

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO SEMIPRESENCIAL EM CONFIGURAÇÃO E
GERENCIAMENTO DE SERVIDORES E EQUIPAMENTOS DE REDES

CARLOS HENRIQUE SOARES SOUTO

**A FIBRA ÓPTICA E SUAS TECNOLOGIAS APLICADAS A
PROVEDORES DE INTERNET**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2020

CARLOS HENRIQUE SOARES SOUTO

**A FIBRA ÓPTICA E SUAS TECNOLOGIAS APLICADAS A
PROVEDORES DE INTERNET**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização Semipresencial em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. M. Sc. Fabiano Sciptore de Carvalho

CURITIBA
2020



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização Semipresencial em Configuração e
Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes



TERMO DE APROVAÇÃO

A FIBRA ÓPTICA E SUAS TECNOLOGIAS APLICADAS A PROVEDORES DE
INTERNET

por

CARLOS HENRIQUE SOARES SOUTO

Esta monografia foi apresentada em 25 de Julho de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M. Sc. Fabiano Scriptori de Carvalho
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

SOUTO, Carlos Henrique Soares. **A fibra óptica e suas tecnologias aplicadas a provedores de internet.** 2020. 67 p. Monografia de Especialização em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

A fibra óptica é uma das invenções responsáveis pelo grande desenvolvimento e aprimoramento das redes de telecomunicações na atualidade. Sua utilização proporciona inúmeras vantagens em comparação ao fio de cobre tradicional, sendo a principal delas a alta velocidade na transmissão de dados, a qual é indispensável nos dias atuais, tendo em vista a demanda cada vez maior por serviços de dados, voz e vídeo. Por esse motivo, a adoção desse meio de comunicação por grande parte dos provedores de internet em todo o mundo vem crescendo muito nos últimos anos. Este trabalho apresenta uma análise dos principais pontos sobre a teoria por trás da fibra óptica, mostrando suas características, as tecnologias e aplicações desse meio mais utilizadas nas redes dos provedores hoje em dia. Também são descritas as principais topologias e arquiteturas de uma rede de óptica, assim como seus componentes. No final, é levantada uma discussão a respeito do tema, expondo dados estatísticos sobre a utilização da fibra óptica pelos provedores e apresentando noções de como essas empresas projetam e expandem suas redes ópticas.

Palavras-chave: Fibra óptica. Provedores de Internet. GPON. EPON. FTTX.

ABSTRACT

SOUTO, Carlos Henrique Soares. **Fiber optics and its technologies applied to internet service providers**. 2020. 67 p. Monografia de Especialização em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

The optical fiber is one of the inventions responsible for the great development and improvement of telecommunications networks today. Its use provides numerous advantages compared to the traditional copper wire, with the main one being the high speed in data transmission, which is indispensable nowadays, considering the increasing demand for data, voice and video services. Therefore, the adoption of this type of communication by a large number of Internet Service Providers worldwide has been growing a lot in the last several years. This work presents an analysis of the main points about the theory behind fiber optics, showing its characteristics, the technologies and applications of this kind of material which are most used in the providers' networks today. The main topologies and architectures of an optical network are also described, as well as its components. At the end, a discussion is made about the subject, exposing statistical data on the use of fiber optics by providers and presenting notions of how these companies design and expand their optical networks.

