

PRISCILA CARVALHO

APLICAÇÃO DA FIBRA ÓPTICA EM SISTEMAS FTTX

PRISCILA CARVALHO

APLICAÇÃO DA FIBRA ÓPTICA EM SISTEMAS FTTX

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami

Guaratinguetá
2015

Carvalho, Priscila
C331a Aplicação da fibra óptica em sistemas FTTX / Priscila Carvalho –
Guaratinguetá, 2015.
83 f : il.
Bibliografia: f. 76-80

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.
Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami

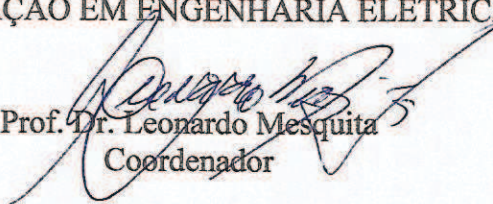
1. Fibras óticas 2. Telecomunicações I. Título

CDU 621.39

PRISCILA CARVALHO

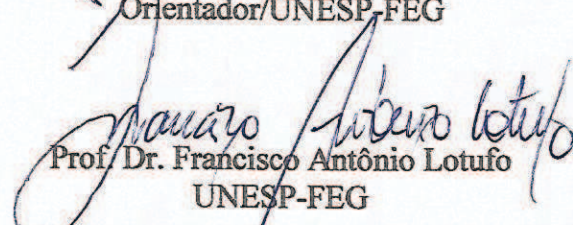
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

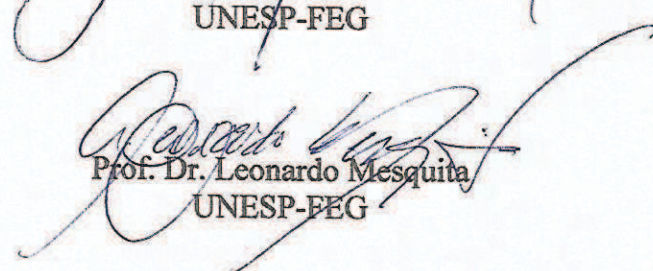
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


Prof. Dr. Leonardo Mesquita
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. José Feliciano Adami
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Francisco Antônio Lotufo
UNESP-FEG


Prof. Dr. Leonardo Mesquita
UNESP-FEG

Outubro
2015

DADOS CURRICULARES

PRISCILA CARVALHO

NASCIMENTO 24.04.1991 – CAJURU/ SP

FILIAÇÃO Wilton Alves de Carvalho
Ruth Ramos do Prado Garcia Carvalho

2009/2015 Curso de Graduação em Engenharia Elétrica na
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” Campus de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades e conquistas.

Agradeço à minha família pelo apoio de sempre e pela forma única com que torceram pelo meu sucesso e compreenderam a necessidade da ausência em muitos momentos. Principalmente meus pais, Wilton e Ruth, meus maiores exemplos.

Agradeço às minhas amigas Aline, Beatriz, Raíssa, Renata, Thaís e às companheiras da República Bem-me-quer, por terem dado um sentido maior a essa caminhada, completando-a com muitos risos e a amizade que sempre pude contar.

Agradeço ao meu orientador professor Feliciano por toda confiança que depositou em mim.

E de maneira geral à Faculdade de Guaratinguetá e todas as pessoas que contribuíram para essa fase de muito aprendizado e para meu crescimento pessoal e profissional.

CARVALHO, P. **APLICAÇÃO DA FIBRA ÓPTICA EM SISTEMAS FTTX**. 2015. 83 f. Trabalho de graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

A evolução em telecomunicações com o uso intenso de fibra óptica acompanhando a expansão tecnológica e a demanda de transmissão de dados torna-se uma necessidade na atualidade. Neste trabalho apresenta-se uma análise bibliográfica com conceitos técnicos, viabilidade de aplicações em projetos e levantamento de dados trazendo comparações e destacando a situação atual deste avanço. Identificam-se os benefícios do uso da fibra óptica e as vantagens da arquitetura FTTH, projetos concretos e idealizados que fazem este tema tornar-se realidade e perspectiva futura na continuidade do aumento de velocidade e permissão de crescimento nas transmissões.

PALAVRAS CHAVES: Fibra óptica. FTTX. FTTH. Telecomunicações.

CARVALHO, P. **FIBER OPTIC APPLICATION IN FTTX SYSTEMS**. 2015. 83 f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

The evolution in telecommunications with the extensive use of optical fiber following the technological expansion and data transmission demand becomes a necessity today. In this paper a literature review with technical concepts, feasibility of projects and applications in data collection with comparisons and highlights of the current situation of this advance is presented. The benefits of using optical fiber and the advantages of FTTH architecture are identified, as well as concrete and devised projects that make this theme reality and future prospects in the continuity of speed increase and allowed broadcasts growth.

KEYWORDS: Optical fiber. FTTX. FTTH. Telecommunications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução na tecnologia de redes de acesso.....	16
Figura 2 – Evolução dos padrões de redes ópticas passivas.....	18
Figura 3 – Sistema de comunicação óptica.	19
Figura 4 – Propagação dos feixes ópticos.	20
Figura 5 – Comportamento de campo elétrico.	21
Figura 6 – Comparação entre os tipos de fibras.	23
Figura 7 – Exemplo de Laser com fotodiodo para estabilização da temperatura.....	27
Figura 8 – Processos de transição na ação do laser.	27
Figura 9 – Fotodiodo PIN.....	30
Figura 10 – Fotodiodo avalanche.	30
Figura 11 - Tipos de redes FTTx.....	32
Figura 12 - Ponto a Multiponto (P2MP) e Ponto a Ponto (P2P).	32
Figura 13 – Tipos de topologias de rede. Anel, barramento e árvore, respectivamente.....	34
Figura 14 - Multiplexação por comprimento de onda.	36
Figura 15 – Típica rede óptica passiva.	37
Figura 16 - Camadas de rede FTTH.	39
Figura 17 - Tipos de OLT.....	41
Figura 18 - Casos de aplicação de <i>Splitters</i>	41
Figura 19 - Evolução das normas ITU PON.....	42
Figura 20 – Estrutura sistema óptico.	42
Figura 21 - Ponto de Presença.	43
Figura 22 - Cabo de fibra de alta contagem.....	43
Figura 23 - Cabos de distribuição, protegidos ou não, com metal para serem enterrados.	44
Figura 24 - Exemplo de ODF.	45
Figura 25 - Armário típico de rua.	45
Figura 26 - Conectores.	45
Figura 27 – Estrutura <i>splitter</i>	46
Figura 28 - Duto principal com nove sub dutos e duto flexível.	49
Figura 29 - Arco de fusão.	51
Figura 30 – Perda de retorno.	52
Figura 31 – Perdas por inserção.	53

Figura 32 – Expansão do FTTH/B na Europa.	57
Figura 33 – Domínio das coberturas FTTH e FTTB na Europa.....	58
Figura 34 – Crescimento acesso banda larga Brasil por tecnologia.	60
Figura 35 – Crescimento acesso banda larga Brasil por grupo.	60
Figura 36 - Concentração TV por assinatura, comunicação multimídia e telefonia fixa.	65
Figura 37 – Esquemático estudo de caso.....	66
Figura 38 – Relação das potências da rede.....	67
Figura 39 – Cidade inteligente.	72
Figura 40 – Mundo digital.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características PMMA e PF.....	24
Tabela 2 – Fibras no micro duto.....	50
Tabela 3 – Estatística FTTH/B nos países americanos.	56
Tabela 4 – Maior cobertura FTTH/B na Europa... ..	58
Tabela 5 – Brasil FTTH/B e FTTx – Dezembro 2014... ..	61
Tabela 6 – Serviço de banda larga oferecido.....	62
Tabela 7 – Quantidade de acessos de TV por assinatura.....	63
Tabela 8 – Quantidade de acessos de Comunicação Multimídia	64
Tabela 9 – Quantidade de acessos de Telefonia fixa.....	64
Tabela 10 – Perda de inserção nos splitters.....	67
Tabela 11 – Atenuação para fibras monomodo.....	67
Tabela 12 – Perdas por emendas e nos conectores.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo Laser e LED	25
Quadro 2 – Comparativo fotodiodo PIN e APD	29
Quadro 3 – Tipos de Conectores	54
Quadro 4 – Resumo série G.....	82
Quadro 5 – Série G – Específicos.....	82
Quadro 6 – Série L – Específicos... ..	83
Quadro 7 – Exemplos IEC.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRINT	Associação Brasileira de Provedores de Internet
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
APD	<i>Avalanche photodiode</i> (fotodiodo avalanche)
APON	ATM PON
ASK	<i>Amplitude shift keying</i> (chaveamento de amplitude)
ATM	<i>Asynchronous transfer mode</i> (modo de transferência assíncrona)
BLINK	<i>Broadband LINK</i>
BPON	<i>Broadband PON</i> (PON de banda larga)
CATV	<i>Cable TV</i> (TV a cabo)
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEO	Caixas de emendas ópticas
CTO	Caixas de terminações ópticas
CWDM	<i>Coarse wavelength division multiplexing</i> (multiplexação ampla em comprimento de onda)
DBA	<i>Dynamic bandwidth assignment</i> (alocação dinâmica de largura de banda)
DIN	<i>Deutsche Industrie Norm</i>
DWDM	<i>Dense wavelength division multiplexing</i> (multiplexação por divisão de comprimento de onda)
EIA	<i>Electronics Industries Alliance</i>
EPON	Ethernet PON
FC	<i>Ferrule connector or Fiber channel</i>
FCP	Ponto de concentração primária
FDM	<i>Frequency division multiplexing</i> (multiplexação por divisão de frequência)
FEC	<i>Foward Error Correction</i>
FSAN	<i>Full Services Access Network</i>
FSK	<i>Frequency shift keying</i> (chaveamento de frequência)
FTTB	<i>Fiber-to-the- building</i>
FTTC	<i>Fiber-to-the-curb</i>
FTTDp	<i>Fiber-to-the- distribution-point</i>
FTTH	<i>Fiber-to-the-home</i> (fibra para residência)
FTTN	<i>Fiber-to-the-node</i>
FTTx	<i>Fiber-to-the-x</i> (fibra para x)
FWHM	<i>Full-width half-maximum</i> (largura total a meia altura)
GFP	<i>Generic framing protocol</i>
GPON	Gigabit PON
HDTV	<i>High-definition television</i>
HFC	<i>Hybrid fiber coaxial</i>
ID	Índice degrau
IEC	<i>International Eletrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute for Electrical and Eletronic Engineers</i>
IG	Índice gradual
ISO	<i>International Standards Organization</i>
ITU	<i>Internacional Telecommunication Union</i>
ITU-T	<i>Telecommunication Sector of the ITU</i>
LATAM	<i>Latin America</i>
LC	<i>Lucent connector</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i> (diodo emissor de luz)

LLID	<i>Logical Link Identification</i>
MPCP	<i>Multipoint Control Protocol</i>
MPO	<i>Multiple-fiber push-on/pull-off</i>
MT-RJ	<i>Media termination-recommended jack</i>
MU	<i>Miniature unit</i>
NA	<i>Numerical aperture</i> (abertura numérica)
NGA	<i>Next Generation Access</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NPL	<i>National Physical Laboratory</i>
NRZ	<i>Nonreturn-to-zero</i> (não retorno a zero)
NZDSF	<i>Non-zero dispersion-shifted fiber</i> (fibra de dispersão deslocada não nula)
OAM	<i>Operations, Administration and Management</i>
ODF	<i>Optical distribution frame</i> (quadros de distribuição óptica)
OLT	<i>Optical line terminal</i> (terminal da linha óptica)
ONT	<i>Optical network terminal</i> (terminal de rede óptica)
ONU	<i>Optical network unit</i> (unidade de rede óptica)
OOFDM	<i>Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
P2MP	Ponto a Multi Ponto
P2P	Ponto a ponto
PF	Perfluorado
PIN	<i>(p-type)-intrinsic-(n-type)</i> (tipo-p, intrínseco, tipo-n)
PLOAM	<i>Physical Layer Operations, Administration and Maintenance</i>
PMMA	Polimetilmetacrilato
PNBL	Plano Nacional de Banda Larga
PON	<i>Passive optical network</i> (rede óptica passiva)
POP	<i>Point of presence</i> (ponto de presença)
PSK	<i>Phase shift keying</i> (chaveamento de fase)
PTB	<i>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</i>
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i> (policloreto de polivinila)
QoS	<i>Quality of service</i> (qualidade do serviço)
RF	Radiofrequência
RZ	<i>Return-to-zero</i> (retorno a zero)
SC	<i>Square connector</i>
SCM	Serviço de Comunicação Multimídia
SC-RJ	<i>Square connector-recommended jack</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SMA	<i>Sub Miniature A</i>
ST	<i>Straight tip</i>
TDM	<i>Time-division multiplexing</i> (multiplexação por divisão no tempo)
TDMA	<i>Time-division multiple access</i> (acesso múltiplo de divisão do tempo)
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>
UPS	<i>Uninterruptible power supply</i> (fonte de alimentação ininterrupta)
VOIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
WDM	<i>Wavelength-division multiplexing</i> (multiplexação por divisão de comprimento de onda)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PERSPECTIVAS HISTÓRICAS.....	15
1.2 EVOLUÇÕES DOS SISTEMAS DE ONDAS LUMINOSAS	16
2 ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA.....	19
2.1 FIBRA ÓPTICA.....	19
2.1.1 Índice degrau	20
2.1.2 Índice gradual.....	20
2.1.3 Modo em Fibras Ópticas	21
2.1.3.1 Fibra Monomodo	22
2.1.3.2 Fibra Multimodo.....	22
2.2 COMPOSIÇÕES DAS FIBRAS ÓPTICAS.....	23
2.2.1 Fibras de vidro.....	24
2.2.2 Fibras de plástico.....	24
2.3 FONTES ÓPTICAS	24
2.3.1 Semicondutores	25
2.3.2 Diodos Emissores de Luz (LEDs).....	26
2.3.3 Diodos Laser	26
2.3.4 Geração do sinal óptico	28
2.4 RECEPTORES.....	28
2.4.1 Fotodetector PIN	29
2.4.2 Fotodiodos avalanche.....	30
3. REDES ÓPTICAS	31
3.1 PON.....	33
3.2 TOPOLOGIAS.....	33
3.3 PADRÕES DE REDES PON	34
3.3.1 Protocolos.....	34
3.3.2 Multiplexação.....	35
3.3.2.1 TDM	35
3.3.2.2 FDM	35
3.3.2.3 WDM.....	36
3.3.3 APON	36

3.3.4 BPON	37
3.3.5 EPON	37
3.3.6 GPON	38
4. PROJETO FTTX.....	39
4.1 CABOS	46
4.1.1 Cabos de buffer firme.....	47
4.1.2 Cabos de tubo solto	47
4.1.3 Fitas de fibras	47
4.1.4 Cabos internos	47
4.1.5 Cabos externos	48
4.2 INSTALAÇÕES DE CABOS	48
4.3 EMENDAS E CONECTORES	51
4.3.1 Emendas	51
4.3.2 Conectores.....	52
4.4 ATENUAÇÃO E DISPERSÃO	54
4.4.1 Atenuação.....	55
4.4.2 Dispersão	55
5. FTTH NO MUNDO.....	56
5.1 ESTUDO DE CASO SUÍÇA.....	58
6. FTTH NO BRASIL	60
6.1 ESTUDO DE CASO	65
6.2 ASSUNTOS NO DIA A DIA	68
7. TENDÊNCIA	72
8. CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS	76
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	79
APÊNDICE A – PADRÕES E RECOMENDAÇÕES	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 PERSPECTIVAS HISTÓRICAS

O primeiro sistema prático de telecomunicações, onde a luz era responsável somente pela visibilidade dos sinais enviados, foi criado em 1792 pelo francês Claude Chappe. Uma transmissão mecânica por longa distância com estações repetidoras que utilizava sinalização homógrafa, despertando a ideia de telegrafia óptica.

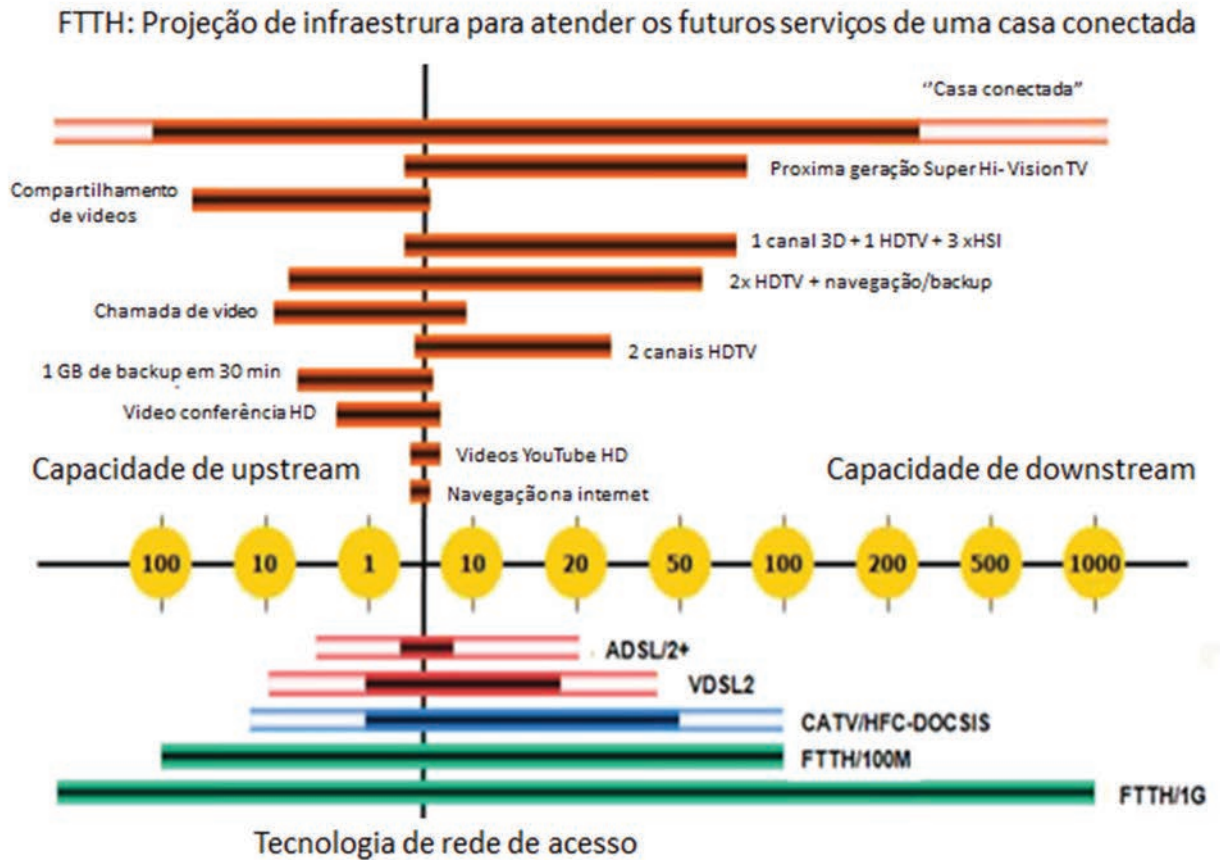
A luz sempre foi essencial em comunicações, destaca-se o emprego de sinais de fogo, espelhos e lâmpadas.

Na década de 1830, iniciou-se a era das comunicações elétricas, a invenção do telégrafo e técnicas de codificações como código Morse permitiram distâncias de aproximadamente 1.000 km, e uma taxa de bits que em 1874 chegava a 120 bps. Em 1876, com a invenção do telefone, surpreendeu que, os sinais elétricos antes essencialmente digitais passavam a ser analógicos. A partir de então a telefonia foi evoluindo, houve a substituição de pares de fio por cabos coaxiais, em 1940 já havia um sistema de 3 MHz com trezentos canais de voz ou um canal de televisão. E a exigência cada vez mais era a fidelidade na transmissão, o aumento na taxa de dados, o aumento na distância e a diminuição das perdas dos cabos. A última citada tinha como principal contraste a necessidade do aumento da frequência, para conciliar os dois pontos e em 1948 tem-se o primeiro sistema de comunicação por micro-ondas, utilizando portadora de 4 GHz.

Chegou-se a um ponto em que a taxa de transmissão, que na maioria das aplicações não ultrapassava os 100 Mbps, era limitada pela frequência da portadora e a distância alcançada, em sistemas com cabos coaxiais, pelo pequeno espaçamento entre repetidores. Em 1960, com a invenção do laser enxergou-se a possibilidade de modulação por onda óptica, devido a emissão de luz com frequência da ordem de 5×10^{14} Hz, mas a princípio o custo era elevado e não havia meio de transmissão óptico adequado. Na mesma época a fibra óptica apresentava perdas de sinal de mais de 1.000 dB/km.

Kao e Hockman em 1966 declararam que essas perdas eram devido às impurezas no material da fibra. E em 1970, fabricou-se a fibra com perdas abaixo de 20 dB/km. E se até 1980 utilizava-se mecanismos de transmissão elétrica na maioria dos sistemas de comunicações, em 1978 permitiu-se sistemas práticos de comunicação por luz. A Figura 1 traz a necessidade do avanço da tecnologia das redes.

Figura 1 – Evolução na tecnologia de redes de acesso.



Fonte: (BARION, 2015)

Em aproximadamente trinta anos, o sistema de comunicação por fibra óptica iniciou-se com taxas de 45 Mbps e alcançou taxas além de Tbps. A distância usual entre os repetidores é, para fibras de 1.310 nm, 60 km e para fibras de 1.550 nm, 100 km. (TELECO)

1.2 EVOLUÇÕES DOS SISTEMAS DE ONDAS LUMINOSAS

Visando o rápido avanço dos sistemas de comunicação por fibra óptica descrevem-se suas etapas e algumas designações do mesmo.

