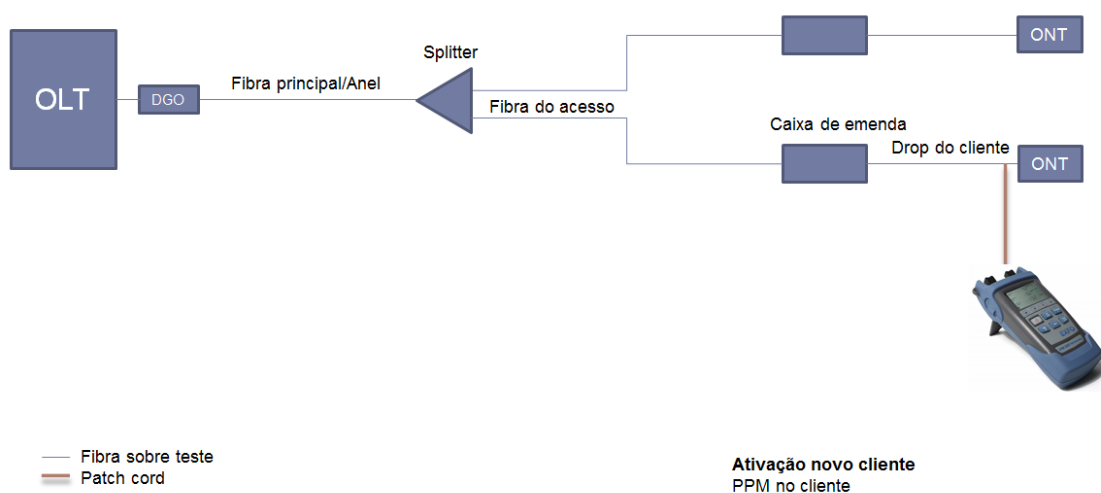


Figura 51 - Ativação de um novo cliente. Fonte: o autor.

5.5.4. Tratamento de falha

No caso de falha na rede GPON, alguns fatores devem ser analisados. Primeiramente deve ser analisada a potência enviada e recebida em nível da OLT e no nível do cliente (Figura 52).

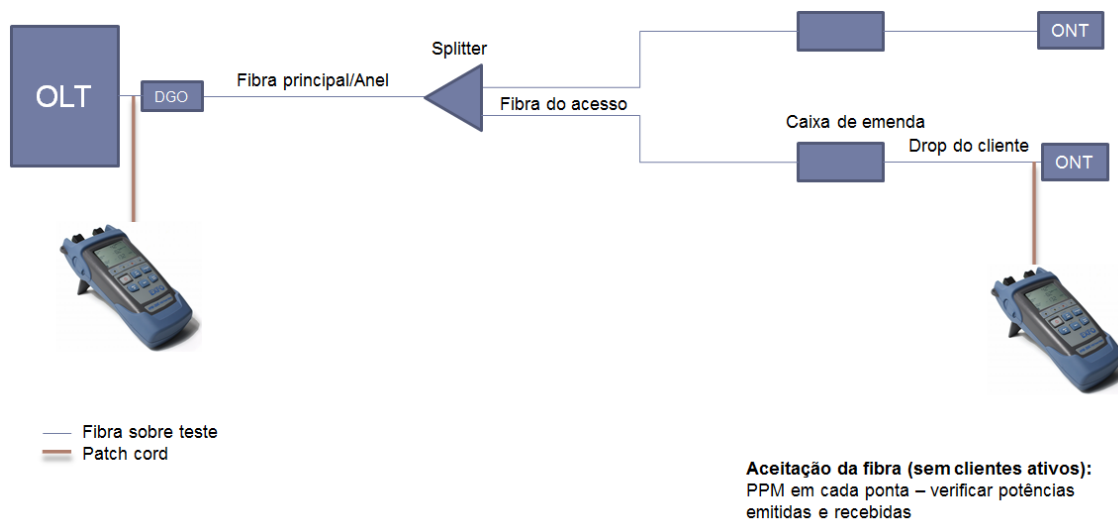


Figura 52 - Tratamento de falha - análise de potências. Fonte: o autor.