Keywords: Fiber optics. Internet Service Providers. GPON. EPON. FTTX.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fotofone de Graham Bell (1880).....	10
Figura 2 – Estrutura básica de um cabo de fibra óptica	15
Figura 3 – Fibra monomodo	16
Figura 4 – Fibra multimodo de índice degrau	17
Figura 5 – Fibra multimodo de índice gradual	18
Figura 6 – Refração da luz (Lei de Snell)	18
Figura 7 – Reflexão da luz	19
Figura 8 – Janelas de transmissão na fibra.....	20
Figura 9 – Rede óptica ativa (AON)	24
Figura 10 – Rede óptica passiva (PON).....	25
Figura 11 – Tráfego EPON em <i>downstream</i>	27
Figura 12 – Tráfego EPON em <i>upstream</i>	27
Figura 13 – Formato de quadro EPON definido pela IEEE 802.3ah	28
Figura 14 – Tráfego GPON em <i>downstream</i>	29
Figura 15 – Tráfego GPON em <i>upstream</i>	30
Figura 16 – Formatos de quadros GPON definido pela ITU-T G.984.3.....	31
Figura 17 – Cabo tipo <i>loose</i>	33
Figura 18 – Cabo tipo <i>tight</i>	33
Figura 19 – Cabo tipo <i>groove</i>	34
Figura 20 – Cabo tipo <i>ribbon</i>	34
Figura 21 – Cabo dielétrico autossustentado	35
Figura 22 – Cabo <i>riser</i>	35
Figura 23 – Cabo <i>drop</i> compactado (lado esquerdo) e cabo <i>drop</i> (lado direito)	36
Figura 24 – Estrutura do conector óptico	36
Figura 25 – Tipos de conectores ópticos.....	37
Figura 26 – Perda por inserção	38
Figura 27 – Perda por retorno	38
Figura 28 – Emenda por fusão	39
Figura 29 – Emenda por conectorização.....	40
Figura 30 – Emenda mecânica.....	40
Figura 31 – Máquina de fusão em operação	41
Figura 32 – Caixa modelo FIST.....	42
Figura 33 – Caixa modelo FOSC	43
Figura 34 – Caixa modelo CTO/NAP	44
Figura 35 – Distribuidor geral óptico.....	45
Figura 36 – Distribuidor interno óptico.....	45
Figura 37 – Caixa de distribuição óptica geral.....	46
Figura 38 – Caixa de distribuição óptica intermediária.....	46
Figura 39 – Ponto de terminação óptica.....	47

Figura 40 – <i>Splitter</i> 1:4	47
Figura 41 – Divisões do sinal para um <i>splitter</i> 1:8.....	48
Figura 42 – <i>Optical Time Domain Reflectometer</i> (OTDR)	49
Figura 43 – Identificação de falhas com o <i>Power Meter</i> óptico	50
Figura 44 – OLT Datacom modelo DM4615.....	51
Figura 45 – ONT Huawei modelo EG8120L.....	52
Figura 46 – Topologia de rede ponto-a-ponto	53
Figura 47 – Topologia de rede ponto-multiponto.....	54
Figura 48 – Topologia de rede em malha.....	54
Figura 49 – Topologia de rede em estrela.....	55
Figura 50 – Topologia de rede em anel.....	56
Figura 51 – Topologia de rede em barramento	56
Figura 52 – Arquitetura FTTA.....	57
Figura 53 – Arquitetura FTTB.....	58
Figura 54 – Arquitetura FTTC.....	58
Figura 55 – Arquitetura FTTH.....	59
Figura 56 – Comparação entre o 4G e 5G	61
Figura 57 – Recorte de um projeto de rede FTTH no município de Lages (SC)	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Janelas de transmissão.....	20
Tabela 2 – Comparação entre serviços ofertados em fibra e em cabo metálico.....	31
Tabela 3 – Configurações de cascadeamento para 2 níveis.....	48
Tabela 4 – Configurações de cascadeamento para 3 níveis.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	10
1.2 PROBLEMA	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 JUSTIFICATIVA	13
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 A FIBRA ÓPTICA	14
2.2 ESTRUTURA	15
2.3 TIPOS DE FIBRAS	15
2.3.1 Monomodo	16
2.3.2 Multimodo	16
2.3.2.1 Fibra de índice degrau (step index)	17
2.3.2.2 Fibra de índice gradual (graded index)	17
2.4 FUNCIONAMENTO	18
2.5 JANELAS DE TRANSMISSÃO	20
2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS	21
2.6.1 Vantagens	21
2.6.2 Desvantagens	22
3 DESENVOLVIMENTO	23
3.1 REDES ÓPTICAS ATIVAS E PASSIVAS	23
3.1.1 Redes Ópticas Ativas (AON)	23
3.1.2 Redes Ópticas Passivas (PON)	24
3.2 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS	25
3.2.1 EPON	26
3.2.2 GPON	28
3.3 CABOS ÓPTICOS	32
3.3.1 Cabo Tipo Loose	32
3.3.2 Cabo Tipo Tight	33
3.3.3 Cabo Tipo Groove	34
3.3.4 Cabo Tipo Ribbon	34
3.3.5 Cabo Dielétrico Autossustentado	35
3.3.6 Cabo Riser	35
3.3.7 Cabo Drop	36
3.4 CONECTORES ÓPTICOS	36
3.4.1 Perda por inserção	38
3.4.2 Perda por retorno	38
3.5 EMENDAS	39
3.5.1 Emenda por Fusão	39
3.5.2 Emenda por Conectorização	39
3.5.3 Emenda Mecânica	40
3.5.4 Máquina de Fusão	40
3.6 CAIXAS DE EMENDA	41
3.6.1 Caixa Modelo FIST	41