As primeiras aplicações de fibra, no final da década de 1970, operavam com ondas luminosas com comprimentos de onda entre 770 – 910 nm, fontes ópticas de GaAlAs e fotodetectores de silício, com taxa de bits de 45 Mbps e o espaçamento entre repetidores de até 10 km. Mas com atenuação elevada.

Essa atenuação da intensidade do sinal é medida referenciando o nível do sinal de saída (P2) com o nível de entrada (P1), relação mostrada na equação (1). No caso da fibra óptica é um decaimento exponencial medido em decibéis. Desta forma, grandes variações do sinal são comparadas com alguns decibéis.

$$\text{Razão da potência (dB)} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

Reduzindo a concentração de impurezas na década de 1980 produzem-se fibras com perda menor do que 1 dB/km na região de comprimento de onda entre 1.260 – 1.675 nm, sendo que em torno de 1.400 nm as perdas eram maiores devido as moléculas de água presentes no vidro.

Para usar esses comprimentos de ondas com perdas menores desenvolve-se fontes de InGaAsP e detectores de InGaAs.

Comparando os dois comprimentos de onda comerciais (1.310 e 1.550), tem-se para sistema operando em 1.550 nm uma atenuação menor, mas maior dispersão na fibra de sílica. Surgindo assim a necessidade da produção de uma fibra com dispersão deslocada para um único comprimento de onda de operação. A criação das fibras de dispersão deslocada não nula (NZDSF) torna possível a utilização de onda luminosa de 1.550 nm. Em 1990 os sistemas eram capazes de operar a taxas de até 10 Gbps por distâncias de aproximadamente 90 km entre repetidores.

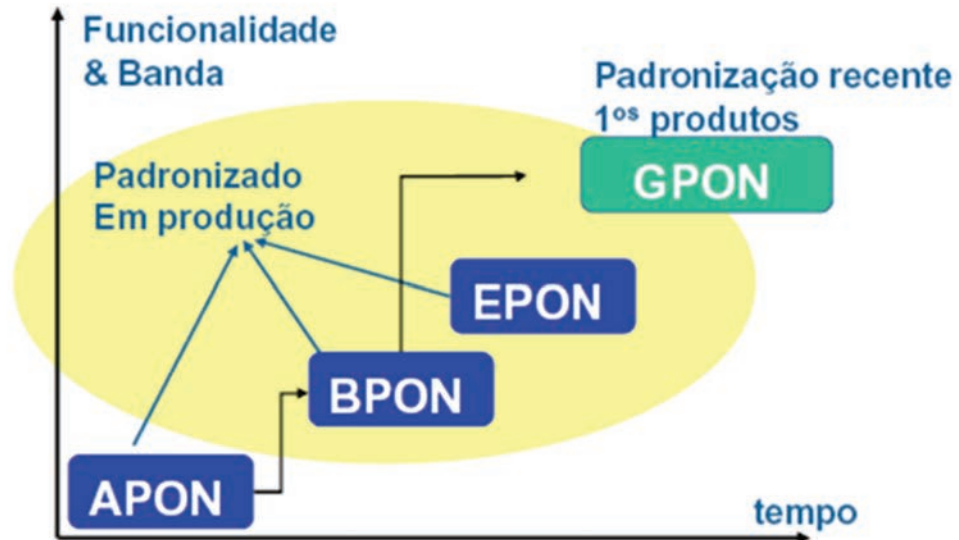
Por volta de 1992, com o emprego da multiplexação por divisão em comprimento de onda (WDM), tem-se um novo avanço na capacidade de transmissão das fibras.

Em 2001, sistemas operavam com 10 Tbps, sendo comum compensar as perdas por amplificadores de fibra dopada com érbio a cada 60 até 80 km. Paralelo a esses avanços, em 1996 inicia-se as instalações de sistemas de ondas luminosas submarinos. Atualmente além de continuarem crescentes as taxas de transmissão e as distâncias alcançadas, o principal desafio é o aumento da eficiência espectral, buscado com a junção do bom desempenho dos componentes físicos e da evolução dos padrões de transmissões, Figura 2.

Esses padrões se definem de acordo com a tecnologia de rede óptica passiva (PON) e se diferenciam principalmente pelos protocolos utilizados, protocolo modo de transferência assíncrona (ATM) tem-se APON, ainda usando este mais com evolução nas taxas de transmissão tem-se *Broadband* PON (BPON), utilizando protocolo Ethernet tem-se EPON ou

ainda, com ambos os protocolos, desenvolveu-se a Gigabyte PON (GPON). Novos padrões já estão sendo desenvolvidos, citam-se os principais e mais utilizados recentemente.

Figura 2 – Evolução dos padrões de redes ópticas passivas.



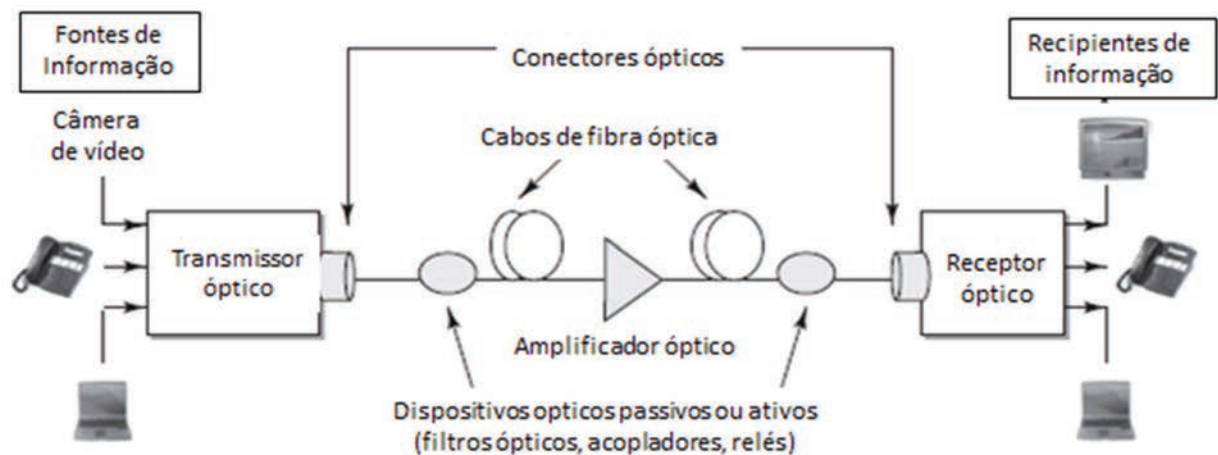
Fonte: (GIORGINI, 2010)

Trazendo essas evoluções e avaliando as possíveis aplicações, o presente trabalho tem como grande motivação a forma como o tema vem surgindo e se intensificando nas mídias além de se tornar cada vez mais presente para os usuários e de extrema importância para os avanços e viabilização das futuras necessidades.

2 ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA

Os sistemas de comunicação óptica, Figura 3, baseiam-se em transmissor óptico, canal de comunicação (fibra óptica), receptor óptico, e componentes adicionais como amplificadores ópticos, conectores, emendas, acopladores regeneradores entre outros dependendo da complexidade do projeto.

Figura 3 – Sistema de comunicação óptica.



Fonte: (KEISER, 2014)

2.1 FIBRA ÓPTICA

Inicia-se a descrição do canal de comunicação no qual foca-se o presente estudo, a fibra, partindo do modelo mais usual e amplamente conhecido, é um guia de onda dielétrico com um núcleo cilíndrico rodeado por uma casca com índice de refração menor. A luz se propaga no interior da fibra óptica fundamentalmente baseada no princípio de reflexão total.

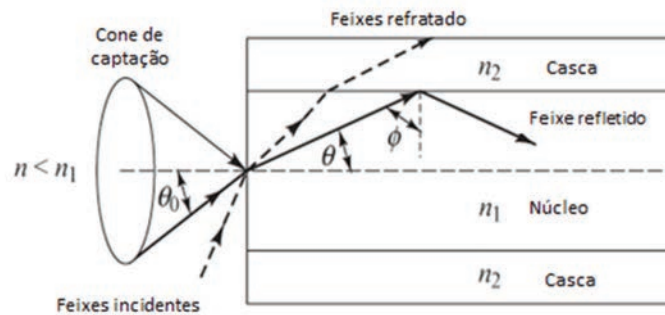
Podem ser encontrados dois tipos de núcleo, fibra de índice degrau, com índice de refração uniforme ao longo do comprimento e uma mudança brusca na interface com a casca, e fibra de índice gradual, quando o índice de refração diminui gradualmente em direção ao centro. Já a casca aparece influenciando em fatores como redução de perdas por dispersão, aumento de resistência mecânica e proteção.

Com relação à propagação de ondas, as fibras são classificadas em monomodo e multimodo. “Cada modo é um padrão de campos elétricos e magnéticos, que se repete ao longo da fibra em intervalos iguais” KEISER, 2014.

2.1.1 Índice degrau

O núcleo recebe essa denominação devido à discrepância entre os índices de refração do núcleo e da casca. A lei de Snell define um ângulo crítico para que o fenômeno de reflexão total aconteça. E para ângulos menores tem-se a refração, quando o raio se perde na casca. Pode-se estabelecer através das equações (2) e (3) esse cone de captação e a abertura numérica para esse tipo de fibra. Observa-se na Figura 4 que estas têm uma grande capacidade de captar energia luminosa.

Figura 4 – Propagação dos feixes ópticos.



Fonte: (KEISER, 2014)

$$n \sin \theta_{0,m\acute{a}x} = n \sin \theta_A = n_1 \sin \theta_c = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$NA = n \sin \theta_A = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Sendo que, $\theta_{0,m\acute{a}x}$ é o ângulo máximo de entrada, θ_A ângulo de captação, θ_c ângulo crítico, n índice de refração do meio, n_1 índice de refração do núcleo da fibra, n_2 índice de refração da casca da fibra, NA a abertura numérica da fibra.

2.1.2 Índice gradual

Os núcleos desse tipo não são homogêneos, são mais difíceis de produzir, e possuem grande capacidade de transmissão. Apresentam dimensões menores que a classificação anterior inclusive menor abertura numérica, mas em compensação uma banda passante mais adequada às aplicações em telecomunicações.

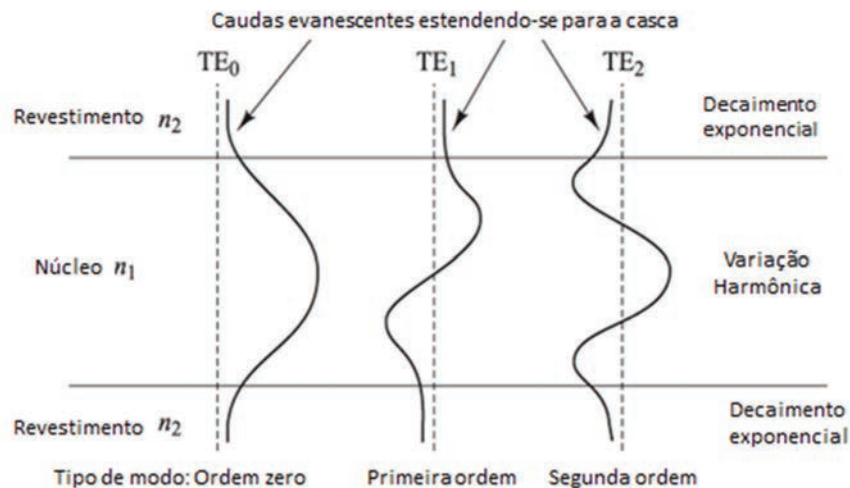
2.1.3 Modo em Fibras Ópticas

De maneira simplificada pode-se defini-lo como um caminho específico por onde a luz se propaga no núcleo da fibra. Na teoria, é uma das diversas soluções para as equações de Maxwell.

Para melhor visualização de campos modais e de propagação de ondas em fibras ópticas, analisa-se uma lâmina dielétrica plana, onde o núcleo possui um índice de refração e assim como na fibra tem-se outra camada, a casca, com índice de refração menor.

A Figura 5 ilustra a distribuição de campo elétrico para vários modos guiados, nitidamente eles não são totalmente confinados no núcleo. Há uma variação harmônica na região central e um decaimento exponencial fora dessa região.

Figura 5 – Comportamento de campo elétrico.



Fonte: (KEISER, 2014)

Na figura que se analisa têm-se os modos de menores ordens e estes se concentram no centro, mas para comparação os modos de maiores ordem se distribuem mais para a extremidade da placa. A ordem de um modo relaciona-se com o número de campos nulos e com o ângulo que o modo faz com o eixo da fibra.

O guia de onda da fibra óptica suporta um número finito de modos guiado, calculado através da equação (4).

$$V = \frac{(2\pi a)NA}{\lambda_0} \quad (4)$$

Onde a é o raio da fibra, NA a abertura numérica, e λ_0 o comprimento de onda.

Mas, sabe-se também através das soluções das equações de Maxwell, que existem modos de radiação que não são guiados e que não estão confinados no núcleo. E, definem-se os modos guiados somente os valores de β (constante de propagação) que satisfazem $n_2k < \beta < n_1k$, n_1 índice de refração do núcleo, n_2 índice de refração da casca, k constante de propagação da onda ($k = 2\pi/\lambda$, λ comprimento de onda). Os modos fora desses limites são ‘cortados’ ($V \leq 2,405$). Os modos não guiados ou modos de radiação estão em frequências abaixo do ponto de corte. Uma ressalva se faz para os modos vazados, que se propagam abaixo do corte, já os guiados são parcialmente confinados. E outra ressalva, é para o modo de menor ordem que não tem um ponto de corte.

2.1.3.1 Fibra Monomodo

Essas fibras não sofrem a dispersão intermodal, que resumidamente é consequência da ligeira diferença de velocidade com que os vários modos circulam numa fibra multimodo.

Os feixes de luzes se propagam em linha reta, sem ter que respeitar o fenômeno de reflexão total. Atingindo maiores distâncias na transmissão. Suas dimensões ficam próximas do comprimento de luz incidente. Essa pequena dimensão pode dificultar a conectividade dessa fibra.

As fibras monomodo são projetadas com um diâmetro do núcleo abaixo do ponto de corte do primeiro modo de ordem mais alta, ou seja, todos os modos de ordem superior são cortados e estas suportam somente o modo fundamental da fibra, modo que vai deixar de existir apenas quando o diâmetro do núcleo for igual à zero. As dimensões típicas são 125 μm na casca e 8 a 12 μm no núcleo.

2.1.3.2 Fibra Multimodo

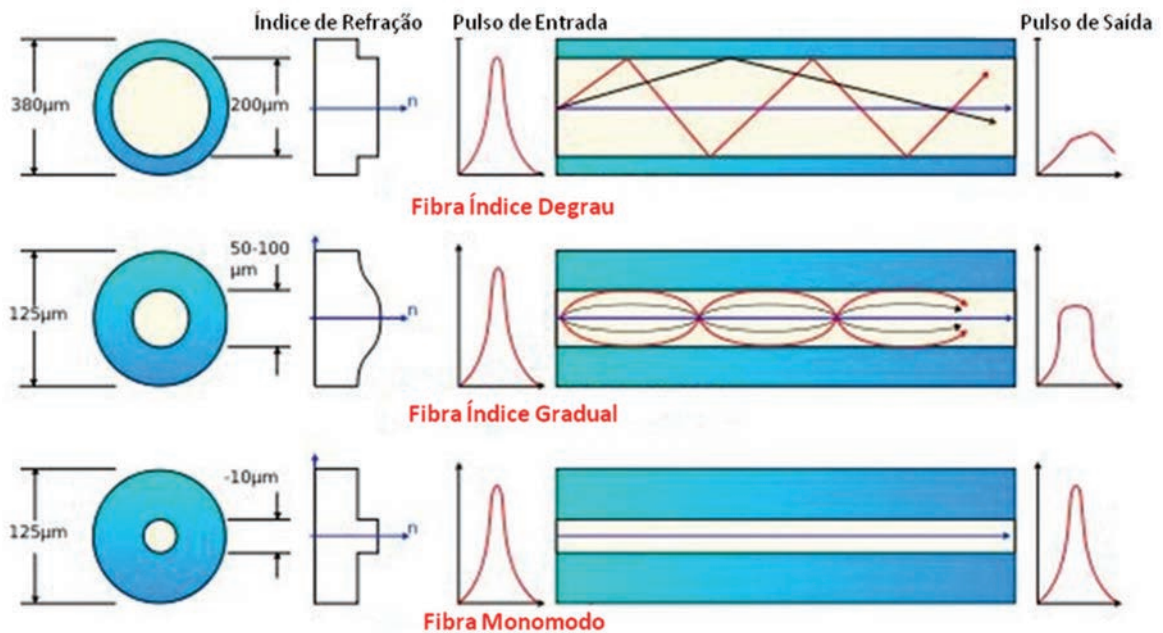
Vários feixes de luz se propagando no interior desse tipo de fibra e em várias direções este seria um resumo de suas características. Possuem múltiplos modos de propagação para $V > 2,405$. Essas fibras são classificadas como índice degrau (ID) ou gradual (IG) dependendo de sua aplicação.

As fibras multimodos de ID são usadas em distâncias curtas, pois apresentam banda passante limitada, destacam-se pela facilidade com que se conecta com outras fibras e pelo

fato da luz introduzida poder ser LED, isso devido à grande NA e ao grande diâmetro do núcleo que varia entre 50 e 200 μm , com o diâmetro da casca usualmente entre 125 e 400 μm .

Já as de IG, sofrem menos o efeito da dispersão modal e foram desenvolvidas para aplicações em telecomunicações. As dimensões típicas do diâmetro da casca estão entre 125 e 140 μm , e do núcleo entre 50 e 100 μm . Na Figura 6 podem-se observar as várias configurações da fibra.

Figura 6 – Comparação entre os tipos de fibras.



Fonte: (MADEIRA, 2011)

2.2 COMPOSIÇÕES DAS FIBRAS ÓPTICAS

Quando se pensa numa fibra óptica conclui-se que a mesma deve ser fina e flexível, ter transparência óptica em certo comprimento de onda e deve respeitar a condição da pequena diferença nos índices de refração da casca e do núcleo. E assim, chega-se aos dois materiais comumente utilizados para fabricação de fibras, vidro e plástico.

2.2.1 Fibras de vidro

O vidro compõe-se por fusão de misturas de óxidos metálicos, sulfuretos ou selenetos. O mais comum para produção de fibras é a sílica (SiO_2), cuja matéria prima é a areia de alta pureza, emprega-se esse mesmo material para o núcleo e a casca e para variar os índices de refração utiliza-se materiais apropriados para dopagem. Para aumentar o índice de refração, por exemplo, GeO_2 ou P_2O_5 e para o efeito contrário B_2O_3 .

O vidro apresenta resistência à deformação quando expostos a altas temperaturas (até $\approx 1.000^\circ\text{C}$) e baixa expansão térmica o que dificulta ruptura por choque térmico.

2.2.2 Fibras de plástico

Partindo da necessidade de apresentar fibras mais baratas para transmissão de curtas distâncias, fabricam-se fibras de plástico, que em comparação com as de vidro possuem maior atenuação e maior resistência mecânica. Estas apresentam o núcleo normalmente composto por polimetilmetacrilato (PMMA) ou polímero perfluorado (PF), verifica-se na Tabela 1 as características de cada uma dessas fibras.

Tabela 1 – Características PMMA e PF.

Características das fibras de PMMA e PF		
Características	PMMA	PF
Diâmetro do núcleo	0,4 mm	0,050 – 0,30 mm
Diâmetro do revestimento	1,0 mm	0,25 – 0,60 mm
Abertura numérica	0,25	0,20
Atenuação	150 dB/km em 650 nm	< 40 dB/km em 650 – 1300 nm
Largura de banda	2,5 Gbps em 200 m	2,5 Gbps em 220 m

Fonte: (KEISER, 2014)

2.3 FONTES ÓPTICAS

As duas fontes mais utilizadas em comunicações por fibra óptica são, os diodos emissores de luz (LEDs) e os diodos lasers, o Quadro 1 traz um comparativo para aplicação de cada um e nos próximos tópicos tem-se uma descrição detalhada de suas características. Estes dispositivos semicondutores apresentam a faixa de comprimentos de onda esperada para

esses sistemas, além de poderem ser modulados diretamente em frequências relativamente altas.

Quadro 1 – Comparativo Laser e LED.

Características	LASER	LED
Potência óptica	Alta	Baixa
Custo	Alto	Baixo
Utilização	Complexo	Simples
Largura Espectro	Estreita	Larga
Tempo de vida	Menor	Maior
Velocidade	Rápido	Lento
Divergência na emissão	Menor	Maior
Acoplamento na Fibra	Melhor	Pior
Sensibilidade à temperatura	Maior	Menor

Fonte: (CAETANO, 2011)

2.3.1 Semicondutores

Para entender a condução de um semicondutor descrevem-se as bandas de energia que são banda de valência e banda de condução, separadas por um intervalo de energia, *bandgap*. Para altas temperaturas ocorre à excitação dos elétrons, com energia superior a energia do *bandgap*, e o resultado é uma concentração de elétrons livres na banda de condução igual a n e uma concentração igual na banda de valência de p lacunas. Os elétrons e lacunas vão se mover no interior do material contribuindo para a condutividade elétrica. Aumenta-se a condutividade pela adição de impurezas, ação denominada de dopagem. Para casos em que a concentração de elétrons é maior define-se o material do tipo-n, caso contrário, define-se tipo-p. O material intrínseco não contém impurezas. Outra definição resultante desta teoria é a classificação em portadores majoritários, elétrons em material tipo-n ou lacunas em material tipo-p, e portadores minoritários, condição contrária a anterior.