Caso haja suspeita de rompimento após o Divisor Óptico, é recomendado que seja analisado o nível de potência via PPM-350C no DGO e após isso analisar

com OTDR em 1625nm da ONU que esteja fora no sentido ao Divisor Óptico (Figura 53).

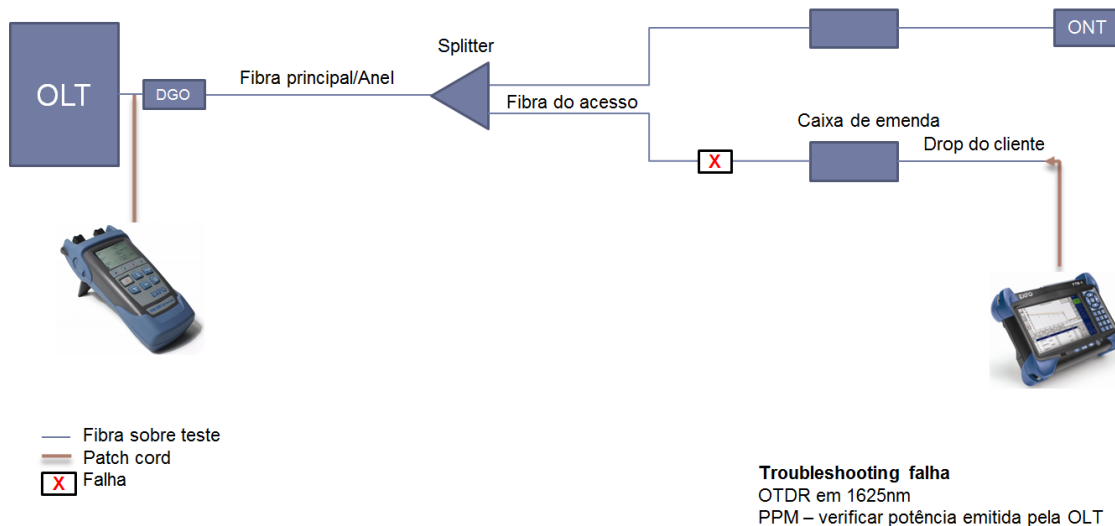


Figura 53 - Tratamento de falhas - localização da falha no trecho do cliente. Fonte: o autor.

Caso haja suspeita de rompimento na fibra entre o POP e o Divisor Óptico, é recomendado que seja analisado via PPM-3350C no DGO e no Cliente para fazer análise das potências e via OTDR em 1625nm do DGO do POP no sentido do Divisor Óptico (Figura 54).