3.6.2 Caixa Modelo FOSC	42
3.6.3 Caixa Modelo CTO/NAP	43
3.7 DISTRIBUIDORES ÓPTICOS	44
3.7.1 Distribuidor Geral Óptico (DGO)	44
3.7.2 Distribuidor Interno Óptico (DIO)	45
3.7.3 Caixa de Distribuição Óptica Geral	45
3.7.4 Caixa de Distribuição Óptica Intermediária	46
3.7.5 Ponto de Terminação Óptica (PTO)	47
3.8 DIVISORES ÓPTICOS (SPLITTERS)	47
3.9 OTDR	49
3.10 POWER METER ÓPTICO	50
3.11 OPTICAL LINE TERMINAL (OLT)	51
3.12 OPTICAL NETWORK UNIT (ONU)/OPTICAL NETWORK TERMINAL (ONT)	51
3.13 TOPOLOGIAS DE REDES ÓPTICAS	52
3.13.1 Ponto-a-ponto	53
3.13.2 Ponto-multiponto	53
3.13.3 Malha	54
3.13.4 Estrela	55
3.13.5 Anel	55
3.13.6 Barramento	56
3.14 ARQUITETURAS DE REDES ÓPTICAS	57
3.14.1 Fiber To The Apartment (FTTA)	57
3.14.2 Fiber To The Building (FTTB)	58
3.14.3 Fiber To The Curb (FTTC)	58
3.14.4 Fiber To The Home (FTTH)	59
4 DISCUSSÃO	60
4.1 PROVEDORES E A FIBRA ÓPTICA	60
4.2 PROJETOS E AMPLIAÇÕES DE REDES ÓPTICAS	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	64