Os materiais dopados do tipo-n ou tipo-p, servem como condutor, e através da junção pn define-se o material como semicondutor. Através desta junção, elétrons preenchem lacunas no lado p e resultam em lacunas no lado n, conseqüentemente tem-se um campo elétrico na junção.

Essa junção pn pode ser polarizada reversamente, aumentando a barreira de potencial e impedindo os portadores majoritários de fluírem através da junção, e polarizada diretamente, portadores majoritários se difundem e aumenta a concentração de portadores minoritários, a corrente flui do lado p para o n. Os portadores minoritários em excesso se recombinam e aí tem-se o mecanismo de geração de radiação óptica.

2.3.2 Diodos Emissores de Luz (LEDs)

Nas aplicações em transmissão por fibra óptica os LEDs se tornam viáveis para taxas de bits menores ou iguais a 100 - 200 Mbps e apresentam vantagens como: baixo custo, circuitos de acionamento pouco complexos, adaptação às condições climáticas, vida útil considerável e emissão de luz de superfície ou lateral.

É preciso confinar a emissão óptica na região ativa da junção pn. Heterojunção é estrutura eficaz que concentra os portadores e o campo óptico numa camada ativa central cercada por ligas diferentes, isso devido às diferenças de *bandgaps* e de índices de refração entre estas. Assim alcança-se alta radiância de saída para acoplamento de elevados níveis de potência na fibra, rápida resposta de emissão para aplicação do impulso de corrente e alta eficiência quântica relacionada aos pares elétrons-lacunas.

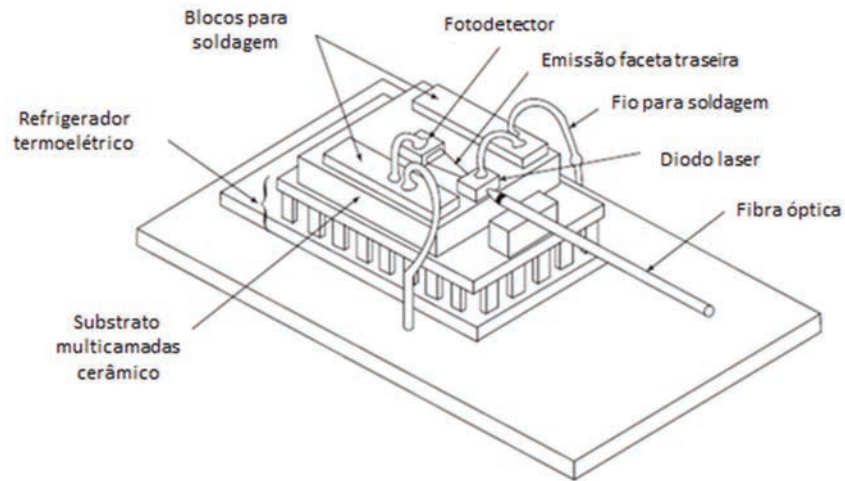
Esta camada ativa deve possuir um *bandgap* direto, composto por elementos das famílias III e V da tabela periódica, podendo citar Al, Ga, In, P, As ou Sb, utilizados em diversas combinações entre eles dependendo do espectro esperado.

Para visualização prática, no espectro de oitocentos – novecentos nm utiliza-se uma liga ternária de $Ga_{1-x}Al_xAs_x$, determina o *bandgap* da linha. Para $x = 0,08$ a potência de saída pico é em 810 nm e a largura do padrão espectral no seu ponto de meia potência (FWHM – *Full Width Half - maximum*) é de 36 nm. Outra liga pode ser a quaternária $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$ que atende comprimentos de ondas entre 1 e 1,7 μm .

2.3.3 Diodos Laser

Possuem espessuras reduzidas, o que os tornam frágeis e com vida útil menor comparada aos LEDs. Destaca-se a saída como um feixe de luz altamente monocromático e muito direcional. Utiliza-se em sistemas com larguras de banda superiores a duzentos MHz. Sendo dominantes nas aplicações em sistemas de transmissões por fibra óptica. O ponto de atenção fica na construção destes dispositivos, que necessitam concentrar a corrente em uma pequena cavidade, controla-se este fator aumentando a resistividade ou com uma junção pn polarizada reversamente assim tem-se a concentração dos portadores e do campo óptico. Outro ponto é sua dependência com a temperatura, com a variação desta, a corrente limiar pode aumentar. Uma construção de laser prática, Figura 7, é com um fotodetector provendo a realimentação óptica.

Figura 7 – Exemplo de Laser com fotodiodo para estabilização da temperatura.



Fonte: (KEISER, 2014)

Pode-se resumir o laser na ação de três processos, absorção de fótons, emissão espontânea e emissão estimulada, todos representados na Figura 8.

Figura 8 – Processos de transição na ação do laser.



Fonte: (LASER, 2015)

Um sistema em seu estado fundamental quando interage com um fóton de energia pode acontecer de um elétron absorver essa energia e ser excitado indo para um estado instável que faz com que rapidamente o mesmo emita esse fóton e volte para o estado fundamental.

Sem estímulo externo essa emissão é aleatória, sendo assim, interferindo no sistema pode-se ter uma emissão estimulada, incide-se o fóton no sistema quando o elétron está no nível excitado e o fóton emitido por este quando ele retornar para o fundamental vai estar em fase com o fóton incidente.

2.3.4 Geração do sinal óptico

Dados elétricos que chegam a sistemas de comunicação óptica são convertidos em uma sequência de bits ópticos através de técnicas de modulações. Esse processo pode ser realizado no laser ou pode ser externo, quando externo o modulador age em resposta a corrente que está sendo aplicada nele e deixa ou não passar luz.

A modulação pode ser no formato com retorno a zero (RZ) ou sem retorno a zero (NRZ). No primeiro formato o bit um é mais curto do que o bit *slot* (período de duração do bit) e no segundo formato o bit um dura o tempo do bit *slot*. Para RZ a amplitude cai a zero durante o intervalo do bit, com largura de pulso constante. Para NRZ a largura do pulso vai variar de acordo com a sequência de bits (por exemplo, quando dois bits um forem consecutivos) e em compensação, como as transições ocorrem em menor número, esta apresenta largura de banda menor. (AGRAWAL, 2014)

Pode-se citar como técnicas digitais ASK, FSK e PSK, chaveamento de amplitude, frequência e por deslocamento de fase, respectivamente. Devido a sua simplicidade são amplamente utilizadas.

2.4 RECEPTORES

Os dispositivos que devem ser sensíveis na região de comprimentos de onda de emissão da fonte óptica para interpretar as informações contidas no sinal. Para aplicações em sistemas com fibras é comum a utilização de um fotodetector baseado em semicondutores, podendo ser do tipo fotodiodo PIN ou fotodiodo avalanche (APD), o Quadro 2 traz um comparativo para aplicação de cada um e nos próximos tópicos tem-se uma descrição detalhada de suas características.

Quadro 2 – Comparativo Fotodiodo PIN e APD.

Características	PIN	APD
Sensibilidade	Menor	Muito maior
Linearidade	Maior	Menor
Relação sinal/ruído	Pior	Melhor
Custo	Baixo	Alto
Vida útil	Maior	Menor
Tempo de resposta	Maior	Menor
Sensibilidade a temperatura	Menor	Maior
Circuitos de polarização	Simples	Complexo

Fonte: (CAETANO, 2011)

2.4.1 Fotodetector PIN

Trata-se de um dispositivo que leva vantagem comparado ao APD devido a seu baixo custo e melhor vida útil. Possui as camadas p e n separadas por uma região levemente dopada n denominada intrínseca, Figura 9. Pode-se dizer que o dispositivo está operando normalmente quando com uma polarização reversa tem-se a região intrínseca com alta concentração de impurezas e insignificantes presenças dos portadores. Assim o fóton é absorvido conforme passa pelo semiconductor. No caso do fóton ter maior energia do que o *bandgap* ele pode ceder energia suficiente para excitar elétrons da banda de valência para banda de condução, surgindo os fotoportadores, elétrons e lacunas que na aplicação de uma tensão de polarização podem produzir um fluxo de corrente. De acordo com as impurezas colocadas no material controlam-se esses portadores, que devem aparecer na região de depleção. Este fenômeno mede a eficiência quântica do dispositivo que é um pré-requisito para esta função, além da rápida velocidade de resposta exigida. Atenta-se para o fato da necessidade de casamento dos dois parâmetros principais que medem a eficiência de um fotodetector, quanto mais espessa a camada de depleção mais luz é absorvida, mais pares elétrons lacunas são criados e, em contrapartida, mais tempo tem-se para os fotoportadores ficarem à deriva, e é este tempo que determina o tempo de resposta do dispositivo.

Esses parâmetros estão diretamente relacionados com o *bandgap*, a dopagem e as espessuras do material e o comprimento de onda de operação.

Quando se fala em desempenho deste dispositivo surge o termo responsividade, que especifica a fotocorrente gerada por unidade de potência óptica.

Figura 9 – Fotodiodo PIN.



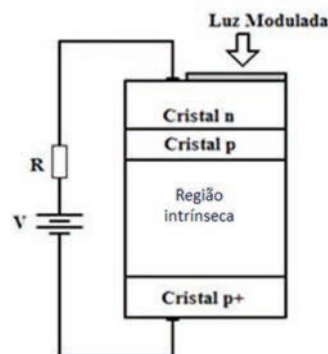
Fonte: (TELECO, 2015)

2.4.2 Fotodiodos avalanche

Este dispositivo é mais bem adaptado a ruídos, porém tem custo mais elevado. Ele aumenta a sensibilidade do receptor já que na entrada realiza uma multiplicação no sinal de fotocorrente. Para esta multiplicação dos portadores utiliza-se a ionização por impacto, onde se espera que os mesmos passem por uma região onde o campo elétrico alcança valores altíssimos sendo possível, nessa região, através da colisão, ganhar energia e ionizar outros elétrons. Como esse efeito vai encadeando mais e mais elétrons ionizados deu origem ao nome avalanche.

Em termos estruturais, Figura 10, para se obter a configuração descrita anteriormente, tem-se uma camada fortemente dopada tipo-p+, região intrínseca, camada tipo-p e uma fortemente dopada tipo-n. Através do funcionamento surge o termo *reaches-through* (“multiplicação de portadores com muito pouco excesso de ruído”, KEISER, 2014).

Figura 10 – Fotodiodo avalanche.



Fonte: (TELECO, 2015)

3. REDES ÓPTICAS

Surge com o *fiber to the home* (FTTH), um novo conceito de redes que vem ganhando destaque na família *Next Generation Access* (NGA), esse ambiente desafiador para desenvolvimento de inúmeros projetos que visam principalmente o aumento e melhora na transmissão de dados, alcançando altas velocidades. Entretanto, para se aventurar é preciso ter noções básicas das opções tecnológicas e dos investimentos necessários.

Orientações e padronizações ajudam a definir funcionalidades básicas de equipamentos garantindo as melhores soluções. Assim surgem normalizações nacionais e internacionais, consultar Apêndice A.

Tem-se o termo FTTx, onde x varia de acordo com a proximidade da fibra com o usuário final, ou seja, depende do ponto em que termina a rede, ilustração na Figura 11.

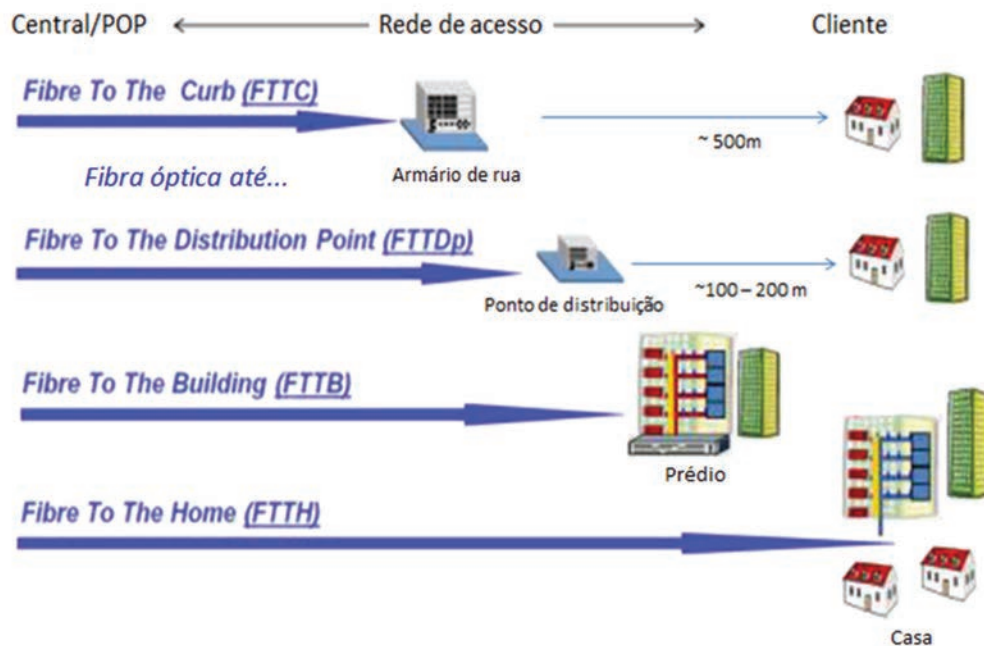
Nas redes FTTN, *fiber to the node*, o terminal remoto está posicionado a aproximadamente 1.500 metros do usuário, servindo até 500 assinantes. As Redes FTTP, *fiber to the distribution point*, com o terminal localizado normalmente a menos de 250 metros do ponto final. As Redes FTTC, *fiber to the curb*, possuem o terminal distante do usuário variando entre 150 e 300 metros, atendendo uma média de 18 assinantes. (FCGA, 2015)

No presente estudo, destacam-se as arquiteturas que estão mais próximas do usuário, sendo estas, FTTB, *fiber to the building*, e FTTH.

A classificação FTTB define a arquitetura em que a rede de fibra óptica chega até um edifício, e internamente utiliza-se de outro meio de transmissão, como por exemplo, cabo coaxial. Neste caso o sistema de fibra pode terminar dentro do prédio, na parede externa ou até 2 metros da parede externa, e no caso de um conjunto de edifícios essas exigências devem ser atendidas para pelo menos um dos prédios. (FCGA, 2015)

Enquanto a distribuição 100% fibra óptica fica por conta da arquitetura FTTH. A terminação da rede de acesso pode ser no interior da instalação do assinante, na parede externa, ou no máximo a 2 metros desta. (FCGA, 2015)

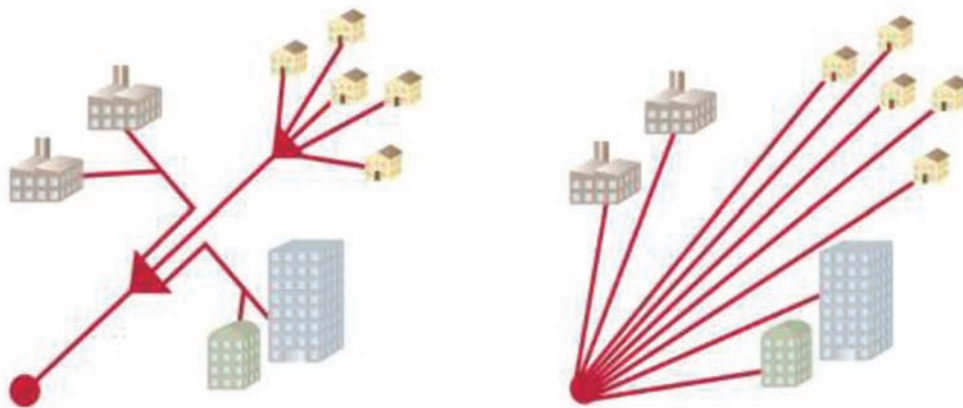
Figura 11 - Tipos de redes FTTx.



Fonte: (FTTH COUNCIL EUROPE, 2015)

Tendo analisado algumas das estruturas do sistema de comunicação óptica visa-se descrever suas arquiteturas que se divide em, ponto a ponto, quando a fibra é dedicada a um único usuário, e fibra ponto multiponto, em que a mesma alcança vários usuários, na Figura 12 tem-se a ponto a multiponto, na maioria das vezes combinada com redes ópticas passivas, e a ponto a ponto, utiliza soluções de Ethernet.

Figura 12 - Ponto a Multiponto (P2MP) e Ponto a Ponto (P2P).



Fonte: (FTTH COUNCIL EUROPE, 2015)

3.1 PON

As redes ópticas passivas, assim se classificam devido a não utilização de elementos ativos entre o escritório central e as instalações do cliente, apresentam arquitetura ponto multiponto.

Descrevendo cada elemento da rede tem-se o terminal da linha óptica (OLT), responsável pelo fluxo bidirecional. Controla as políticas de *Quality of Service* (QoS) e *Service Level Agreement* (SLA). Normalmente localizada em um escritório central é este equipamento que realiza a multiplexação dos diferentes usuários. A unidade de rede óptica (ONU) utilizada para conversão de sinal óptico em sinal elétrico. Sua proximidade com o usuário vai depender da arquitetura da rede de acesso, é provável que seja instalado em ambientes externos precisando ser mais robusto. E quando este equipamento estiver situado bem próximo do usuário final, temos o terminal da rede óptica (ONT) que em alguns casos também é utilizado na concentração dos dados e no fornecimento de acesso aos usuários. (LAGE, 2006)

Diferente dos anteriores que dependem da energia elétrica para o funcionamento, o *splitter*, divisor óptico, é um elemento passivo, por vezes vai dividir o sinal ou agrupá-lo. Detalha-se as duas formas de transmissão, *upstream* ou *downstream*, a primeira é a comunicação do cliente com a central e a segunda o inverso.

De forma geral nas redes PON, os OLT verificam a disponibilidade da fibra, o sinal óptico percorre a fibra e quando chega aos *splitters* esse sinal é dividido para várias ONUs.

3.2 TOPOLOGIAS

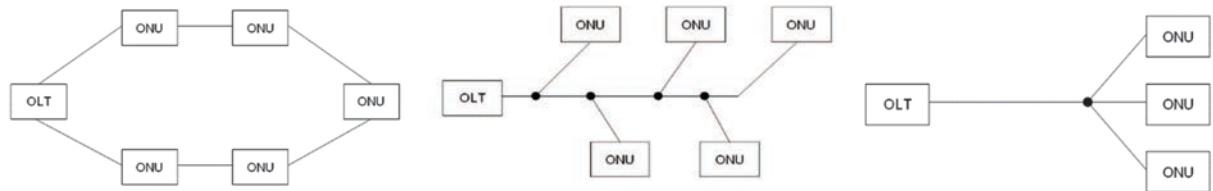
Esta classificação surge de acordo com a disposição dos elementos ativos da rede PON. Mais uma vez para cada aplicação se escolhe o modelo que melhor atende às exigências, considerando a utilização de modelos mistos, os modelos são representados na Figura 13.

A topologia em anel, um OLT conectado a duas ONUs e as demais ONUs de forma serial a essas duas primeiras, e ao final se fecha o anel.

A topologia em barramento, um OLT permite que várias ONUs sejam ligadas a ele através de *splitters*.

A topologia em árvore, o OLT é ligado somente a um *splitter* e deste se ramificam várias ligações para as ONUs.

Figura 13 – Tipos de topologias de rede. Anel, barramento e árvore, respectivamente.



Fonte: (SILVA, 2013)

3.3 PADRÕES DE REDES PON

A rede PON foi evoluindo ao longo dos anos e duas instituições, *International Telecommunication Union (ITU-T)* e *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, são responsáveis pelas definições dos padrões que foram sendo desenvolvidos, a diferença principal entre eles está no protocolo utilizado para transmissão.

3.3.1 Protocolos

“Um conjunto de regras e convenções que regem a produção, formatação, controle, troca e interpretação de informação que é transmitida através de uma rede de telecomunicações ou é armazenada em um banco de dados.” KEISER, 2014.

Um protocolo estrutura-se em camadas de serviços, onde cada camada se comunica com uma camada superior e uma camada inferior, de forma que acumula funções e complexidade nas camadas mais altas.

A *International Standards Organization (ISO)* desenvolveu um modelo de sete camadas utilizado como referência. É importante ressaltar as características das principais camadas, sendo possível em aplicações a omissão de algumas ou a subdivisão de outras. A camada física é o meio de transmissão que para o estudo específico é a fibra óptica, camada de enlace de dados uma de suas funções é a multiplexação e demultiplexação de dados permitindo a troca de dados, a camada de rede se responsabiliza pela comutação, direcionamento e entrega dos pacotes de dados, a camada de transporte satisfaz a QoS, a informação tem que ir da

origem ao destino da forma correta, mais segura e dentro do tempo. E as camadas superiores, que no modelo ISO consiste nas camadas de sessão, apresentação e aplicação estão mais ligadas ao usuário, criptografando e transferindo dados.

Cada camada utiliza conjuntos de protocolos específicos para executar suas funções.

3.3.2 Multiplexação

Para aumentar a capacidade de transmissão das fibras utilizam-se técnicas para que a largura de banda total seja dividida em vários canais. Podem ser realizadas no domínio do tempo ou da frequência.

3.3.2.1 TDM

A multiplexação por divisão no tempo (TDM) utilizada em sinais binários que exigem codificação digital multiplica-se a capacidade da banda atribuindo um intervalo de tempo padrão para cada canal, pode ser síncrona, com base no *clock* e *slots* de tempo sempre do mesmo tamanho, ou assíncrona utilizando o protocolo *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) que alcança maiores velocidades. Deve adicionar alguns bits para sincronismo, detecção de erro e gerenciamento do sistema. É uma tecnologia simples e barata.