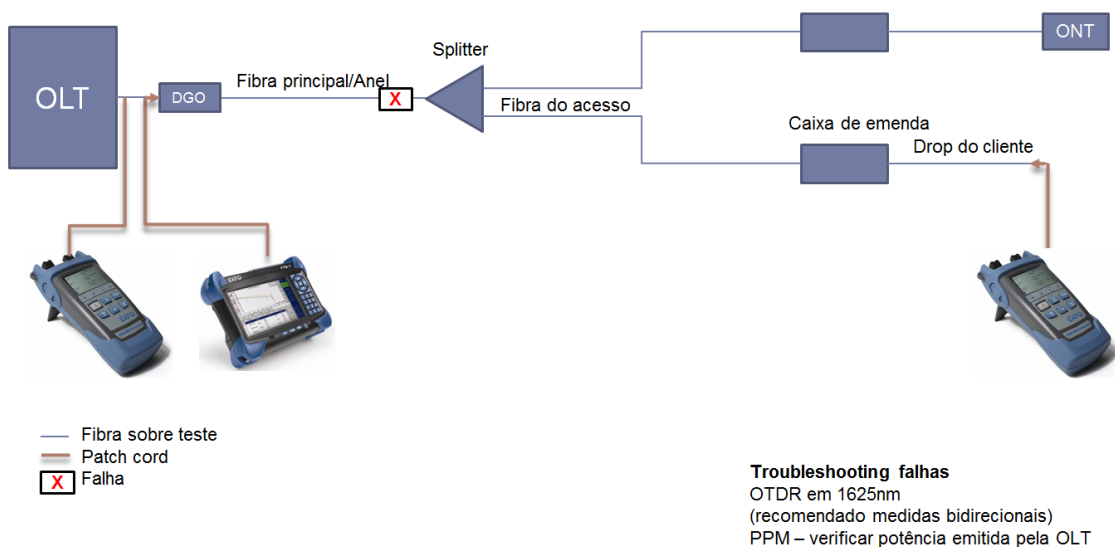


Figura 54 - Tratamento de falhas - localização da falha na fibra principal. Fonte: o autor.

6. ESTUDO DE CASO

6.1. Aplicação

O estudo de caso foi baseado na aplicação da tecnologia GPON em uma rede privada de Curitiba. Por questões de confidencialidade, os dados dos clientes e da empresa fornecedora da rede serão omitidos.

A aplicação da tecnologia GPON fornece conectividade entre os vários pontos clientes e a interligação com os pontos concentradores é realizada via rede Ponto-à-ponto metro-ethernet.

Com a tecnologia GPON, são ofertadas velocidades de 10Mbps até 500Mbps, por opção da operadora, velocidades acima de 500Mb devem ser feitas em rede ponto-à-ponto, garantindo assim banda garantida para crescimento da rede, sem saturar seus divisores óptico.

6.2. Topologia utilizada

Pela rede óptica ser essencialmente aérea, ela esta susceptível a danos causados por acidentes de trânsito, caminhões com carga alta que enroscam nos fios, vandalismo, danos causados por meios naturais, etc. Desta forma, para garantir um melhor atendimento, toda a rede GPON utiliza-se da proteção do Tipo-B, oferecendo um maior SLA ao cliente (Figura 55).

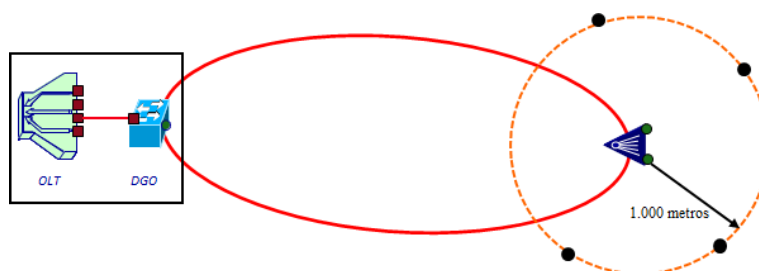


Figura 55 - Topologia com proteção Tipo-B. Fonte: o autor.

Esta topologia é muito pouco usada em outras redes GPON, pois necessita do dobro de portas para atender a mesma quantidade de clientes, além disso, o tamanho do anel entre a OLT e o Divisor Óptico acrescenta dificuldades por conta de sua assimetria nas distâncias:

1. Um lado pode ser muito grande, comprometendo o link-budget e limitando o nível de divisões ópticas (na rede atual são utilizados Divisores Ópticos 2:16)
2. O outro lado pode ser muito curto, desta forma, a potência óptica pode saturar os transmissores, necessitando a utilização de atenuadores.

Com a utilização de Divisores Ópticos 2x16, cada porta ONU pode, em média utilizar uma banda de Upstream máxima de 75Mbps e Downstream de 150Mbps. Isto sem considerar o perfil de tráfego do usuário.

6.3. Outras aplicações brasileiras

O GPON é a tecnologia escolhida por diversas operadoras brasileiras para o emprego de FTTx. Alguns exemplos:

- TIM – utiliza GPON para fazer o backhaul de suas ERBs
- GVT – testes sendo executados em Curitiba
- Telefônica – Atende São Paulo com mais de 270 OLTs
- Copel – Atendimento no Paraná via GPON
- Rodovias do Tietê – Utilização de rede GPON para seu sistema de monitoramento.