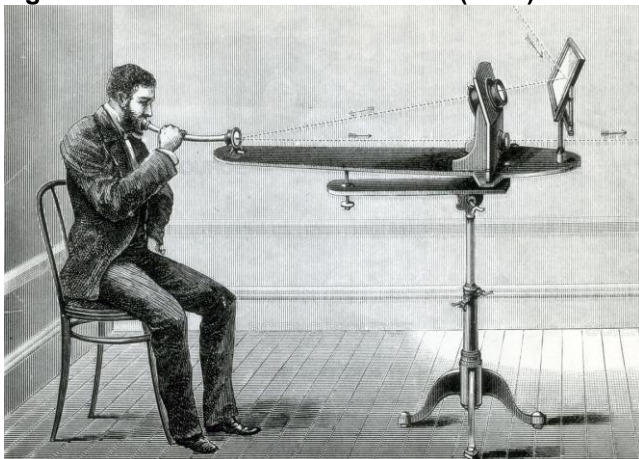
1 INTRODUÇÃO

O atual momento da tecnologia é resultado de muitas invenções e descobertas grandiosas. Alguns dos principais fatores responsáveis por essa evolução são a nossa habilidade de transmitir informações e os meios que utilizamos para tal. Progredindo do fio de cobre de um século atrás para o cabo de fibra óptica de hoje, nossa capacidade crescente de transmitir dados mais rapidamente e por distâncias maiores expandiu os limites do nosso desenvolvimento tecnológico em todas as áreas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A comunicação através da luz não é nova, tendo sido desenvolvida por Alexander Graham Bell para uma de suas invenções, o fofone (Figura 1). Tratava-se de um dispositivo de telecomunicações que permitia a transmissão da fala em um feixe de luz. Foi inventado nos Estados Unidos em fevereiro de 1880 por Bell, em conjunto com seu assistente Charles Sumner Tainter. Uma demonstração da invenção aconteceu em junho de 1880, quando uma mensagem de voz foi transmitida por Tainter, do telhado da Franklin School – em Washington D.C. – para as janelas do laboratório de Bell, a 200 metros de distância, através de um telefone, porém sem o a utilização de fios. A patente do fofone foi emitida em dezembro de 1880, quase 100 anos antes de seus princípios terem aplicações práticas (SCIENCE SOURCE, 2019, tradução nossa).

Figura 1 – Fofone de Graham Bell (1880)



Fonte: Science Source (2019).

No verão de 1970, uma equipe de pesquisadores começou a experimentar sílica fundida, um material de extrema pureza, com alto ponto de fusão e baixo índice de refração. Pesquisadores da Corning Glass – Robert Maurer, Donald Keck e Peter Schultz – inventaram o fio de fibra óptica, que proporcionou uma evolução considerável se comparado ao fio de cobre, utilizado até então. Esse novo tipo de fio era capaz de transmitir 65000 vezes mais informações, utilizando um padrão de ondas de luz como forma de transporte, as quais eram decodificadas no destino, com distância máxima de 1500 metros. Em 1973, John MacChesney desenvolveu um processo de deposição de vapor químico modificado para a fabricação de fibras no Bell Labs. Esse processo liderou a fabricação comercial de cabos de fibra óptica naquela época (ALWAYN, 2004, tradução nossa).

1.2 PROBLEMA

Os cabos de fibra óptica de hoje oferecem largura de banda quase ilimitada e inúmeras vantagens sobre todos os meios de transmissão tradicionais. Os usos da fibra óptica hoje são bastante numerosos. Com a explosão de tráfego de informações devido à facilitação do acesso à internet, comércio eletrônico, redes de computadores, multimídia, voz, dados e vídeo, a necessidade de um meio de transmissão com os recursos de largura de banda para lidar com quantidades tão vastas de informações é fundamental.

Nas últimas décadas, empresas como AT&T e Verizon nos Estados Unidos e Oi, Vivo e NET (Claro) no Brasil, por exemplo, passaram a usar cabos de fibra óptica para prover serviços de internet em suas redes, com velocidades variando entre 150 Mbps nos planos mais simples (no Brasil), até 1 Gbps nos mais completos (nos EUA/Canadá), muito diferente dos primeiros serviços que tinham como base linhas telefônicas (*dial-up*), seguidos da tecnologia *Digital Subscriber Line* (DSL), com velocidades variando entre 128 kbps à 52 Mbps (SILVA, 1997). No entanto, apesar do declínio, cabos metálicos ainda são muito utilizados por empresas, principalmente no Brasil, para prover serviços de telefonia, embora estejam em constante migração e modernização para também receber a fibra óptica como meio de transmissão nesse tipo de serviço.

Empresas como essas, denominadas provedores de internet ou *Internet Service Providers* (ISPs) precisam de sistemas seguros, confiáveis e de arquitetura

facilmente escalável para transferir informações de seus *Data Centers* até os seus clientes. Para isso são utilizadas algumas tecnologias que a fibra óptica oferece, as quais serão abordadas no decorrer deste trabalho, como a *Gigabit Passive Optical Network* (GPON), a *Ethernet Passive Optical Network* (EPON) e as arquiteturas *Fiber to the "X"* (FTTX), onde "X" pode remeter a "*Apartment*" (FTTA), "*Building*" (FTTB), "*Home*" (FTTH), "*Curb*" (FTTC), entre outras.