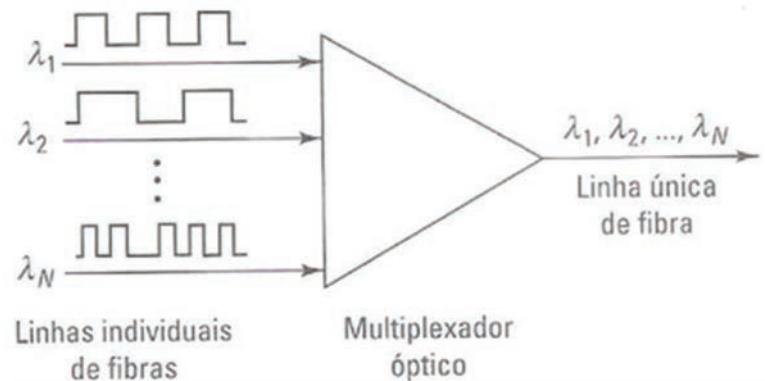
3.3.2.2 FDM

Em sistemas ópticos não é viável a utilização da multiplexação por divisão de frequência (FDM), devido a utilização de fontes não lineares que dão origem a componentes espectrais que podem interferir nos vários canais de FDM. Mas, foi uma tecnologia usada por companhias de telefone e de TV a cabo por volta da década de trinta, cada canal possui a onda portadora com fase ou amplitudes diferente. E mesmo sendo um projeto mais caro que o TDM, por usar um filtro passa banda, apresenta vantagens por não ter os mesmos atrasos na propagação.

3.3.2.3 WDM

Através da multiplexação por comprimento de onda (WDM), Figura 14, permite-se transmitir informações independentes, cada uma dessas informações em um comprimento de onda diferente, mas bem próximos, que combinados em um multiplexador óptico são transmitidos numa mesma fibra.

Figura 14 - Multiplexação por comprimento de onda.



Fonte: (KEISER, 2014)

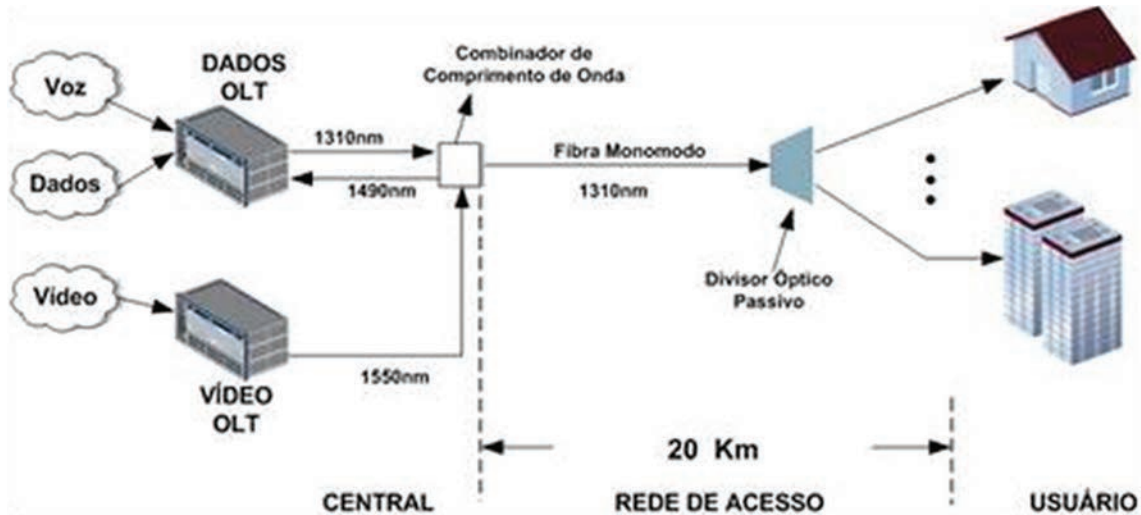
Com uma técnica muito parecida com o FDM, esta se destaca na aplicação óptica por ter apenas componentes passivos. Cada laser, e da mesma forma cada receptor, emite luz em um comprimento de onda específico. É possível detectar cada um de forma independente. Uma classificação que deriva desta multiplexação é DWDM e CWDM, o primeiro conhecido como *dense*, que apresenta mais de oito comprimentos de onda numa mesma fibra. E o segundo *coarse*, com até oito canais tem-se tipicamente a transmissão nos seguintes comprimentos, 1.470, 1.490, 1.510, 1.530, 1.550, 1.570, 1.590 e 1.610 nm.

3.3.3 APON

Surgiu na década de 90, foi o primeiro padrão de rede PON, Figura 15, utiliza fibras monomodo e protocolo ATM na camada de enlace, por ser assíncrono, a transmissão não acontece com intervalos regulares. Foca-se em aplicações residências, com distância entre ONT e OLT de no máximo 20 km. A versão inicial era simétrica nas velocidades de *upstream* e *downstream*, de 155 Mbps e usava os comprimentos de onda para voz e dados de 1.310 nm

no *upstream* e 1.490 nm no *downstream*, isso para melhor isolamento óptico. E de vídeo, 1.550 nm no *downstream*. Esse sistema pode apresentar em uma única fibra até 64 usuários.

Figura 15 – Típica rede óptica passiva.



Fonte: (TELECO, 2015)

3.3.4 BPON

Em evolução a primeira versão, permite transmissão assimétrica de 155 / 622 Mbps, a taxa maior é *downstream*, ou 622 Mbps simétrica e depois alcançou 622 / 1.244 Mbps. Além de ter suporte para WDM e possibilitar a alocação de largura de banda para o usuário de forma dinâmica, não se limita aos serviços do ATM, inclui serviços de banda larga e distribuição de vídeo. Neste padrão o *upstream* e o *downstream* não seguem a mesma forma de transmissão. No primeiro, o *splitter* recebe as informações de várias ONUs e só através de técnica de multiplexagem (TDMA) consegue consolidá-las para enviar para o OLT sem que haja conflitos dessas informações. O segundo segue uma transmissão sequenciada do OLT para ONUs, enviando células ATM com informações ou células *Physical Layer Operations, Administration and Maintenance* (PLOAM) que permitem a transmissão.

3.3.5 EPON

Este padrão surgiu já no ano 2001, buscou e alcançou a diminuição dos custos com relação aos padrões anteriores, substituiu-se o protocolo ATM por Ethernet e este transmite as

informações em pacotes com tamanhos que podem variar entre 64 bytes a 1.518 bytes, sendo que nos padrões APON e BPON os pacotes são fixos com 53 bytes. Neste novo padrão um OLT pode se conectar a 16 ou 32 ONUs. As velocidades de transmissão aumentaram para 1,25 Gbps simétrica. Os comprimentos de onda continuaram os mesmos e duas arquiteturas foram estabelecidas com base na distância entre OLT e ONUs, 10 km definiu a 1000BASE-PX10 e 20 km a 1000BASE-PX20.

Sendo o protocolo Ethernet específico, este não satisfaz algumas necessidades da rede, desenvolveu-se então o protocolo *Multipoint Control Protocol* (MPCP) que se destaca pelas mensagens *GATE* e *REPORT*, uma usada pelo OLT como forma de registro das ONUs conectadas e outra contém informações da transmissão enviada pela ONU para o OLT. Aumentando assim os parâmetros de segurança da rede.

Neste padrão também *upstream* e *downstream* tem diferentes formas de transmissão. No *upstream* a base do *time slots* é o maior quadro e a mensagem recebida fica guardada nas ONUs até que receba a ordem de transmitir, essa alocação pode ser estática ou dinâmica. Já no *downstream* os pacotes enviados do OLT para as ONUs vão com campos de identificação (LLID – *Logical Link Identification*) de forma que só são entregues aos usuários as informações endereçadas a ele.

3.3.6 GPON

Também uma evolução do padrão BPON, surge um pouco depois do EPON. Preocupa-se com controle de alocação dinâmica de banda (DBA), além de OAM e QoS que estão relacionados com a segurança na transmissão. *Gigabit* PON, com muito mais compatibilidade, transmite tanto pacotes Ethernet quanto células ATM, com aproximadamente sete combinações nas velocidades de *downstream* e *upstream* entre elas 1,244/2,488 Gbps. Podendo ser empregada na razão de 1:128, essa tecnologia é muito eficiente e ganha outro destaque na utilização do protocolo de encapsulamento *Generic framing protocol* (GFP). Os comprimentos de onda são os mesmos da EPON, e da mesma forma ambas podem utilizar o *Forward Error Correction* (FEC). Se a GPON é mais versátil do que a EPON por aceitar também pacotes no formato ATM deve-se alertar para o fato de aumentar a complexidade do sistema. A GPON tornou-se popular nos Estados Unidos e Europa, enquanto EPON predomina na Ásia, Japão e Coréia do Sul.

4. PROJETO FTTH

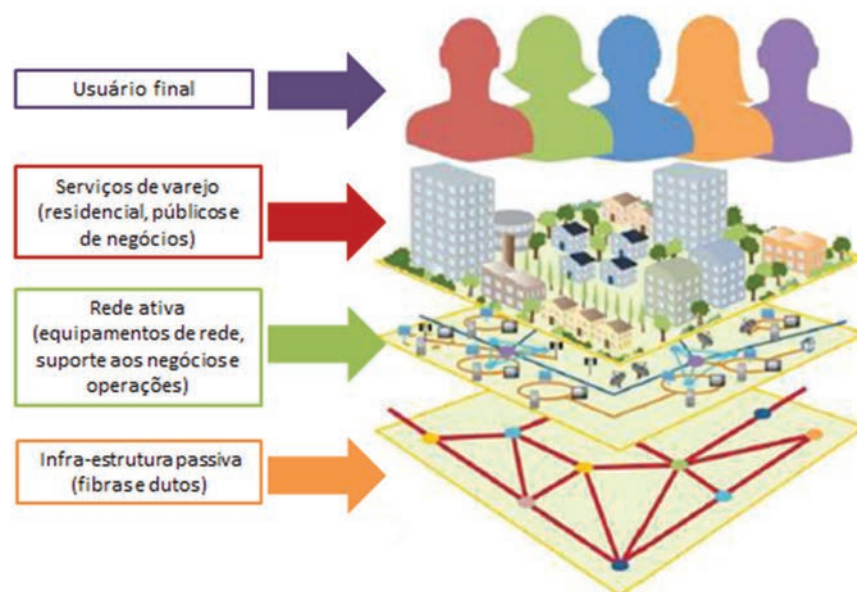
Em 2004, cinco membros referenciais no mercado (Alcatel-Lucent, Cisco, Corning, Emtelle and OFS), criaram uma organização para acelerar a disponibilidade das redes de fibra óptica, o FTTH *Council Europe*. E hoje se tem mais de 150 membros que promovem avanços nos acessos por fibra óptica em todo o continente europeu. Através dos documentos disponibilizados por essa organização extraem-se informações referentes a projetos de FTTH.

Da mesma forma, tem-se o FTTH *Council Americas*, FTTH *Council Asia Pacific*, FTTH *Council Middle East e North Africa* e FTTH *Council Africa*.

Todo início de projeto deve levar em consideração inúmeros fatores, do tipo, meio físico, as condições atuais desse meio em que será implantada a rede e o tamanho dela, surgem assim dois índices, o CAPEX que mede as despesas em investimento, ou seja, o custo inicial da implantação de infraestrutura e OPEX as despesas de operações esperadas, os custos de funcionamento e manutenção da rede.

Uma rede de fibra constitui-se de diversas camadas, Figura 16, elementos passivos de infraestrutura, são os elementos físicos que constroem a rede, elementos ativos, equipamentos eletrônicos, camada de serviços, que apresenta aos consumidores o resultado da operação das camadas ativa e passiva, e finalmente o usuário final.

Figura 16 - Camadas de rede FTTH.



Fonte: (FTTH COUNCIL EUROPE, 2014)

O planejamento de projeto envolve primeiramente a coleta de dados precisos incluindo, características da área geográfica, as rotas de implantação, infraestrutura já existente e a possibilidade de reutilização, pontos para concentração das fibras, tipo de superfície da rua e decisões estratégicas que são influenciadas pela demanda, os tipos de clientes, desejo de aderência desses clientes e o histórico de adoção aos serviços oferecidos.

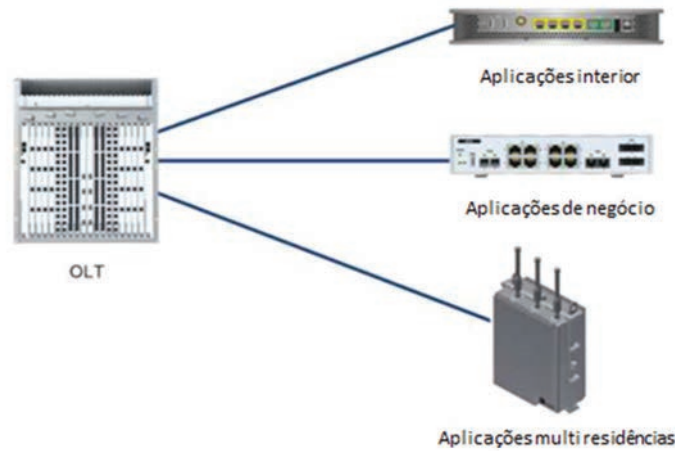
Depois se analisa os custos unitários, da obra civil, do material, da instalação, dos testes, da manutenção, da energia para alimentação da rede, o custo por casa passada. Tudo isso vai influenciar no emprego das diferentes arquiteturas, topologias, níveis de concentração de fibras e métodos de instalação de cabos. (CBE, 2015)

As soluções de rede ópticas passivas que são definidas pelos grupos, ITU e *Full Services Access Network* (FSAN) ou IEEE, ao longo dos anos tendem a evoluir e tornar sua largura de banda simétrica, mas é difícil imaginar essa simetria completa em aplicações residenciais devido a enorme quantidade de largura de banda necessária para serviços de HDTV e de entretenimento em geral, no entanto, já se fala nos padrões XG-PON, ofertas de 10 Gbps de *downstream* e 2,5 Gbps de *upstream*, NG-PON2 com 40 Gbps *downstream* e 10 Gbps *upstream*. E 10G-EPON com taxas de 10 Gbps simétricas.

Esses padrões foram definidos de forma a permitir a coexistência numa mesma fibra através da técnica WDM e, além disso, existe a opção de sobrepor vídeos de rádio frequência (RF) com um comprimento de onda adicional, para os casos de combinações dos serviços de voz, dados e multimídia (*triple-play*) a serem atendidos. Duas abordagens podem atender essa opção, a primeira envolve uma fibra adicional por assinante, e na segunda é introduzido o sinal de vídeo em cada fibra ponto a ponto da rede. É preciso na ONU, um conversor de mídia, que pega o sinal RF 1.550 nm e converte em sinal elétrico antes de chegar à interface coaxial.

Em aplicações tem-se um OLT ligado com 16.384 assinantes, 64 usuários por conexão GPON, ou até 768 conexões com padrões Ethernet ponto a ponto. A escolha da ONT vai depender de sua aplicação, interna, externa, de negócios ou para varias residências, alguns exemplos de OLT na Figura 17.

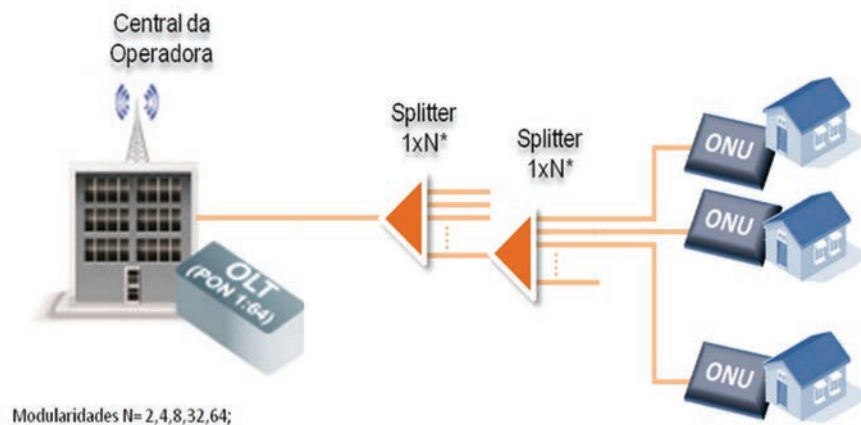
Figura 17 - Tipos de OLT.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Os divisores, *splitters*, retratados na Figura 18, são instalados de acordo com a densidade da área e devem ser estrategicamente posicionados, assegurando que chegue ao usuário o serviço da melhor maneira possível. Para casos em que ele está posicionado muito perto do usuário tem-se a redução no consumo de fibras, e em compensação, pode-se estar reduzindo também o número de casas passadas.

Figura 18 - Casos de aplicação de *Splitters*.

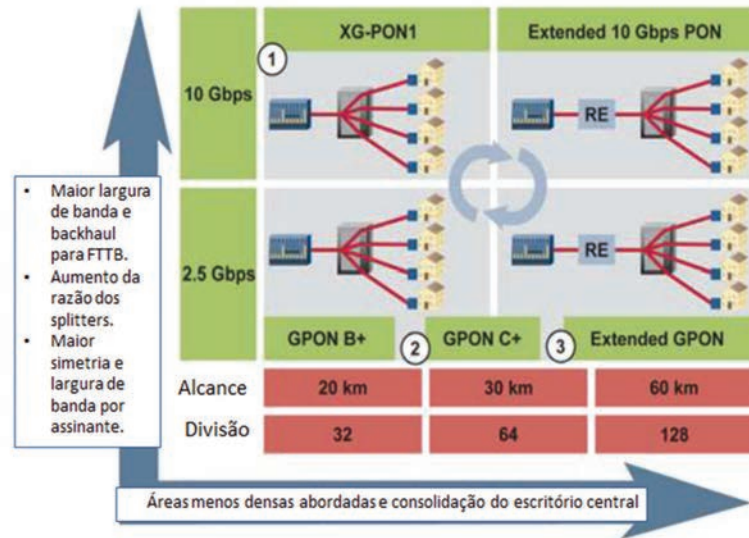


Fonte: (FURUKAWA, 2015)

De forma geral, se assiste um avanço muito rápido tanto sobre os padrões ITU quanto IEEE, observa-se na Figura 19, e espera-se redução nos custos da técnica WDM, que ainda não tornou viável a utilização de lasers sintonizáveis e de ONU que proporcionam diversos comprimentos de onda. Em uma visão futura deseja-se uma tecnologia NG-PON2, com

técnicas híbridas de WDM/TDM GPON, com taxas de 100 Gbps, alcance de 100 km e uma razão de 1:1.024.

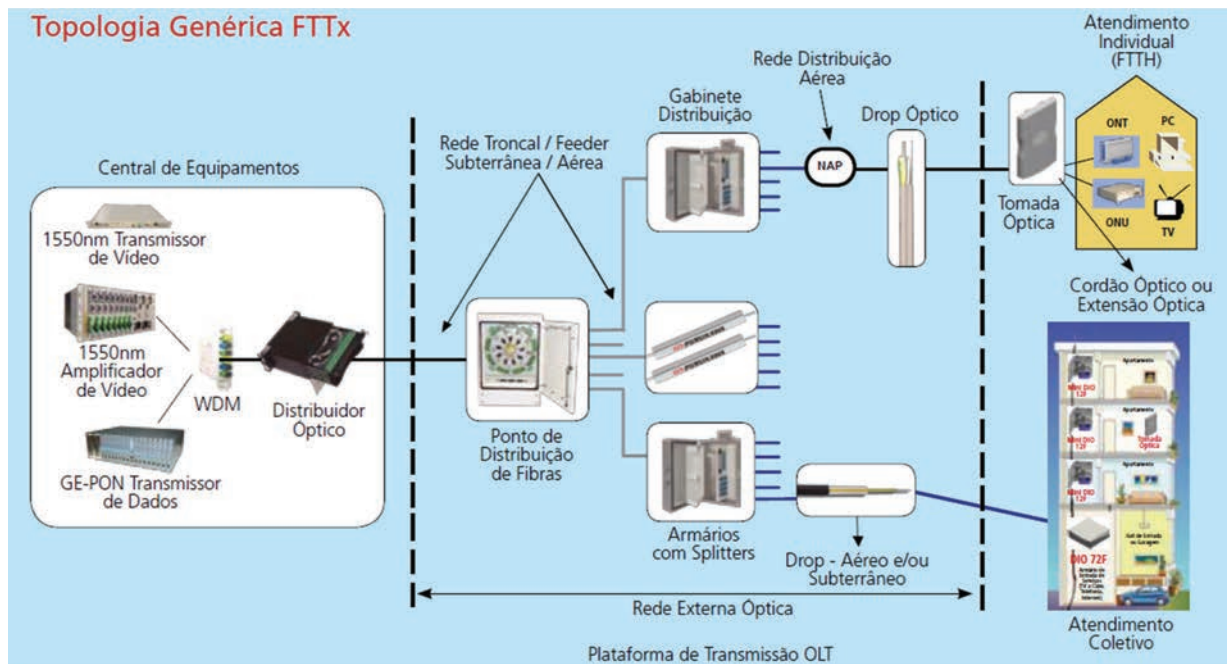
Figura 19 - Evolução das normas ITU PON.



Fonte: (FTTH COUNCIL EUROPE, 2014)

Entra-se no detalhe prático de algumas instalações usuais caminhando em direção ao usuário final de acordo com o esquemático geral apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Estrutura sistema óptico.