7. CONCLUSÃO

A tecnologia GPON está sendo adotada cada vez mais pelas operadoras brasileiras. Entretanto, a falta de interoperabilidade está sendo o ponto que mais está travando o avanço da tecnologia.

O atendimento via rede GPON tem focado em clientes corporativos de pequeno e médio porte, focando em velocidades acima de 10Mb e inferiores a 1Gbps, com uma grande garantia de banda, fornecendo serviços de voz, dados e IPTV.

Uma característica do mercado brasileiro é a escolha por entregar vídeo sobre IPTV e não via RF sobre 1550nm.

A rede GPON possui um grande custo de implantação por não utilizar elementos legados das operadoras, necessitando 100% de fibra óptica. Entretanto, o custo dos equipamentos vem tornando o GPON cada vez mais utilizado para entregar banda larga nas mais remotas regiões, isso aliado às políticas do PNBL (Plano Nacional de Banda Larga) e o PNBL 2.0 que tem facilitado o financiamento de projetos de fibras-ópticas. Além disso, o surgimento de fabricantes nacionais (Parks, Cianet, Padtech, etc) tem barateado e difundido a utilização de GPON em provedores de serviços, e não somente para operadoras.

Aspectos topológicos devem ser levados em conta: anéis ópticos menores permitem a proteção da rede com a utilização de maiores divisões ópticas, dividindo ainda mais o custo de implantação da tecnologia. Para aumentar ainda mais a cobertura GPON, é recomendado o uso de equipamentos menores em armários ou até mesmo em cabos aéreos.

8. BIBLIOGRAFIA

- Alcatel-Lucent. (2011). System Description for FD 100/320 GBPS NT and FX NT.
- Alcatel-Lucent. (Setembro de 2011). Universal Broadband: GPON.
- Furukawa. (s.d.). Splitter Óptico 1xN Desbalanceado.
- Haran, O., & Sheffer, A. (Janeiro de 2008). The Importance of Dynamic Bandwidth Allocation in GPON Networks.
- Huawei Technologies Co., L. (s.d.). *M1 – GPON Implementation Training*.
- ITU-T. (Março de 2003). G.984.1 - Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics.
- JDSU. (2011). Reference Guide to Fiber Optic Testing. Saint-Etienne, France.
- Lam, C. (2007). *Passive Optical Networks . Principles and Practice*.
- Rodriguez, A. (12 de 02 de 2012). *Historia de la fibra óptica (II)*. Acesso em 2013 de 03 de 16, disponível em Cables y Conectores Hoy: <http://www.cablesyconectoreshoy.com/historia-de-la-fibra-optica-ii/>
- Rohman, S. (2010). *FTTx (Fiber To The X) Alternative Solution Broadband Access in Indonesia*. Fonte: <http://syaifulrohman.wordpress.com/2010/12/18/fttx-fiber-to-the-x-alternative-solution-broadband-access-in-indonesia/>
- Rudge, F. (2009). *Dispersão em Fibras Ópticas*. Acesso em 2013 de 03 de 20, disponível em DSIF Unicamp: http://www.dsif.fee.unicamp.br/~rudge/pdf/Dispers_Complet_f201r.pdf
- Takahashi, H. (s.d.). Acesso em 27 de Abril de 2013, disponível em Planar lightwave circuit devices for optical communication: present and future: <http://lib.semi.ac.cn:8080/tsh/dzzy/wsqr/spie/vol5246/5246-520.pdf>
- Teleco. (2008). *Serviços Banda Larga: O uso de Rede Óptica Passiva GPON*. Fonte: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialblgpon/>.
- Xudong, Z. (2013). Heterogenous access for ubiquitous ultrabroadband networks. *Huawei Technologies Communicate*, 3-8.