Com este trabalho, pretende-se transmitir conhecimentos a respeito das fibras ópticas e suas tecnologias utilizadas pelos provedores de internet hoje em dia, visando uma melhor compreensão de um tópico tão importante e atual. Tendo em vista que hoje quase tudo é digital e virtual e que a demanda por internet de alta velocidade cresce a cada ano, proporcionalmente ao consumo de mídias digitais pela população, como a fibra óptica pode ser utilizada pelos provedores de internet para fornecer os serviços desejados?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar o conceito e as utilidades da fibra óptica de uma forma simples, direta e acessível, descrevendo suas principais aplicações e tecnologias no âmbito dos provedores de internet.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos a serem atingidos são:

- Explicar o conceito de fibra óptica e sua teoria;
- Apresentar os componentes de uma rede óptica;
- Descrever as principais tecnologias, topologias e arquiteturas de redes ópticas utilizadas atualmente pelos provedores de internet;
- Discutir as aplicações e apresentar noções de como uma rede óptica é projetada e ampliada por um provedor.

1.4 JUSTIFICATIVA

Esta monografia de especialização é endereçada à comunidade científica e poderá servir também como base de consulta para estudantes ou profissionais da área de Telecomunicações e Tecnologia da Informação, que tenham curiosidade e interesse em aprender sobre o tema. Tem como utilidade apresentar, de uma forma simples, direta e acessível, através de análises, descrições e discussões, os mais diversos tipos de implementações da fibra óptica por provedores de internet ao redor do mundo. Possui um elevado grau de importância para a área de Telecomunicações, pois trata-se de um assunto que é uma das tendências para o futuro das redes de dados e que está diretamente ligado aos setores de tecnologia da informação e serviços.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente monografia está dividida em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo foi introduzido o tema do trabalho e também foram abordados a motivação e os objetivos geral e específicos, a justificativa e a estrutura geral do mesmo.

Já no segundo capítulo, “Fundamentação Teórica”, será abordada a teoria física por trás desse meio de comunicação, os seus tipos, assim como as janelas de transmissão de dados, vantagens e desvantagens de sua utilização.

A seguir, no terceiro capítulo, “Desenvolvimento”, serão explicados os conceitos de rede óptica ativa e passiva, assim como as tecnologias EPON e GPON, as quais são, atualmente, as mais utilizadas pelos provedores de internet. Serão descritos os principais equipamentos e dispositivos que fazem parte de uma rede óptica, além das topologias e arquiteturas de redes ópticas do tipo FTTX mais utilizadas.

No quarto capítulo, “Discussão”, será mostrado, por meio da exposição de dados estatísticos, como os provedores, em geral, utilizam a fibra óptica atualmente e as tendências para futuros tipos de aplicações. Também será abordado, de maneira geral, como essas empresas projetam e ampliam suas redes ópticas.

Por último, no quinto capítulo, “Considerações Finais”, serão retomados a pergunta de pesquisa e os objetivos, descrevendo como foram solucionados ou respondidos por meio do trabalho realizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é apresentar a teoria física por trás da comunicação por fibra óptica, os tipos de fibra existentes, a transmissão de dados em seu interior, assim como as vantagens e desvantagens do seu uso.

2.1 A FIBRA ÓPTICA

Há muito tempo o ser humano utiliza-se dos fenômenos ópticos no que diz respeito a comunicação ou transmissão de informações entre dois pontos distantes entre si. Desde sinais de fumaça até o *laser*, os sistemas de comunicação foram aprimorados, tornando-se cada vez mais sofisticados, de acordo com a crescente demanda da sociedade por informação em tempo real.