Fonte: (FURUKAWA, 2009)

Tem-se o nó de acesso, às vezes referido como ponto de presença (POP), Figura 21, é o ponto de partida da fibra óptica, nele alojam-se todos os componentes ativos do sistema, seu tamanho varia com a capacidade da rede, deve ser uma área segura que contem controladores de clima e fonte de alimentação ininterrupta (UPS).

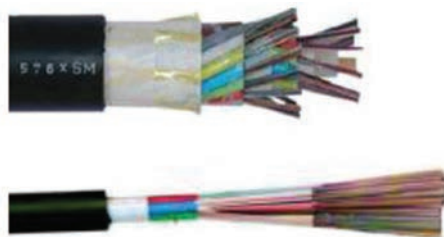
Figura 21 - Ponto de Presença.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Depois vem a rede tronco que pode cobrir distâncias de vários quilômetros, Figura 22, no caso de uma rede ponto a ponto pode conter centenas de fibras, chegando a 864, para aplicações PON com divisores, consegue-se diminuir o tamanho desses cabos.

Figura 22 - Cabo de fibra de alta contagem.

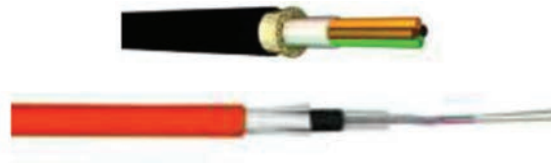


Fonte: (ZHAO, 2014)

No ponto de concentração primário (FCP) esses cabos vão ser separados em grupos de distribuições menores, Figura 23. Este já está posicionado o mais perto possível do destino para redução de custos e deve possuir flexibilidade permitindo conexão rápida e reconfiguração dos circuitos de fibra. Podem ser cabos subterrâneos, terminados em postes ou

um possível armário de rua. Indo desses pontos FCP, novamente, um conjunto de fibras é organizado em cabos menores, com menos fibras e que não excedem distâncias de 1 km. Seguindo o fluxo, pode haver o ponto de concentração secundário, semelhante ao primário ainda em um ponto mais estratégico, é projetado para lidar com um pequeno número de fibras e emendas. E finalmente, o cabeamento que não ultrapassa 500 metros, vai do último FCP até o assinante, é exigida rápida implantação e ligação, sendo estes diretamente instalados ou enterrados, em fachadas ou aéreos.

Figura 23 - Cabos de distribuição, protegidos ou não, com metal para serem enterrados.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Outro elemento importante da rede são os armários de rua, que podem ser instalados abaixo ou acima do nível do solo, a instalação acima traz o problema de vulnerabilidade, a solução é a implantação subterrânea com uma única indicação na tampa de bueiro, que permite que o gabinete seja levantado quando necessário. Esse componente é montado na fábrica e testado, para facilitar ao máximo sua instalação e reduzir incidências de falhas no local. Geralmente é visto como ponto de fácil reparo da rede de fibra.

Prosseguindo com uma visão de projeto, apoiando-se em fatores do tipo, arquitetura de rede, tamanho da rede, e a vida útil do projeto, escolhe-se o tipo de fibra, na maioria das vezes o sistema FTTH é baseado em fibras monomodo, em algumas situações específicas se utiliza fibra multimodo. Outros parâmetros influentes são atenuação que reduz a potência óptica à distância e dispersão que é atraso na propagação de um impulso na transmissão.

As fibras monomodo possuem um núcleo com até 10 μm , suportando apenas o modo padrão, tem menor atenuação e maior largura de banda. Para aplicações desse tipo seguem-se as recomendações do ITU-T G.652 e G.657. Enquanto para fibras multimodo têm-se as especificações de taxa de dados e alcance na ISO / IEC 11801.

Para aplicações no interior de prédios, muitas áreas apresentam instalação cuidadosa e habilidosa e é difícil para as fibras convencionais, no entanto, existem fibras capazes de operar com um raio de curvatura menor do que 7,5 mm, são chamadas *bend-insensitive*.

Essas fibras se reúnem nos quadros de distribuição óptica (ODF- *optical distribution frame*), fazendo a interface dos cabos de alimentação com os equipamentos ativos, em um

único gabinete encontra-se até quatro mil fibras. Esses ODFs são equipados com aparelhos de refrigeração e fontes (UPS), Figura 24. E outro ponto de distribuição mais relacionado com o usuário, são os já citados armários de rua, Figura 25, caixas de metal ou plástico, com acesso rápido, normalmente atendem de 24 até 96 clientes.

Figura 24 - Exemplo de ODF.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Figura 25 - Armário típico de rua.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Esses cabos externos quando chega nessas unidades de distribuição precisam se conectar com outros cabos, ou até mesmo com componentes ativos. A união é feita com conectores de encaixe, exemplificados na Figura 26. Existem normas que definem os padrões geométricos para os conectores de fibra, IEC 61755-3-1 e IEC 61755-3-2, com a intenção de existir uma base de compatibilidade. E as perdas são definidas com as exigências do IEC 61753.

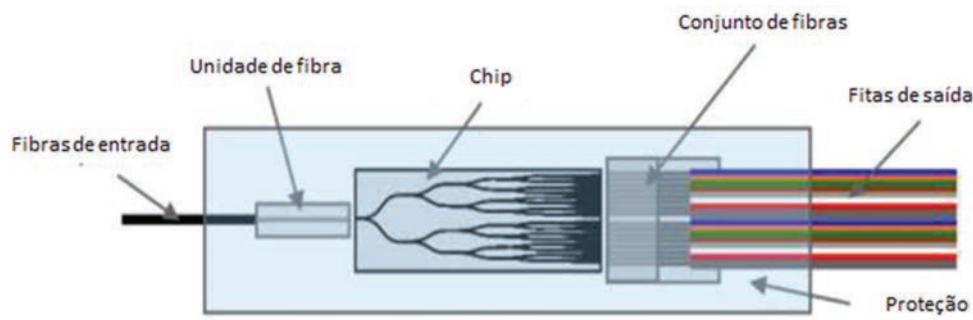
Figura 26 - Conectores.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Os divisores passivos, *splitters*, constituem-se de uma ou duas fibras na entrada e um número especificado de fibras na saída, Figura 27, utilizando tecnologia de guia de onda e chip de sílica, por exemplo, estão disponíveis nas razões de 1x4 até 1x32, podendo haver construção em cascata.

Figura 27 – Estrutura *splitter*.



Fonte: (FTTH COUNCIL EUROPE, 2014)

Finalmente após as especificações de um projeto é preciso atentar-se as práticas de manutenção e garantir que o sistema opere com a qualidade desejada. Alguns parâmetros são fundamentais para assegurar um bom funcionamento, entre eles, a potência do transmissor, as influências que ele sofre com a temperatura e o envelhecimento, garantir que os conectores e emendas são de qualidade, considerar as perdas nas fibras e efeitos de temperatura nos cabos, sensibilidade do receptor e de uma maneira geral o que se refere a margens de segurança e reparos. Do mais, técnicas de medição de energia são usadas para detectar falhas nas redes PON.

4.1 CABOS

As fibras são instaladas em diversas aplicações, desde equipamentos de telecomunicações em um ambiente interno passando por dutos, instaladas em postes ao ar livre e em maiores proporções em oceanos. Quando produzidas já apresentam estrutura de proteção e a fim de atender a cada particularidade, têm-se diferentes cabos de fibras ópticas.

Alguns parâmetros devem ser respeitados na fabricação desses cabos, um deles é a máxima carga axial admissível determinando o comprimento do cabo, utiliza-se entre 0,1% e 0,2% de alongamento na fabricação e instalação.

Outro elemento que depende totalmente da aplicação é o material que irá compor este cabo, podendo ser cobre, aço, plástico ou fios sintéticos.

Para diferenciar suas aplicações exemplificam-se alguns casos genéricos de estruturas de cabos.

4.1.1 Cabos de buffer firme

Utilizados em aplicações internas. As fibras são encapsuladas individualmente. Com um tampão de plástico e dimensões de quatro a cinco vezes maiores que o material de revestimento protetor, e ainda existe uma camada de proteção externa de PVC. Suportam umidade e com relação aos conectores podem ser encaixados diretamente.

4.1.2 Cabos de tubo solto

Estes permitem aplicações ao ar livre e não se limitam a pequenas distâncias. O revestimento não necessariamente é de forma individual, e devido a sua utilização é projetado para suportar as alterações de temperatura, ventos, acúmulo de gelo e até mesmo ação de roedores, diferente da primeira classificação possuem na estrutura um gel e as fibras podem se mover.

4.1.3 Fitas de fibras

Os cabos com o passar do tempo precisavam conter grande número de fibras cria-se então a estrutura fita de fibras, são fibras alinhadas e encapsuladas linearmente, normalmente com número de fibras entre 4 e 12, consegue-se também arranjos mais densos agrupando várias dessa estrutura.

4.1.4 Cabos internos

São os cabos leves, compactos e flexíveis. A maioria é estruturado da forma buffer firme, individualmente ou em pequenos grupos, em alguns casos alcançam 12 fibras reunidas,

com fáceis instalações de conectores, por vezes possuem conectores em ambas as extremidades, usados em conexões dentro de escritório por exemplo.

Três principais tipos, cabo de interconexão, *breakout or fanout* e cabo de distribuição.

4.1.5 Cabos externos

Geralmente cabos sustentáveis estruturados em tubo solto. Dependendo da especificidade exigida podem ser autossustentável, com elemento rígido internamente e possuir mais camadas protetoras e de blindagens. Principais tipos, cabo aéreo, blindado e subaquático.

4.2 INSTALAÇÕES DE CABOS

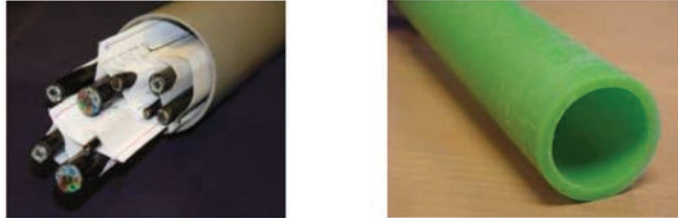
Para esta etapa o principal é respeitar os procedimentos de precauções como, não permitir dobras acentuadas, permitir folga para casos em que se precisa adicionar um cabo ou fazer reparos, e assim tomar cuidado com as tensões e as forças de tração no cabo.

Existem alguns tipos de instalações padrões entre eles, cabos são enterrados diretamente no solo, através de um arado realiza-se esta operação que é comum em zonas rurais, ou podem-se abrir valas de forma a tornar o procedimento mais complicado, mas ao mesmo tempo mais seguro. Constroem-se dutos, por exemplo, em ruas movimentadas, e para facilitar a instalação pode-se citar um método alternativo de jateamento do cabo, que através de ar de alta pressão sopra o cabo para que ele percorra o duto. Outro tipo de instalação é a aérea, que pode ser com um cabo autossustentável entre postes, ou amarra-se o cabo sobre um fio de aço para o mesmo efeito. E finalmente, os cabos submarinos recebem uma instalação através de navios. Próximo à costa do mar os cabos precisam ser enterrados para proteção, mas no meio do oceano o mesmo fica exposto. Quanto a esta última instalação é importante ressaltar o crescimento deste tipo de instalação e a grande quantidade de cabos que já atravessam os oceanos ao redor do mundo.

Descrevem-se algumas técnicas de implantação usualmente empregadas. O método mais convencional, implantação por dutos, pode ser em dutos já existentes, para uso de um único cabo, com dimensões de 25 a 50 mm de diâmetro exterior, ou ainda dutos com sub dutos em seu interior com o diâmetro variando entre 60 e 110 mm, e os sub dutos indo de 20 a

40 mm, são flexíveis compostos de nylon/poliéster enquanto o duto principal é feito de PVC, observa-se exemplos na Figura 28. Os cabos são instalados puxando ou soprando. A parede interna possui revestimento de baixo atrito, e em alguns casos são lubrificadas.

Figura 28 - Duto principal com nove sub dutos e duto flexível.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Os cabos instalados em dutos são os mais variados, normalmente revestidos e não metálicos, só vão conter elementos de aço ou cobre para casos de maior resistência, cabos soprados precisam ser leves com certo grau de rigidez para auxiliar no processo. Enquanto os que são puxados precisam ser mais fortes, e deve observar as informações do fornecedor para não exceder a tração. Hoje em dia, as instalações por sopro de ar vêm se destacando. E outra opção, incomum na prática, é a substituição do ar por água e a instalação é feita de forma flutuante. Dois tipos principais, tubo solto, que é de plástico com tipicamente 12 fibras e fitas de fibras, contém múltiplas fibras com revestimento de proteção.

Novas técnicas vêm sendo desenvolvidas, como exemplo, temos os cabos '*de-coring*', uma técnica que pode ser de 40 a 90% mais barato, além de ser concluída muito mais rápida. Consiste em acessar os cabos de cobre que serão substituídos por fibras, em dois pontos de 50 a 400 metros de distância, um líquido de lavagem é bombeado sob pressão entre o cabo e o núcleo, extrai-se o núcleo e essa antiga capa é preenchida com fibra.

Outra técnica de implantação envolve micro cabos em micro dutos, utiliza-se ar comprimido para que os cabos de pequenos diâmetros cheguem rapidamente até o assinante. Minimiza assim os números de junções soprando por longos comprimentos de tubos.

Os micro dutos são leves e flexíveis, geralmente possuem diâmetro menor do que 16 mm, por exemplo, 10 mm de diâmetro externo e 8 mm interno. Podem ser soprados diretamente em dutos maiores, os de parede espessas não precisam ser soprados, podem ser instalados perto da superfície, sobre longas distâncias em pacotes de 2, 4, 6, 7, 12 ou 24, ou ainda individualmente para distâncias curtas. E oferecem soluções simples para ramificações, podem ser unidos usando conectores especializados, versões de água ou gás, com ramificação

no formato Y. Quanto à unidade das fibras tem-se, por exemplo, 96 fibras de 6,4 mm de diâmetro em um micro cabo de 10 mm / 8 mm, outras unidades na Tabela 2.

Tabela 2 – Fibras no micro duto.

Fibras no micro duto			
Diâmetro externo do micro duto (mm)	Diâmetro interno do micro duto (mm)	Número de fibras	Diâmetro do cabo (mm)
16	12	24 – 216	9,2
12	10	96 - 216	6,5 – 8,4
10	8	72 – 96	6 – 6,5
7	5,5	48 – 72	2,5
5	3,5	6 – 24	1,8 – 2
4	3	22 - 12	1 – 1,6

Fonte: (FTTH COUNCIL EUROPE, 2014)

Os cabos enterrados diretamente no solo precisam da garantia que o terreno não é utilizado para qualquer tipo de serviço de escavação. Do contrário consiste em uma técnica segura e simples, onde o principal é a abertura de uma vala estreita, esse procedimento pode ser feito de várias maneiras. As composições desses cabos dependem da aplicação, para casos em que o solo tem mais pedra, por exemplo, exigem-se cabos mais robustos.

Os cabos aéreos, apoiados em postes ou torres, é um dos métodos de melhor custo benefício devido à instalação em uma infraestrutura já existente, e as práticas já são familiares. Isso torna esta técnica rápida e fácil de instalar. É importante verificar a capacidade deste poste, e observar que os cabos para esta instalação são um pouco mais complexos, incluindo isolamento elétrico e ser autossustentável, muitas vezes presos aos postes devem resistir às mudanças climáticas, suportando a carga extra em alguns casos. E outro ponto comparando-o com as demais instalações é a susceptibilidade ao vandalismo.

Além dessas rotas tradicionais vale citar outros pontos de acesso a serem explorados, entre eles, sistemas de esgotos, essa infraestrutura acessa quase todos os pontos da cidade, reduz o custo de instalação e a maioria dos túneis tem uma seção transversal suficiente para implantação da rede, uma das técnicas possível é a fixação dos cabos na parede interna do tubo de esgoto. Conduitas de gás, tubulações de água potável, túneis subterrâneos e de transporte, todos esses utilizam uma estrutura já construída, devendo levar em consideração a particularidade de cada situação.

4.3 EMENDAS E CONECTORES

4.3.1 Emendas

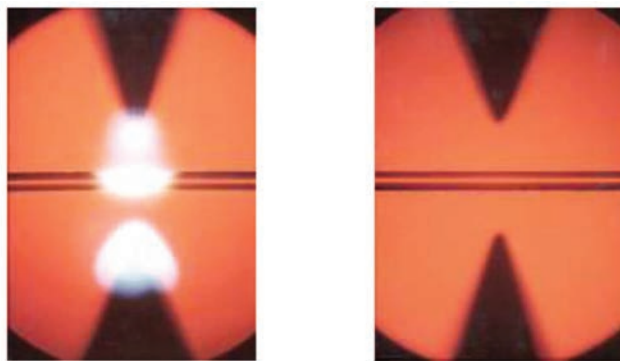
As emendas em fibras ópticas são feitas por fusão, emendas permanentes, ou de forma mecânica, em canaleta V ou tubo elástico, podendo ser desfeitas, mesmo que na maioria das vezes não se deseja esta desconexão. O mais importante é o alinhamento para realizar-se a junção e as perdas resultantes.

Detalhando um pouco mais cada caso, emenda por fusão precisa-se do alinhamento das fibras e então se efetua colagem térmica que a princípio resulta poucas perdas, mas essa técnica exige muita precisão e em oposição a sua boa aplicação os resultados são emendas fracas ou partículas presas na emenda.

As emendas mecânicas em canaleta V também precisam que as fibras estejam alinhadas, e um adesivo é aplicado para junção, a perda vai estar relacionada diretamente com o comprimento da fibra e da sua excentricidade. As emendas em tubo elástico apresentam vantagens com relação às técnicas anteriores já que se alinham as fibras automaticamente e exigem menos equipamentos e habilidades, além das fibras não precisarem ter diâmetros iguais.

Na Figura 29, tem-se a técnica de fusão com a estimulação do arco elétrico com perdas resultantes nessa emenda menor do que 0,1 dB. E a mecânica baseia-se no alinhamento das extremidades, com perdas de no máximo 0,5 dB.

Figura 29 - Arco de fusão.



Fonte: (ZHAO, 2014)

4.3.2 Conectores

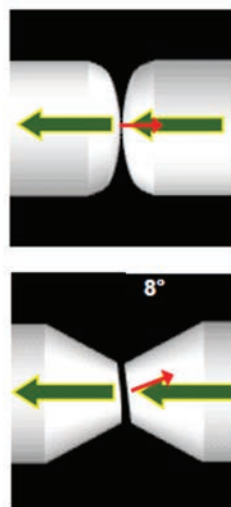
Os conectores devem acompanhar todo desenvolvimento tecnológico das fibras e suas aplicações. Procuram-se alguns benefícios ao se utilizar diferentes conectores, citam-se, as baixas perdas e forte adaptabilidade em diversos ambientes, a compatibilidade entre diferentes fabricantes e aplicações simples.

A maioria dos conectores são compostos de um longo cilindro de aço inoxidável, vidro, cerâmico ou plástico. Define-se como *ferrule* o material que possui um orifício para encaixe da fibra, e é envolvido por uma luva de alinhamento. Outro tipo que se torna interessante com menor dependência de alinhamentos é o acoplamento com conector de saída de feixe expandido, com lentes que colimam e focam o feixe de luz.

As perdas resultantes nessas junções podem ser do tipo perda de retorno, expressa em dB e ilustrada na Figura 30, caracteriza-se pela luz que é refletida de volta para a fonte.

Quanto maior essa perda menor a reflexão, utiliza-se técnicas de polimento que podem resultar em duas junções, a primeira com polimento convexo para assegurar o contato, é chamada de contato físico e as perdas de retorno variam entre 35 e 50 dB, na segunda forma-se um ângulo de 8 ou 9 graus em relação ao eixo da fibra chamado de contato físico angular tem perdas entre 60 e 90 dB mas esses modos nessa configuração não são transportados de volta na fibra, e as fibras multimodo apresentam de 20 a 40 dB. E a própria fibra apresenta essa perda, 79,4 dB para 1.310 nm, 81,7 dB para 1.550 nm e 82,2 dB em 1.625 nm.

Figura 30 – Perda de retorno.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Têm-se também perdas por inserção, Figura 31, calculada a partir da razão entre a potência de luz no núcleo das fibras antes e depois de passar pela ligação. Os valores típicos se encontram na gama de 0,1 a 0,5 dB. No mercado esses valores podem vir especificados com valores negativos, mas a perda física é a mesma.

Figura 31 – Perdas por inserção.



Fonte: (ZHAO, 2014)

Quanto maior a precisão com que se unem os núcleos das fibras menos luz se perde, utilizam-se anéis de cerâmica envolvendo o núcleo da fibra e as perdas extrínsecas vão resultar de erros angulares, de desalinhamento e rugosidades. Os principais fatores que se monitoram são os erros angulares que não devem passar de $0,3^\circ$ e os de concentricidade que pode variar entre 1 e $1,6 \mu\text{m}$ (IEC 61755-3-1 + 2).

Os conectores precisam de excelente precisão para evitar perdas por inserção, de retorno ou de estabilidade mecânica. As figuras representando os vários tipos encontram-se no Quadro 3. Os conectores *straight tip* (ST - IEC 61754-2), devido à configuração de *ferrule*, popular nas aplicações de telecomunicações que para encaixe deve-se empurrar e depois torcer os primeiros e que ainda são encontrados em todo o mundo, o DIN/LSA (IEC 61754-3) um conector alemão com acopladores de rosca, *square conector* (SC - IEC 61751-4) também na classe de antigos ganha popularidade até hoje devido as suas ótimas propriedades e é recomendado para novas instalações, utilizado em espaços densos devido a sua maior praticidade com relação ao ST. O *miniature unit* (MU - IEC 61754-6) primeiro conector com dimensões otimizadas. *Multiple fiber push-on/pull-off* (MPO - IEC 61754-7) conectores de múltiplas fibras, simples e de fácil manuseio conecta até 72 fibras. FC (IEC 61753-13) modelo robusto que ainda é usado em muitas aplicações, mas não em redes modernas. LSH ou E-2000 TM (IEC 61753-15) alcança grande desempenho de proteção. *Media termination recommended jack* (MT-RJ - IEC 61751-18) comumente usado em redes locais, para conexão em mídia, tecnologia menor e mais barata. *Lucent connector* (LC - IEC 61754-20) faz parte da nova geração de compactos bastante atraentes, desenvolvido pela Lucent ajusta em seis posições para melhor alinhamento das fibras e menores perdas. F-SMA (IEC 61754-22) com poucas aplicações hoje em dia. BLINK (IEC 61754-29) também com tamanho reduzido com

precisos mecanismos de proteção. LX 5 (IEC 61754-23) pequenas dimensões. SC-RJ (IEC 61754-24) é robusto e versátil.

Quadro 3 - Tipos de Conectores.

Conector ST e Adaptador / engate	
Conector SC e Adaptador / acoplador	
Conector MPO	
Connector FC e Adaptador / acoplador	
Connector E-2000TM e Adaptador / acoplador	
Conector LC e Adaptador / engate	
Conectores BLINK Adaptador híbrido / acoplador	
Conector LX.5 e adaptador / acoplador	
Conector SC-RJ e adaptador / acoplador	

Fonte: (ZHAO, 2014)

4.4 ATENUAÇÃO E DISPERSÃO

No nível de projeto, o objetivo é estabelecer uma distância máxima entre transmissor e receptor, de forma que o sinal chegue ao receptor com certa potência mínima exigida, e um fator importantíssimo é a atenuação do sinal. Sem contar que fatores de dispersão estão relacionados com o desempenho do sistema no geral e não se podem ignorar as perdas nas emendas e conexões, nas fontes e receptores. Muitos são os mecanismos de perda em fibras ópticas podendo ser relacionados ao material, a geometria ou as imperfeições de guia de onda. É importante diferenciar que atenuação está relacionada a perdas de transmissão e dispersão com capacidade de transmissão.

4.4.1 Atenuação

Alguns fatores são determinantes para o aparecimento deste fenômeno, entre eles, absorção intrínseca ou extrínseca do material, a primeira depende apenas do material utilizado, a segunda relaciona-se com as impurezas e um terceiro tipo pode aparecer com as imperfeições, sendo assim depende exclusivamente da qualidade com que a fibra é fabricada. Outros fatores são as perdas por curvatura, dobras macroscópicas quando se tem raios grandes comparados ao diâmetro da fibra, ou curvas microscópicas com raios pequenos próximos ao raio do núcleo da fibra. Ou ainda, espalhamento linear ou não linear, decorrentes de variações microscópicas na densidade do material ou por falhas na estrutura, são significativos nas fibras monomodo.

4.4.2 Dispersão

Os modos se propagam com velocidades diferentes e isso pode impactar em atrasos resultando na dispersão dos modos. Entre os efeitos estão o espalhamento dos feixes, aumento na taxa de erro de bits e redução na taxa de transmissão. Podendo ocorrer dispersão modal, material ou de guia de onda. A primeira, apenas em fibras multimodo é devido a cada modo, numa mesma frequência, apresentarem uma velocidade diferente. A segunda, mais influente nas fibras monomodo com LED, cada componente espectral de um modo tem uma velocidade que depende do comprimento de onda, e o índice de refração varia com o comprimento de onda. E a última, também com efeitos mais relevantes nas fibras monomodo, é devido à potência óptica estar distribuída entre a casca e o núcleo, que possuem índices de refração distintos.

5. FTTH NO MUNDO

O FTTH já se faz presente em todo o mundo, para possível dimensionamento comparam-se dados dos anos de 2013 e 2014 e verifica-se o crescente aumento de usuários que se beneficiam desta transmissão.

Na América do Norte, o número de casas passadas cresceu 20% de um ano para o outro, e no número de assinantes o crescimento como um todo foi 16%, sendo grande concentração nos EUA.

Na Ásia Pacífico, segundo a consultoria de mercado Ovum, no final de 2014 tinham-se cem milhões de conectividade.

O Oriente Médio e o Norte da África, no mesmo período cresceram 33% no número de assinantes, alcançando 1,7 milhões, e 35% no número de casas passadas, chegando em 4,1 milhões de casas.

Na América Latina, analisam-se na Tabela 3 os números de assinantes e casas passadas. No final de 2014 alcançou-se o número de aproximadamente 15 milhões de casas por onde passa a tecnologia e 2,7 milhões de assinantes que estão conectados a essas redes. Com uma taxa de utilização de exatamente 17,7% da rede instalada. Com relação a dezembro de 2013 a taxa de aumento de casas passadas fica em torno de 46% enquanto o aumento de assinantes foi de 57%. (LATAM, 2015)

Tabela 3 – Estatística FTTH/B nos países americanos.

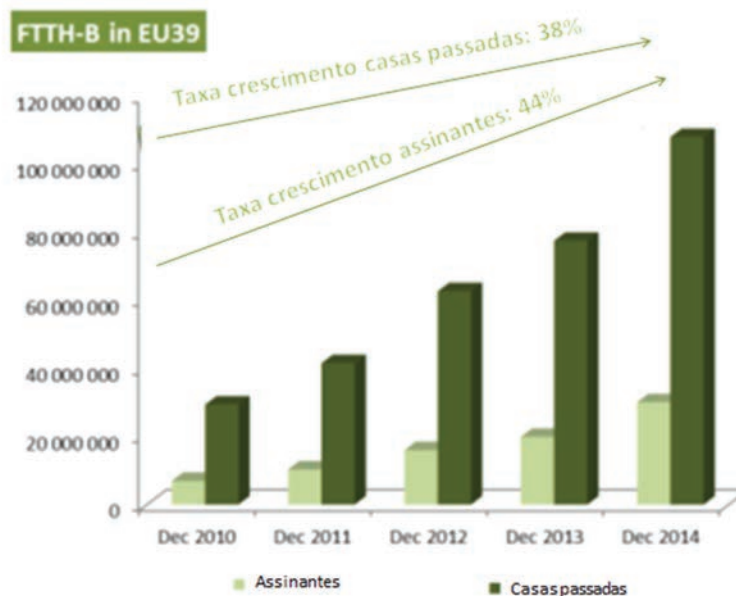
Estatística FTTH/B nos países americanos		
PAÍS	ASSINANTES	CASAS PASSADAS
México	910.000	4.800.000
Porto Rico	13.550	21.600
Equador	645.000	360.000
Jamaica	2.000	20.000
Uruguai	502.000	1.197.000
Granada	0	0
Trinidad e Tobago	5.000	40.000
Barbados	3.600	81.000
Panamá	0	0
Chile	133.700	461.000
República Dominicana	50	3.800
Bolívia	0	6.500
Brasil	947.500	5.850.000

Argentina	45.050	1,196.000
Costa Rica	3.000	93.000
Colômbia	27.000	866.000

Fonte: (FTTH COUNCIL AMERICAS, 2015)

Já na Europa em 2014 o IDATE analisou 39 países, chegando ao número de 30,2 milhões de assinantes (*subscribers*) e 108,1 milhões de casas passadas (HP *home-passed*), este número representa 27,9% das casas europeias, e do número de assinantes, 34% são novos em 2014, só a Rússia registrou 4,46 milhões no ano de 2014. A Figura 32 traz a taxa de crescimento anual composta.

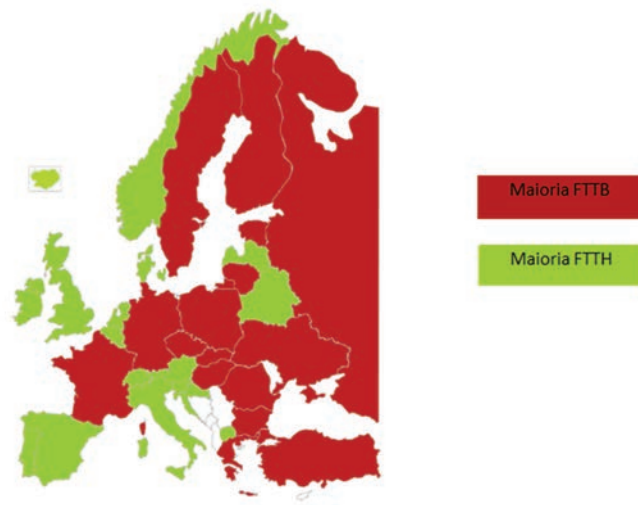
Figura 32 – Expansão do FTTH/B na Europa.



Fonte: (MONTAGNE, 2015)

Tem-se 59% FTTB e 41% FTTH, semelhantemente, 34% PON e 66% P2P. Comparativo na Figura 33, as áreas com predominância de FTTB em vermelho e de FTTH em verde. Rússia ainda é o país que mais se destaca seguido pela Romênia. Sete países possuem mais de um milhão de assinantes. A cobertura de FTTH/B fica por volta de 33% do continente.

Figura 33 – Domínio das coberturas FTTH e FTTB na Europa.



Fonte: (MONTAGNE, 2015)

E os principais países tem a porcentagem de cobertura descrita na Tabela 4. No final de 2014 na Europa registra-se por volta de 330 projetos de FTTH/B.

Tabela 4 – Maior cobertura FTTH/B na Europa.

Maior cobertura FTTH/B na Europa	
PAÍSES	COBERTURA FTTH/B
Letônia	100%
Lituânia	100%
Andorra	100%
Portugal	90%
Espanha	74%
Rússia	72%
Suíça	70%
Ucrânia	62%
Bulgária	59%
Islândia	55%

Fonte: (MONTAGNE, 2015)

5.1 ESTUDO DE CASO SUÍÇA

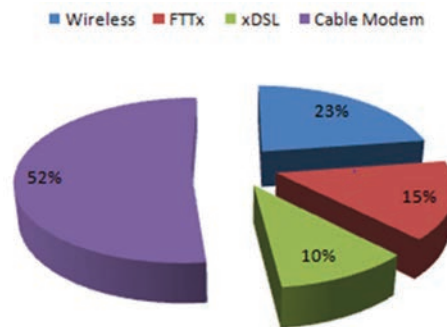
O estudo aqui relatado consta na coleção de estudo de caso de fevereiro de 2015 do FTTH *Council Europe* e foi escrito em janeiro de 2014. O que mais chama a atenção inicialmente é o fato de se tratar de um projeto que deu certo, que está se espalhando nas cidades vizinhas e ainda tem muita perspectiva futura.

O projeto a princípio chamava *Mälarenergi Stadsnät* e recentemente passou a ser conhecido como *Stadsnät i Svealand*, nomes das empresas provedoras da rede. Ele acontece em quatro cidades da Suécia, *Västerås* (141 mil habitantes), *Hallstahammar* (15 mil), *Eskilstuna* (100 mil) e *Arboga* (13 mil). A primeira cidade citada foi pioneira na Suécia com a implantação do sistema FTTH, no ano de 2000, e hoje com 60% de cobertura começa a envolver cidades vizinhas com um compartilhamento ativo da rede. De forma a permitir que outras empresas de telecomunicações tornem-se sócias do projeto proporcionando sua ampliação. Até janeiro de 2014 tinha-se uma rede nas três cidades, excluindo *Arboga*, utilizando arquitetura Ethernet, com taxas de transmissão nas redes de transporte de 1 Gbps e chegando ao usuário uma conexão de no máximo 100 Mbps de downstream, variando de acordo com o serviço contratado, custando uma média de 40 euros mensais. Os prestadores deste serviço, que são mais de 35, pagam uma taxa fixa de 2.970 euros para ter acesso a uma rede aberta. Fisicamente têm-se dutos para passagem das fibras, com espaço para inclusão de mais fibras com o tempo. Ao todo, 19 mil conexões em serviços públicos, 2.500 empresas, capacidade para 60 mil conexões residenciais e atualmente 30 mil já ativas com os assinantes. Um projeto que custou nos últimos dez anos, cinquenta milhões de euros. Prometendo aos sócios envolvidos um retorno sobre o investimento em um prazo de sete a dez anos. (CASE, 2014)

6. FTTH NO BRASIL

O ano de 2014 foi encerrado com quase 24 milhões de acessos de banda larga fixa no Brasil, analisa-se esse crescimento na Figura 34. No decorrer de 2014 os acessos FTTx, (fibra e *hybrid fiber coaxial* - HFC) cresceram 34,37%. São 248,7 mil novas conexões com essas tecnologias e 972,6 mil conexões no total. (ENTELCO, 2015)

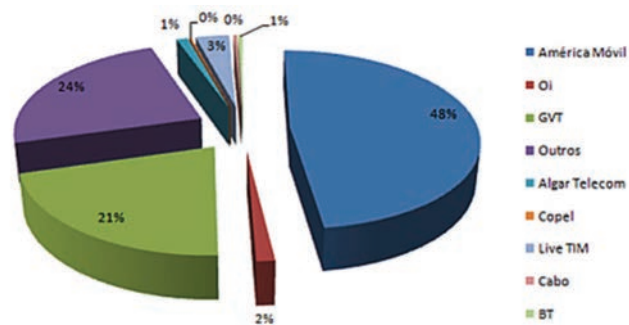
Figura 34 – Crescimento acesso banda larga Brasil por tecnologia.



Fonte: (ENTELCO, 2015)

E analisando por grupos econômicos tem-se o cenário da Figura 35.

Figura 35 – Crescimento acesso banda larga Brasil por grupo.



Fonte: (ENTELCO, 2015)

Como já citado anteriormente, existem organizações em prol do avanço da tecnologia de transmissão por fibra óptica. O Brasil se enquadra no grupo LATAM, na última edição da revista divulgada por esta organização têm-se alguns destaques da situação atual do avanço da fibra na América Latina. Particularmente no Brasil temos o cenário do final de 2014 retratado na Tabela 5.

Tabela 5 – Brasil FTTH/B e FTTx – Dezembro 2014.

Brasil – Dezembro 2014		
DADOS FTTH/B	ASSINANTES	CASAS PASSADAS
Total FTTH/B no Brasil	947.500	5.850.000
OI	30.000	300.000
Telefônica Brasil	380.000	4.000.000
Tim Brasil	3.000	50.000
Outros	534.500	1.500.000
OUTRAS ARQUITETURAS	ASSINANTES	CASAS PASSADAS
Total outros FTTx no Brasil	482.000	8.690.000
GVT	42.000	500.000
Telefônica Brasil	100.000	NA
Net Serviços	90.000	5.000.000
Tim Brasil	140.000	1.390.000
OI	110.000	1.800.000

Fonte: (LATAM, 2015)

Descrevem-se as empresas que mais se destacam na expansão dessas redes por todo o país, avaliando o quanto já desenvolveram e as perspectivas futuras.

A maior operadora de telefonia fixa no Brasil é a Oi, que em maio de 2011 consolidou-se com outras empresas e se tornou grande destaque com o serviço de banda larga. Esta anunciou em 2011 um investimento de R\$ 24 bilhões em redes fixa e móvel, para priorizar o FTTH até 2015. E até o final deste ano o plano é uma expansão de 2,5 milhões de casas. A Oi iniciou com a implantação dessa tecnologia em dezembro 2012, lançou o plano Velox Fibra e oferece internet até 200 Mbps, começou no Rio de Janeiro, passou por Belo Horizonte e mais tarde atingiu outras cidades. Dispondo também de tecnologia FTTC, com velocidades de 70 Mbps.

A Telefônica, atualmente VIVO, desde 2010 vem fortemente investindo e crescendo com essa implantação, no final de 2010 consta que haviam 13 mil assinantes na cidade São Paulo, Campinas e Santos acessando com FTTH. Em 2011 o investimento chegou a duzentos milhões de reais e na metade do ano de 2011 esse número alcançava os quatrocentos mil e até o final de 2011 a empresa era responsável por um milhão de acessos ligados a esse tipo de rede, presente em aproximadamente 15 cidades, em dezembro de 2013 a mesma atingia dois milhões de famílias com o FTTH, e continuou a expansão dobrando esse número até dezembro de 2014, chegando em 36 cidades. Com a compra da GVT a telefônica se fortaleceu ainda mais. A GVT cobria, em 2014, 156 cidades e havia anunciado um investimento em FTTH no valor de dois bilhões. A partir de 2016 espera-se que Araraquara seja a primeira

grande cidade 100% coberta por FTTH. A VIVO oferece internet de fibra com planos de 100 e 200 Mbps.

A Tim Brasil desde que comprou a empresa AES Atimus em 2011 vem se beneficiando da estrutura 5,5 km de fibra que esta havia construído em São Paulo e no Rio de Janeiro. Preferiu expandir redes de FTTC e no final de 2013 declarou que possuía 44% das redes de fibra nas duas capitais. Mas no final de 2012 investiu em redes FTTB para fornecer ao usuário de 50 a 100 Mbps. Em 2013 atingia mais de 38 cidades, pretendendo aumentar esse número para cem em 2016. No ano de 2014 implantava projetos de FTTC e FTTB por muitas áreas ao redor de São Paulo e Rio de Janeiro, visando até projetos em áreas rurais, houve também implantação em 27 municípios no Amazonas, Pará e Amapá. Hoje oferece planos de 35, 50, 70 e 90 Mbps.

A Net Serviços de Comunicações é a primeira em número de assinantes de CATV, abrangendo cem cidades. Desde 2008 já oferece serviços de banda larga ultrarrápida, na época atingia 60 Mbps. Até 2012 sua infraestrutura de fibra alcançava 42 cidades em todo o país, com 11,5 milhões de casas conectadas.

E mais centenas de empresas espalhadas por todo o Brasil fazem a implantação de FTTH. Como exemplo, América Net que investiu um total de 10,5 milhões em sua rede de fibra para alcançar até o fim de 2011 cinco mil clientes corporativos. Copel Telecom controlada pelo governo do Paraná investiu inicialmente cem milhões de reais em 2011, garantindo cobertura 100% de fibra para clientes corporativos, até 2014 alcançou 399 municípios, disponibilizando até 100 Mbps. E a meta é atingir até o final de 2015 o número de vinte mil assinantes. Sercomtel é outra empresa do Paraná que está presente em 13 municípios oferecendo 200 Mbps. Algar Telecom (antiga CTBC) realizou a implantação de rede de fibra em Uberlândia, Uberaba e Franca com planos de *Ultra Broadband* e velocidade de 100 Mbps. Segue na Tabela 6 levantamento feito nos *sites* de cinco das principais empresas de serviços de telecomunicações no Brasil, os planos estão disponíveis para internet, não foram considerados planos “combo”.

Tabela 6 - Serviço de banda larga oferecido.

	Serviço de banda larga oferecido														
	2 M	10 M	15 M	25 M	30 M	35 M	50 M	60 M	70 M	90 M	100 M	120 M	200 M	300 M	1 G
GVT				69,90		79,90	99,90				119,90		199,90	299,90	
NET	39,90		89,90		109,90			139,90				319,90			
OI	49,90	59,90	69,90												
TIM						79,90	99,90		119,90	139,90					1499,90*
VIVO							89,90				129,90		259,90		

*taxa de habilitação R\$ 3.000,00

Fonte: (GVT; NET; OI; TIM; TELEFONICA, 2015)

O governo brasileiro lançou o Plano Nacional de Banda Larga (PNBL) que deve ser implantado pela Telebrás, com o apoio das empresas Petrobrás e Eletronet. O plano consiste em um *backbone* de fibra de 4.224 cidades, distribuindo fibra por 35 mil km e pelo menos 40 milhões de famílias deve se beneficiar da tecnologia FTTH. O objetivo do governo é assegurar o acesso às famílias de baixa renda e até mesmo em áreas rurais. E incentivar as operadoras a atuarem com esses clientes, com isenções fiscais por exemplo. Estima-se velocidade mínima de 1 Mbps e preço em torno de R\$ 35,00 por mês, e em 2014 essa velocidade aumentaria para 5 Mbps.

Como em março de 2013 o número de beneficiários só alcançava 10,6 milhões o governo aprovou reduções fiscais para redes de telecomunicações e está pensando em um novo projeto de lei que garanta acesso universal as redes de banda larga e de maneira geral torne uma parte obrigatória de implantação de FTTH.

As pesquisas recentes divulgadas pela ANATEL revelam a crescente demanda do país por tecnologias como TV por assinatura e banda larga cada vez mais rápida.

Analisando TV por assinatura, de junho de 2014 até junho de 2015 assiste-se um aumento no número de assinantes de 3,36% e em junho de 2015 o IBGE divulga que a cada cem casas do país 29,6% já possuem o serviço.

E por mais que o serviço tem na sua maioria a distribuição por satélite, ousa-se no presente estudo avaliar com a Tabela 7, os serviços com a tecnologia FTTH que ainda sem apresentar grandiosos números apresentam crescente demanda. Desde seu início de implantação, que nas pesquisas consta de janeiro de 2014 até junho de 2015.

Tabela 7 - Quantidade de acessos de TV por assinatura.

QUANTIDADE DE ACESSOS POR TECNOLOGIA - TV por assinatura								
Tecnologia	2014-01	2014-06	2014-12	2015-01	2015-02	2015-03	2015-04	2015-05
DTH	11.235.223	11.731.297	11.942.606	11.981.962	12.007.552	12.009.855	11.971.155	11.897.140
FTTH	40.209	61.491	95.011	100.158	105.776	111.202	116.620	121.966
MMDS	16.232	12.799	11.777	11.576	11.626	11.291	11.229	11.136
TVA	3.667	3.389	3.297	3.297	3.296	3.253	3.253	3.253
TVC	6.907.467	7.159.588	7.521.420	7.560.686	7.587.581	7.626.807	7.659.302	7.685.529
Total	18.202.798	18.968.564	19.574.111	19.657.679	19.715.831	19.762.408	19.761.559	19.719.024

Fonte: (ANATEL, 2015)

Já o serviço de comunicação multimídia atinge 37,68% das casas brasileiras, no mesmo estudo divulgado em junho de 2015.

E da mesma forma, Tabela 8, podemos destacar a utilização do FTTH recentemente.

Tabela 8 - Quantidade de acessos de Comunicação Multimídia.

QUANTIDADE DE ACESSOS POR TECNOLOGIA - COMUNICAÇÃO MULTIMÍDIA														
Tecnologia	2007-03	2007-12	2008-12	2009-12	2010-12	2011-12	2012-12	2013-12	2014-12	2015-01	2015-02	2015-03	2015-04	2015-05
ATM						70.219	60.851	319.289	267.621	242.663	257.584	252.410	248.926	243.738
Cable Modem	750.903	1.401.714	2.007.887	2.732.355	3.605.934	4.481.595	5.784.536	6.638.123	7.560.910	7.620.639	7.697.616	7.769.291	7.816.459	7.895.491
DTH	12	1	10	10	9		257	360		4	4	4	12	4
ETHERNET						370.223	394.628	263.328	286.550	296.406	292.377	307.847	309.565	311.582
FR						37.373	33.901	26.061	20.212	19.856	22.442	22.023	21.498	21.041
FWA	30.310	14.824	19.830	19.884	22.150	198.892	38.724	67.900	79.655	73.993	79.167	75.677	79.819	80.529
Fibra	32.151	43.575	54.218	57.528	63.704	169.016	266.271	674.231	947.616	990.839	1.016.731	1.040.927	1.069.053	1.096.735
HFC	963	128.434	170.321	186.640	218.393	333.043	187.968	23.973	24.971	27.442	28.368	29.740	29.308	30.232
LTE							5.726	25.056	138.107	152.854	167.490	191.171	211.699	228.270
MMDS	14.857	19.817	16.539	14.387	11.740	9.224	2.173	3.951	2.831	1.887	2.835	2.166	1.922	1.968
PLC	0	4	15	297	390	222	504	170	173	173	173	173	173	262
SATELITE						32.863	53.294	56.562	60.893	62.208	62.720	63.245	63.078	64.012
Spread Spectrum	103.960	170.709	265.994	351.792	689.376	728.940	840.454	1.057.136	1.341.213	1.382.385	1.420.783	1.413.829	1.482.836	1.492.136
WIMAX						11.613	9.793	3.984	10.882	11.546	12.326	12.924	12.844	13.035
xDSL	4.558.489	5.935.624	7.452.531	8.208.158	9.386.909	10.578.144	12.149.659	13.025.625	13.226.718	13.230.110	13.224.492	13.248.754	13.261.741	13.300.282
Total Geral	6.362.032	8.260.540	10.618.609	12.491.817	14.956.750	17.021.367	19.828.739	22.185.749	23.968.352	24.113.005	24.285.108	24.430.181	24.608.933	24.779.317

Fonte: (ANATEL, 2015)

E para o caso de telefonia fixa, têm-se as mesmas análises. Entre 2014 e 2015 essa tecnologia se expandiu 2,25%. Com a Tabela 9 representando os números de acessos registrados.

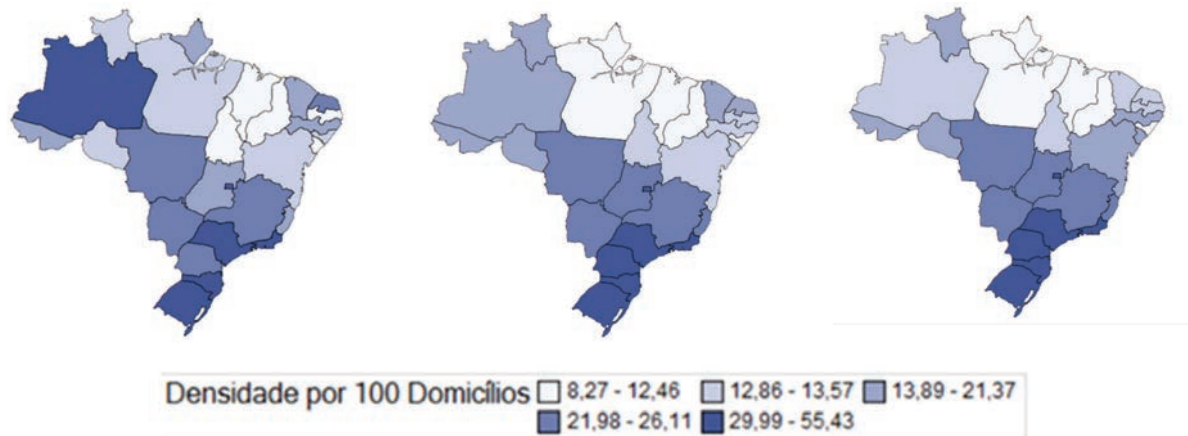
Tabela 9 - Quantidade de acessos de Telefonia fixa.

QUANTIDADE DE ACESSOS POR TECNOLOGIA - TELEFONIA FIXA									
Tecnologia	2013-07	2013-12	2014-12	2015-01	2015-02	2015-03	2015-04	2015-05	2015-06
Fibra	674.347	692.782	725.077	862.064	862.716	868.557	880.502	880.021	887.246
Metálico	5.137.024	5.340.610	5.812.441	5.857.484	5.885.376	5.930.036	5.980.155	6.006.458	6.042.894
Outras	5.631.838	6.015.507	6.733.542	6.795.207	6.829.693	6.846.472	6.912.824	6.944.457	6.666.001
Satélite	11.119	11.158	11.663	11.662	11.649	11.736	12.100	12.060	12.085
Sem Fio Terrestre	3.467.093	4.315.753	4.524.575	4.491.307	4.500.054	4.477.894	4.466.871	4.437.946	4.352.216
Total	14.921.421	16.375.810	17.807.298	18.017.724	18.089.488	18.134.695	18.252.452	18.280.942	17.960.442

Fonte: (ANATEL, 2015)

A comparação pode ser feita no território brasileiro através da Figura 36, quanto mais escura a região, maior a densidade de beneficiários dos serviços específicos.

Figura 36 - Concentração TV por assinatura, comunicação multimídia e telefonia fixa.



Fonte: (ANATEL, 2015)

6.1 ESTUDO DE CASO

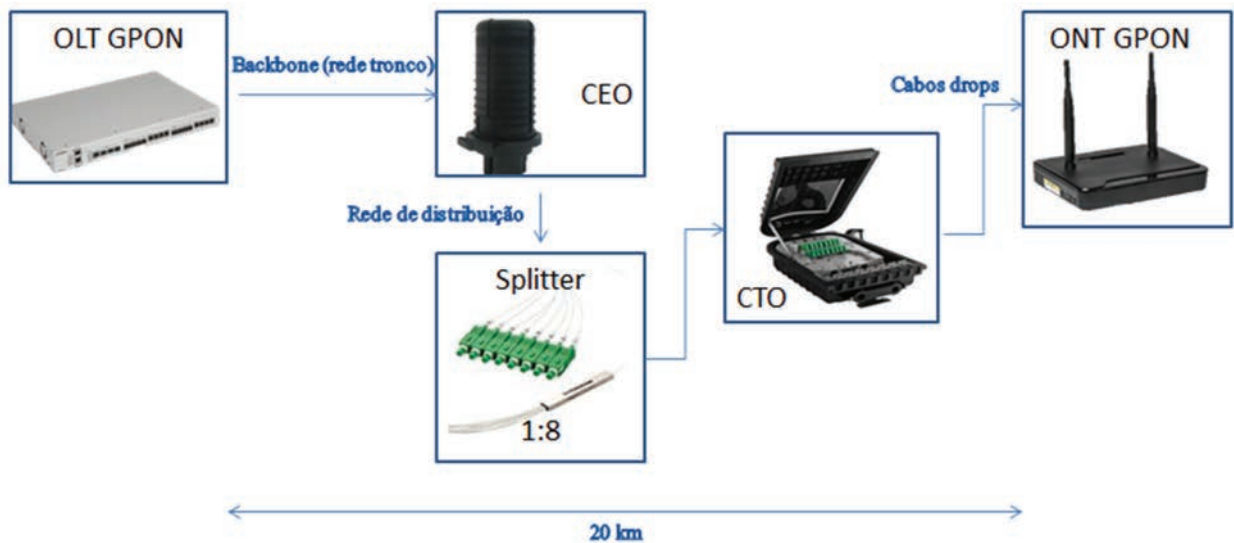
Mostrando ser mais do que uma perspectiva futura, mas uma situação já presente também no Brasil analisa-se um caso no sul de Minas Gerais, aonde um pequeno provedor vem destacando-se pela ousadia e sucesso na implantação de redes FTTH.

A empresa Nowtech, cujo presidente é Marcelo Couto, também diretor de comunicação e marketing da Associação Brasileira de Provedores de Internet (Abrint), iniciou em junho de 2008 em um evento da própria Abrint em São Paulo, um projeto apoiado pela Furukawa, fabricante japonês, visando à realização do sonho de ofertar internet ultra banda larga na região que atende, tendo o primeiro alvo à pequena cidade de nove mil habitantes, Ipuiuna. (COUTO, 2015)

Em conversa com o presidente da empresa, ele resume os equipamentos necessários para montar a rede óptica sendo, transmissor Laser, também chamado de OLT, exemplo comercial OLT GPON STANDALONE FK-OLT-GAS, com quatro interfaces GPON atendendo 64 usuários cada, com dimensões 440 mm de largura por 44 mm de altura. Os cabos AS-80 ou AS-120 de 24, 36 ou 72 fibras para uso em Backbone (tronco principal da rede), comercial CFOA-AS80/120/200-S até 144F, linha de cabos ópticos para rede de distribuição aérea autossustentada, com modelo de força de tração entre os postes que suporta vãos de até 120 metros. As caixas de emendas ópticas (CEO), para atendimento ao cliente, modelo “conjunto de emenda óptico aéreo FK-CEO-4T - modulo básico 24F”, capaz de acomodar as emendas por fusão entre o cabo tronco e os cabos de distribuição, suportam 144 fibras e 24 fusões, podendo ser instaladas em caixas aéreas em postes, possuindo 45 mm

(altura) por 230 mm (diâmetro), um cabo de entrada de 10 a 17,5 mm de diâmetro e até quatro cabos de derivação de 8 a 17,5 mm de diâmetro. As caixas de terminações ópticas (CTO), modelo FK-CTO-16MC, para esplitagem dos ramais, permitem acomodar as emendas por fusão entre o cabo de distribuição e os *drops*, suportam várias configurações variando entre armazenamento de bandejas com até 16 fusões cada ou ainda *splitters*. Permitem a derivação de cabos de até 15 mm em 16 cabos de 2 a 5,3 mm, podendo ser instaladas em fachadas de prédios, paredes ou postes e dimensões de 300 mm (altura) x 220 mm (largura) x 100 mm (profundidade). E o *splitter* 1:8, modelo comercial PLC 1X8 G.657A NC/NC 2M/2M, podendo ser ou não conectorizados. COUTO observa também que a rede é conectorizada dos ramais até o cliente e com fusão no *backbone*. A Figura 37 traz o esquemático do projeto com a ilustração dos equipamentos comerciais citados. (FURUKAWA, 2015)

Figura 37 – Esquemático estudo de caso.



Fonte: (Esquemático do autor, 2015; Figuras FURUKAWA, 2015)

No projeto de Ipuina utiliza-se a tecnologia GPON, razão 1:64 o que garante maior qualidade de sinal na ponta do usuário. De acordo com informações do COUTO e verificando também as especificações dos modelos selecionados, tem-se que a OLT emitindo com potência de saída em geral entre +3 e +5 dBm e a sensibilidade com que a ONT consegue se conectar varia entre -9 e -28 dBm. Sendo a taxa de *upload* de 1,25 Gbps e 2,25 Gbps de *download*, exemplo comercial GPON FK-ONT-G420W. Com as informações das potências no transmissor e no receptor avaliam-se também as perdas e atenuações na rede, com as

Tabelas 10, 11 e 12, para possível validação do projeto através da relação estabelecida na Figura 38.

Tabela 10 – Perda de inserção nos splitters.

Perda de inserção nos splitters	
Tipo de splitter	Perda de inserção
1:2	3,7 dB
1:4	7,3 dB
1:8	10,5 dB
1:16	13,7 dB
1:32	17,1 dB
1:64	20,5 dB

Fonte: (FURUKAWA, 2015)

Tabela 11 – Atenuação para fibras monomodo.

Atenuação para fibras monomodo		
Comprimento de Onda	Típica	Máxima
1310 nm	0,35 dB/km	0,37 dB/km
1550 nm	0,20 dB/km	0,23 dB/km

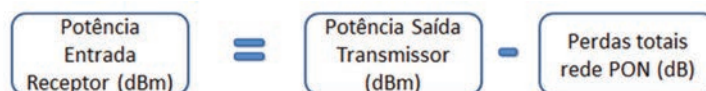
Fonte: (FURUKAWA, 2015)

Tabela 12 – Perdas por emendas e nos conectores.

Perdas por emendas e nos conectores	
Tipo	Máxima
Emendas	0,30 dB
Conexões	0,75 dB

Fonte: (FURUKAWA, 2015)

Figura 38 – Relação das potências da rede.



Fonte: (do autor, 2015)

Para aplicação da fórmula considera-se também uma margem prevendo degradação e tempo de vida útil dos materiais de 5 dB.

A empresa oferece o serviço de TopFibra, que garante planos de até quatrocentos Mbits por cliente no futuro próximo. Atualmente o usuário tem a opção de planos de 8, 10, 12 e 15 Megas entre R\$ 64,90 e R\$ 94,90.

Em setembro de 2012, iniciou-se o projeto final, com a aprovação da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) que autorizou o uso dos postes a um custo mensal de R\$ 7,63 por poste usado. E em 12 de dezembro de 2013 inauguraram-se os vinte km de rede que pode atender 3.076 clientes chegando a 8.192 com ampliação de novas portas na OLT.

O projeto não parou na cidade de Ipuiuna e atualmente visa à implantação em Caldas (13 mil habitantes) e Santa Rita de Caldas (9 mil). A empresa estimou inicialmente um investimento de seiscentos mil reais com quatro mil *homes-passed*. E ressalta o alto gasto, de cerca de oito mil reais mensais para utilização dos postes. E a previsão de recuperação dos investimentos são três anos. (TELETIME, 2014)

Marcelo Couto acredita que a iniciativa dos Pequenos Provedores Regionais, que estão investindo seriamente no setor fazendo com que a tecnologia deixe de ser um privilégio apenas de grandes centros e levando para o interior faz com que os fabricantes produzam modelos dimensionados para pequenas cidades. Portanto, investimentos em pesquisa de novos modelos de redes ópticas de baixo custo, podem ser cruciais para a expansão da tecnologia.

Ele fala ainda no Brasil como um país com dimensões continentais elevadas e, portanto, quase impossível de se levar FTTH a todos os cantos. Porém, existem mais de quatro mil empresas Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) autorizados no país provendo acesso desde pequenas cidades como Ipuiuna, até grandes centros como São Paulo. Essas empresas em sua maioria estão focadas em FTTH, o que fará a popularização do FTTH acelerar a curto e médio prazo. A demanda por novos serviços como Netflix, YouTube, Câmeras, Telefonia, TV e outros também estão exigindo acessos de alta velocidade. Diante do exposto e da experiência de 15 anos nesse mercado, ele tem a certeza que estamos falando de um caminho sem volta e necessário. (COUTO, 2015)

6.2 ASSUNTOS NO DIA A DIA

Há alguns anos esse assunto começou a ficar recorrente, e mesmo sem a percepção da maioria e sem muita gente saber do que se trata ele foi ganhando espaço também nas mídias. Inicialmente com propagandas principalmente de extensão de redes, de investimentos nessa tecnologia e na quebra de recordes frequentes de velocidades de transmissão, são inúmeras as

notícias que circulam valorizando a área de cobertura da empresa e o diferencial que ela apresenta. Entre elas destacam-se também as várias informações que se encontram na mídia com relação aos cabos submarinos de transmissão de dados.

Através de algumas dessas notícias procura-se retratar muitos pontos descritos nesse trabalho, trazendo a concretização deste tema que ganha popularidade.

Em dezembro de 2013 TELESÍNTese, já havia a expectativa de uma estatal chinesa que desde 2010 enxergava o crescimento do mercado FTTH no Brasil. E desde essa época apresentava como empecilho o valor alto para alugar postes, além de já propor temas como GPON e a possibilidade da implantação de DWDM. TECMUNDO, em fevereiro de 2014 com a manchete “Superbandas: internet ultrarrápida chegou ao Brasil”, a reportagem informa que o FTTH alcançava residências brasileiras desde 2011 e que em 2013 teve sua disseminação. (TELESÍNTese, 2013)

Em maio de 2011 também TECMUNDO, havia a expectativa de desenvolvimento de fibra em consequência de o país sediar a copa e as olimpíadas. Em maio de 2014 um pronunciamento do ministro de telecomunicações declarou que os estádios já possuíam dois anéis de fibra para transmissão em altas definições. Na mesma reportagem, o ministro também declarou que até 2018 esperava 95% de cobertura de fibra no país, destacando a limitação da infraestrutura. Seis meses depois, o noticiário comenta sobre os planos do governo como Banda Larga 2.0 ou Banda Larga para todos, afirma que o investimento não seria total do governo e prevê cobertura de 45% no país, fala sobre “universalização” que não é 100% e destaca a necessidade da expansão de *backhaul* que vem sendo discutida na Anatel.

São volumosas as pesquisas que resultam deste tema, e algumas perspectivas de mais evolução são relatadas, por exemplo, em novembro de 2012, pesquisadores da Universidade de Bangor, do País de Gales desenvolvem outro tipo de fibra com tecnologia baseada no método *Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OOFDM) com a garantia de mesmo preço e transmissão duas mil vezes mais rápida. (TECMUNDO, 2012) Em agosto de 2013, o estudo publicado na revista Science propõe o envio na forma de turbilhão por raios luminosos. (EXAME, 2013)

Ainda TECMUNDO tem-se mais dois exemplos de 2014, um em julho, proposta de “cabo de ar de fibra óptica”, Howard Milchberg, um professor de física e de ciência da computação da universidade de Maryland, EUA, desenvolveu um cabo com os mesmos princípios das fibras ópticas tradicionais. Uma camada de ar envolve outra camada de ar de maior densidade. Com diferença no índice de refração. A transmissão vai ser similar a um tubo espelhado, e este processo é impressionantemente rápido, mas de acordo com o

pesquisador suficiente para transmissão de dados. A aplicação seria para extensão da rede até bases espaciais, equipamentos de exploração atmosférica ou marinha e usinas nucleares. E em outubro, em testes com a fibra de múltiplos núcleos alcançaram velocidades impressionantes, um grupo de cientistas da Holanda e dos Estados Unidos chegaram a transferência de arquivos com velocidade de 255 Tbps, com um cabo de 1 km, filme de 1 GB pode ser baixado em 0,03 ms. Essa velocidade é cerca de 2.550 vezes maior do que a maior velocidade comercial disponibilizada. Suportaria todo o tráfego de dados da internet na hora de pico. (TECMUNDO, 2014)

E um exemplo de junho de 2015, também publicado na Science, e um método que mantém eficiência e torna mais econômico o emprego da fibra, a questão é a adição de sinais para alcance de longas distâncias e conseqüentemente a distorção do sinal. O novo método distorce o sinal já na emissão, de forma a diminuir os efeitos da energia aplicada. A pesquisa estima 12 mil km de transmissão sem repetidor, somente amplificadores comuns. Hoje se utiliza repetidores aproximadamente a cada 100 km. Na emissão é enviado um sinal regular e um invertido, facilitando o filtro, com o cancelamento das fases. (TECMUNDO, 2014)

E como todo o avanço parece infinito, analisa-se também os pontos de alertas relatados, por exemplo, em agosto de 2014, EXAME informa que no norte do Brasil, mesmo com a chegada da fibra, a promessa de melhores velocidades na transmissão ainda não foi cumprida e em junho de 2014 as metas mínimas e médias estabelecidas não haviam sido alcançada em alguns estados. (EXAME, 2015)

Outro ponto seria a necessidade insaciável de transmissão de dados, em abril de 2013 despertando para a explosão da demanda já havia sido publicado EXAME “Brasil começa a demandar redes de fibra de 100 Gbps”. E recentemente, TECMUNDO em maio de 2015, também presente no site New Scientist, pesquisas revelam que em cinco anos será atingido limite de capacidade informacional da fibra, envio de 100 Tbps em dados. Amplificar e aumentar a capacidade dos cabos já instalados sem comprometer o equipamento vai ficar cada vez mais difícil. As soluções também já vêm sendo pensadas, ou bombardear esses cabos, extrapolando limites e aí descobrir um jeito de recuperar os dados ou a utilização de novas fibras, com núcleos múltiplos. O site também conclui que a principal causa seria o uso intenso de YouTube e Netflix.

Finalmente, o último ponto abordado em nível do cenário atual do país fica por conta da notícia publicada na FOLHA em maio de 2015, assiste-se a lentidão nesses investimentos devido ao cenário econômico atual do país, mas ainda espera-se que esta tecnologia junto com a 4G seja a principal fonte de receita das empresas desse ramo nos próximos anos.

Atualmente volta-se mais para utilização das redes já implantadas do que para expansão. A alta do dólar e do preço da energia tem sido fatores prejudiciais. (FOLHA, 2015)

A VIVO, por exemplo, que atua com FTTH somente em São Paulo, nos primeiros três meses de 2015 disponibilizou o serviço apenas para 100 mil novos domicílios, em comparação com os três últimos meses de 2014 que chegou a 700 mil. Mas por outro lado, os clientes conectados continuam aumentando, e alcançou no fim de março de 2015 o número de 429 mil. A Anatel também divulgou aumento nos acessos de fibras até março deste ano de 42% comparando com o ano anterior, totalizando 1,04 milhões de acessos. A ABRINT estima que 70% dos provedores de banda larga do país já oferecem serviços com fibra óptica. E por mais que a tecnologia é muito bem vista pelas empresas e pelos usuários e é rentável devido aos serviços que oferece, ainda é parte pequena das receitas, de acordo com a consultoria de telecomunicações Ovum.

7. TENDÊNCIA

Sabe-se hoje que a evolução somente na disponibilidade de internet, TV e telefone já não são mais suficientes. Um estudo recente do Banco Mundial mostrou que, em países emergentes, o aumento do número de conexões de banda larga pode levar a um crescimento adicional no Produto Interno Bruto (PIB). (CPqD, 2015)

Muito se fala nas Cidades Inteligentes e na Internet das Coisas, com a conexão de muitos setores da cidade e muitos objetos do mundo físico.

O conceito de cidade inteligente, que faz uma metáfora com o próprio organismo inteligente, ilustrado na Figura 39, uma rede FTTH de sistema nervoso ultrarrápido, permitindo todos os elementos conectados, enviando informações bidirecionais com a velocidade da luz e dados armazenados em nuvens.

Figura 39 – Cidade inteligente.



Fonte: (SEBBEN, 2015)

Um conceito novo e ainda pouco definido, mesmo com relação ao nome que se da atualmente, vem sendo muito discutido em comitês e desenvolvido nos diversos tipos de pesquisas. Normalmente o foco não é somente na rede que transmite esses dados, mas também nos benefícios dessa tecnologia, melhor padrão de vida pra população, iniciativas que se destacam pela economia, eficiência e preservação ambiental. E facilidades pouco presentes hoje em dia que se tornaram tendências, como situações do tráfego, sugestões de melhores rotas e monitoramento das vagas no estacionamento facilitando a busca por vagas.

Um Comitê do Conselho Europeu de FTTH, já comentado no presente trabalho, se reuniu para definir alguns pontos e propor o seguimento de um caminho mais comum a todos.

Esta se vivendo uma nova revolução tecnológica que alcança uma velocidade de crescimento e evolução muito rápida, veem-se os objetos que vem surgindo no mercado como impressora 3D. Sem dúvida nenhuma, presencia-se uma revolução digital, Figura 40.

Figura 40 – Mundo digital.



Fonte: (SEBBEN, 2015)

O número de dados produzidos no mundo vem explodindo com o passar do tempo, em 2003 produziu-se cinco bilhões de gigabytes, em 2011 em 48 horas já se alcançava o mesmo valor e hoje em apenas dez minutos chega-se a essa quantidade.

E esse número abusivo de dados é que desperta a atenção na maneira como trata-los, e como transmiti-los no fluxo bidirecional de forma instantânea. Para assim responder as necessidades do usuário, que hoje se orienta por informações em tempo real.

Falando de uma forma mais particular, e também já presente no dia a dia, tem-se as casas inteligentes, ou edifícios, em ambos o uso principalmente de sensores é o que mais contribui com as facilidades e muitas vezes monitoramento para a economia, como exemplo, questões de segurança e gestão de energia.

O grande desafio dessas casas não são os equipamentos, mas sim os protocolos que cada um utiliza, sendo difícil trabalhar operando todos interligados. E mesmo que em muitos casos o requerido é a internet sem fio sabe-se da superioridade da internet com fio, estabilidade, confiança, velocidade, desempenho e segurança.

E de novo, isso só se torna possível com o uso de *streaming* de dados de alta velocidade, e provavelmente *download* e *upload* simétricos. E o consumidor além desses benefícios precisa confiar na rede pela qual tráfegará todos seus dados. Assim a oferta de FTTH fica mais atraente.

Destacam-se entre as várias vantagens, as fibras ópticas transmitem a longas distâncias usando menos repetidores. Apresentando também menos erros de transmissão. Conseqüentemente reduz-se custo e complexidade. Possuem maior largura de banda, suportando mais canais de voz/vídeo no mesmo circuito, assim transmitem a mesma

quantidade com menos linhas físicas. As fibras apresentam dimensões muito pequenas e cabos leves. Podendo ser comparadas a fios de cabelo humano. Além disso, apresentam também, resistência e durabilidade. Composta de material dielétrico está imune à interferência elétrica. Não tem problemas com aterramento. Não sofre nem com as interferências causadas pela atmosférica, nem com as causadas pelas próprias fibras instaladas próximas umas das outras. Confina o sinal óptico de tal forma que oferece maior privacidade do sinal. Uma tentativa de desvio de informação é facilmente identificada devido a potência luminosa que envolve o processo. Possibilita sem a substituição dos cabos físicos, mas somente empregando técnicas mais avançadas, uma expansão na capacidade do sistema.

Além do baixo custo na primeira situação descrita, o material com que é feito a maioria das fibras, o vidro, torna-se uma vantagem pela sua abundância. Considerando ainda o material de produção, vidro ou plástico, as fibras apresentam alta resistência e grande confiabilidade.

Alerta-se para o manuseio da fibra “nua” que exige muito cuidado devido à fragilidade. E o fato de serem muito pequenas e leves para realização de junções exigindo maior precisão.

Para casos em que a instalação não for bem sucedida pode-se ter grande aumento na atenuação, chegando ao bloqueio do sinal.

8. CONCLUSÃO

A fibra já permitiu e ainda permitirá muito a evolução em média e longa distância, desde 2008 assiste-se a implementação de redes PON, que veio de forma otimizada buscando competitividade no mercado com altas taxas de banda e maior cobertura de área.

As redes ópticas hoje viabilizam o avanço da tecnologia. Permitem o escoamento de uma grande quantidade de dados por segundo. Sendo muito mais viável no cenário atual integrar tudo em um mesmo sistema (internet, vídeo, VOIP, *backhaul* para redes móveis), provendo conectividade 100% via fibra óptica.

Porque não basta ser de fibra, para melhor proveito da rede e dos benefícios que podem ser extraídos apostam-se na grande expansão das redes FTTH e mais ainda em sua expectativa de avanço.

O mundo vem popularizando esse conceito, nos últimos anos muito tem se falado não só nos serviços oferecidos por essa tecnologia, mas na qualidade com que estes chegam até o usuário. E muitos são os projetos que já concluídos ou em execução tornam isso realidade.

Atualmente, a rede, seja ela parcialmente com fibra ou inteira com essa tecnologia, vem se expandindo com altas taxas de crescimento e muitas promessas de investimento por parte das operadoras e do governo. E em paralelo novas tecnologias como DWDM ou desenvolvimento cada vez mais viável de fibras de ultrabaixa perda tem evoluído no intuito de sustentar essa rede de inúmeras possibilidades.

Prevê-se um modelo aberto e devido a essas redes ópticas hoje serem bem mais do que uma alternativa e sim uma necessidade tudo que esta sendo construído de novo dificilmente optará por um meio de transmissão diferente de fibra e o desafio ainda fica para a renovação e substituição das redes de cobre.

REFERÊNCIAS

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações. **Dados**. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br/dados/>> Acesso em 27 jun. 2015.

AGRAWAL, Govind P. **Sistemas de comunicação por fibra óptica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 714 p.

BARION, Rogério. **Webinar - O que é necessário para planejar uma rede FTTH (GPON)**. Seminário Entelco Telecom. 31 ago. 2015.

CAETANO, Saul S. **Comunicações Ópticas I**. Instituto Federal Santa Catarina. Campus São José. 28 mar. 2011.

CASE Study Collection. **Swedish FTTH Network Consolidation Indicates Maturing Market**. Janeiro 2014. 2 p.

CBE – Projetos e Engenharia em telecomunicações. **Soluções FTTH (end-to-end)**. Disponível em <<http://www.cbe.pt/>> Acesso em 11 jul. 2015.

COUTO, Marcelo. **TOP Fibra – Conexão na velocidade da luz – Mais informações** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <carvalho.priscila91@yahoo.com.br>. 30 jun. 2015.

CPqD – Pesquisa e Desenvolvimento. **Comunicações Ópticas**. Disponível em <<http://www.cpqd.com.br/>> Acesso em 11 jul. 2015.

ENTELCO. **Projetos FTTx**. Disponível em <<http://www.entelco.com.br/blog/tag/projeto-fttx/>> Acesso em 27 jun. 2015.

EXAME. **Fibra óptica**. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/topicos/fibra-optica>> Acesso em 09 mai. 2015.

FCGA – FTTH Council Global Alliance. **Definition of terms**. Version 4.0. 2015. 8 p.

FOLHA de São Paulo. **Expansão de fibra óptica no Brasil desacelera, mas ainda é prioritária**. 2015. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/tec/2015/05/1633829->

expansao-de-fibra-optica-no-brasil-desacelera-mas-ainda-e-prioritaria.shtml> Acesso em 6 jun. 2015.

FURUKAWA. **Produtos**. Disponível em < <http://www.furukawa.com.br/br/produtos/> > Acesso em 12 set. 2015.

FTTH Council Americas. Disponível em <<http://www.ftthcouncil.org/>> Acesso em 4 jun. 2015.

FTTH Council Europe. Disponível em <<http://www.ftthcouncil.eu/>> Acesso em 4 jun. 2015.

GIORGINI, Daniel Laper. **FTTH - análise da opticalização da rede de acesso para aumentar os serviços de banda larga utilizando a tecnologia GPON**. Santa Rita do Sapucaí. 2010. 35p.

GVT - Global Village Telecom S.A. São Paulo. GVT Casa. **Plano de Banda Larga**. Disponível em <<http://www.gvt.com.br/PortalGVT/Residencial/Banda-Larga>> Acesso em: 15 ago. 2015.

ITU-T Recommendations. Disponível em <<http://www.itu.int/en/ITU-T/publications/Pages/recs.aspx>> Acesso em 16 ago. 2015.

KEISER, Gerd. **Comunicações por fibras ópticas**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. xxiii, 670 p.

LAGE, Luíza Basílio; OLIVEIRA, Maria Clara A. **Estudo de uma rede de acesso via fibra óptica**. Distrito Federal. 2006. 272p.

LASER. Reinventar o mundo. Disponível em <<http://reinventaromundo.com.sapo.pt/Laser/Laser.htm>> Acesso em: 05 set. 2015.

LATAM Chapter. **Latinoamérica a la velocidad de la luz!** Edición 2015. 51p.

MADEIRA, Antonio. **Fibras ópticas – Características e os principais tipos**. 2011. Disponível em <<http://www.stconsulting.com.br/telecom/fibras-opticas-%E2%80%93-do-conceito-a-aplicacao-%E2%80%93-parte-2-tipos-fibras-e-cabos#.VfIqcPIViko>> Acesso em: 10 set. 2015.

MONTAGNE, Roland; CHAILLOU, Valérie. FTTH/B **Panorama Europe (EU39) at December 2014**. Varsóvia. 2015. 23p.

NET serviços de comunicações. São Paulo. **NET Internet**. Disponível em <<https://www.netcombo.com.br/internet-2>> Acesso em: 15 ago. 2015.

OI S.A. São Paulo. Disponível em <<http://www.oi.com.br/oi/oi-para-voce/planos-servicos/internet/internet-para-casa/oi-velox-banda-larga>> Acesso em: 15 ago. 2015.

SEBBEN, Paolo et al. Smart Cities Committe. **FTTH Smart Guide**. Edition 3. 2015. 87 p.

SILVA, André F. R.; SILVA, Rafael H.; OLIVEIRA, Silvano R.; TAZAKI, Thiago R. **Redes Pon I: Novas tecnologias e tendências**. 2013. 17p.

STANDARDS Fibra óptica. Disponível em <http://www.dipol.pt/standards_fibra_optica_bib327.htm> Acesso em 16 ago. 2015.

TEC MUNDO. **Fibra óptica**. Disponível em <<http://www.tecmundo.com.br/fibra-otica>> Acesso em 9 mai. 2015.

TELECO. Inteligência em Comunicações. **FTTx (Fibra)**. Disponível em <<http://www.teleco.com.br>> Acesso em 15 jul. 2014.

TELEFÔNICA Brasil. **Notícias e Mídia Center**. Disponível em <<http://www.telefonica.com.br>> Acesso em 15 ago. 2015.

TELEFÔNICA Brasil S.A. Vivo. **Planos Internet Fibra. Pacotes Vivo TV Fibra**. Disponível em <<http://www.vivofibra.com.br/internet-fibra.html>> Acesso em: 09 ago. 2015.

TELESÍNTESE. **Fiberhome aposta em 120 novos projetos de ftth com isps e avalia ppb local**. 2013. Disponível em <<http://www.telesintese.com.br/fiberhome-aposta-em-120-novos-projetos-de-ftth-com-isps-e-avalia-ppb-local/>> Acesso em 27 jun. 2015.

TELETIME. Disponível em <<http://www.teletime.com.br/especiais/>> Acesso em 15 jul. 2014.
TIM Celular S.A. São Paulo. Live TIM. **Conheça nossas ofertas**. Disponível em <<http://www.livetim.tim.com.br/planos>> Acesso em: 15 ago. 2015.

ZHAO, Rong et al. D&O Committee. **FTTH Handbook**. Edition 6. 2014. 159 p.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABRINT - Associação Brasileira de Provedores de Internet e Telecomunicações. **Quem Somos.** Disponível em <<http://www.abrint.com.br/quem-somos/>> Acesso em 27 jun. 2015.

ANID. **Lista de Cidades atendidas pelo Projeto Nacional de Fibra Óptica em Domicílios.** Disponível em <<http://www.anid.com.br/site/index.php/component/content/article/24-central/2193-listadecidades.html>> Acesso em 13 dez. 2014.

ÉPOCA Negócios. **Fibra óptica.** Disponível em <<http://epocanegocios.globo.com/busca/?q=Fibra+optica&species=not%C3%ADcias>> Acesso em 09 mai. 2015.

ERICSSON. **Serviços Banda Larga: O uso de Rede Óptica Passiva GPON.** 2008. Disponível em <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialblgpon/>> Acesso em: 24 jan. 2015.

FTTH COUNCIL. **FTTH Fibra óptica até a residência.** 2009. Disponível em <http://www.bbcmag.com/Primers/ftthprimer_Por09_webFINAL.pdf> Acesso em 18 out. 2015.

FTTH O que é isso? Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=OeqkpIf_Pwg> Acesso em 24 mar. 2015.

G1 Notícias. **Fibra óptica.** Disponível em <<http://g1.globo.com/busca/?q=fbra+optica&cat=b&ss=265df9cc2835097f&st=G1&sct=Vivo&species=not%C3%ADcias>> Acesso em 6 set. 2015.

LABORATÓRIO Instrumentação e Fotônica. **Textos em jornais de notícias/revistas.** Disponível em <<http://www.lif.coppe.ufrj.br/index.php/component/lexicontent/88-textos-em-jornais-de-noticias-revistas>> Acesso em 27 jun. 2015.

MARTINS, Matheus Henrique Sacramento. **Estudo de caso da implantação de um FTTH em condomínio residencial.** Barbacena. Disponível em <<http://www.unipac.br/site/bb/tcc/tcc-6bfa261beb0d8ce1cb481622dc6f443b.pdf>> Acesso em 18 out. 2015.

NOWTECH Soluções Multimídia. Disponível em <<http://nowtech.com.br/site/>> Acesso em 12 set. 2014.

PEREIRA, Rafael José Gonçalves. **Fibras Ópticas e WDM**. 2008. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/wdm1/Fibraspticas-ConceitoseComposio.html> Acesso em 18 abr. 2015.

PESQUISA Fapesp. **Fios mais finos**. 2012. Disponível em <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/08/21/fios-mais-finos/>> Acesso em 27 jun. 2015.

PROJETO GPON. **Caderno Técnico Referencial**. Pequenos Municípios. Disponível em <http://www.rede399.pr.gov.br/arquivos/File/R399_Anexo_Caderno_Tecnico_Referencial_v28.pdf> Acesso em 18 out. 2015.

TELEGEOGRAPHY. **Submarine Cable Map**. 2015. Disponível em <<http://www.submarinecablemap.com/#/>> Acesso em 18 abr. 2015.

TRÁFEGO. **RNP Rede Nacional de Ensino e Pesquisa**. Disponível em <<http://www.rnp.br/servicos/conectividade/trafego>> Acesso em 11 jul. 2015.

TV Abrint. **Mudanças no setor de provedores regionais**. 2015. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=N2PX5PD2_pA> Acesso em 4 jul. 2015.

APÊNDICE A – Padrões e Recomendações

A.1 PADRÕES PARA COMUNICAÇÃO EM FIBRA ÓPTICA

A.1.1 Padrões primários

“Normatizam a medição e a caracterização de parâmetros físicos fundamentais, como atenuação, largura de banda, características operacionais das fibras, níveis de potencia óptica e larguras espectrais.” (KEISER, 2014)

Algumas dessas organizações são *National Institute of Standards and Technology* (NIST - EUA), *National Physical Laboratory* (NPL – Reino Unido) e *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB - Alemanha).

A.1.2 Padrões para os testes de componentes

“Definem os testes de desempenho para o componente da fibra óptica e estabelecem os procedimentos para calibração dos equipamentos.” (KEISER, 2014)

Telecommunications Industry Association (TIA), *Electronics Industries Alliance* (EIA), *Telecommunication Sector of the International Telecommunication Union* (ITU-T), *International Electrotechnical Commission* (IEC).

A.1.3 Padrões de sistema

“Referem-se a métodos de medição para ligações e redes.” (KEISER, 2014)

American National Standards Institute (ANSI), *Institute for Electrical and Electronic Engineers* (IEEE), ITU-T, *Telcordia Technologies*.

A.2 RECOMENDAÇÕES ITU – T

A.2.1 Série-G

Padrão bastante interessante para o tema abordado neste trabalho. Têm-se sistemas de transmissão e meios de comunicação, sistemas e redes digitais, Quadro 4. A partir do G.650 muitas recomendações a respeito de cabos de fibra, amplificadores ópticos, multiplexação por comprimento de onda e redes ópticas, Quadro 5.

Quadro 4 - Resumo série G.

Recomendações	Descrições
G.600-G.699	Características de meios de transmissão e sistemas ópticos
G.650-G.659	Cabos de fibra óptica
G.660-G.679	Características dos componentes e subsistemas ópticos
G.680-G.699	Características dos sistemas ópticos

Fonte: (ITU-T, 2015)

Quadro 5 - Série G - Específicos.

Recomendações	Descrições
G.651.1	Características de um cabo de fibra óptica multimodo de índice-gradual de 50/125 μm para rede de acesso óptico.
G.652	Características de uma fibra óptica monomodo e cabo.
G.653	Características de uma fibra óptica monomodo de dispersão deslocada e cabo.
G.654	Características de uma fibra óptica monomodo de corte deslocado e cabo.
G.655	Características de uma fibra óptica monomodo de dispersão não nula deslocada e cabo.
G.656	Características de uma fibra e cabo com dispersão não nula para transporte óptico em banda larga.
G.657	Características de uma fibra monomodo não sensível à perda por curvatura e cabo para acesso à rede.

Fonte: (STANDARDS, 2015)

A.2.2 Série-L

Estas recomendações são específicas para construção, instalação e proteção de cabos, Quadro 6, além de abordar alterações climáticas, eficiência energética e outros elementos da planta externa.

Quadro 6 - Série L - Específicos.

Recomendações	Descrições
L.10	Cabos de fibras ópticas para aplicações em dutos e túneis.
L.26	Cabos de fibras ópticas para aplicações aéreas.
L.35	Instalação de cabos de fibras ópticas no acesso de redes.
L.36	Conectores de fibras ópticas monomodo.
L.37	Componentes ópticos de ramificação (não sensíveis a comprimentos de onda)
L.38	Uso de técnicas com ausência de vala para construção de infraestrutura subterrânea para instalação de cabos de telecomunicações.
L.39	Investigação do solo antes de usar técnicas sem vala.
L.43	Cabos de fibras ópticas para aplicações subterrâneas.
L.48	Técnicas de instalação de minivalas
L.49	Técnicas de instalação de microvalas.
L.50	Requisitos para nós ópticos passivos: quadros de distribuição óptica para ambientes de escritório central.
L.56	Instalação de cabos de fibras óptica ao longo de ferrovias.
L.57	Instalação de cabos de fibras óptica com auxílio de ar.
L.59	Aplicações Internas de cabos de fibra óptica.
L.77	Instalação de cabos de fibras óptica dentro de dutos de esgoto.
L.78	Construção de cabos de fibras ópticas para aplicação em dutos de esgoto.

Fonte: (KEISER, 2014)

A.3 Recomendações ISO/IEC

Quadro 7 - Exemplos IEC.

Recomendações	Descrições
IEC 60793	Parâmetros de fibras ópticas e cabos.
IEC 60793-2-10	Aplicável a tipos de fibra óptica multimodo.
IEC 60793-2-50	Aplicável a um único modo de 9/125 tipos de fibras ópticas.
IEC 60794-2	Requisitos para cabos interiores.
IEC 60794-3	Requisitos para cabos exteriores.
ISO/IEC 11801	Sistemas específicos de cabeamento de telecomunicações (cabeamento estruturado), incluindo várias classes de interconexão de fibra óptica.

Fonte: (STANDARDS, 2015)