Estamos acostumados com a ideia de que dados, ou informações, viajam de maneiras diferentes. Por exemplo, quando falamos por um telefone fixo, um cabo de metal transporta os sons da nossa voz para um soquete na parede, onde, desse mesmo lugar, parte outro cabo que o leva até uma central telefônica local. A fibra óptica funciona de uma outra maneira: ela envia informações codificadas em um feixe de luz por um tubo de vidro ou plástico. De acordo com Giozza, Conforti e Waldman (1991, p. 15), a fibra óptica pode ser definida da seguinte forma:

A fibra óptica, por sua vez, corresponde ao meio onde a potência luminosa, injetada pelo emissor de luz, é guiada e transmitida até o fotodetector. Formada por um núcleo de material dielétrico (em geral, vidro) e por uma casca de material dielétrico (vidro ou plástico) com índice de refração ligeiramente inferior ao do núcleo, a fibra óptica propaga a luz por reflexões sucessivas. Esta estrutura básica da fibra óptica, na prática, é envolta por encapsulamentos plásticos de proteção mecânica e ambiental, formando um cabo óptico que pode conter, conforme a aplicação, uma ou mais fibras. (GIOZZA; CONFORTI; WALDMAN, 1991, p. 15).

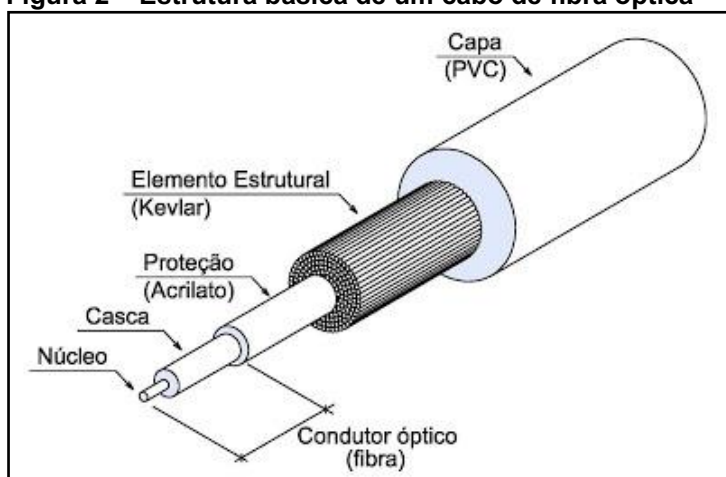
Os cabos de fibra óptica transportam informações entre dois locais usando a tecnologia totalmente óptica (baseada em luz). Para exemplificar de uma forma simples, suponha que uma pessoa queira enviar informações de um computador para outro, usando um cabo de fibra óptica. Dessa forma, poderia conectar um computador a um *laser*, que converteria informações da máquina, passadas na forma de pulsos elétricos, em uma série de pulsos de luz. Então esse *laser* seria disparado pelo cabo de fibra óptica. Depois de percorrer o cabo, os feixes de luz

emergiriam na outra extremidade. Com o auxílio de um componente de detecção de luz no outro computador, como uma célula fotoelétrica por exemplo, seria necessário converter os pulsos de luz novamente em pulsos elétricos para que a máquina possa entendê-los.

2.2 ESTRUTURA

Conforme já mencionado, a fibra óptica apresentada na Figura 2, em geral, é formada por um material dielétrico (vidro ou plástico) com um núcleo e uma casca do mesmo material dielétrico, e com o índice de refração da casca ligeiramente inferior ao do núcleo. Além desta estrutura básica, a fibra é envolta por encapsulamentos plásticos com a função de protegê-la fisicamente (SCHWINGEL, 2016, p. 23).

Figura 2 – Estrutura básica de um cabo de fibra óptica



Fonte: Montoro (2013).

O núcleo fino é cercado por um revestimento de fachada, ou casca, aproximadamente dez vezes maior em diâmetro, uma proteção externa (cerca do dobro do diâmetro do revestimento), algumas fibras de reforço feitas de um material resistente, como o *Kevlar* e, finalmente, uma capa de PVC externa do lado de fora.

2.3 TIPOS DE FIBRAS

As fibras ópticas transmitem sinais de luz nos chamados modos, isto é, maneiras diferentes da luz viajar. Um modo é simplesmente o caminho que um feixe de luz segue pela fibra. Uma forma é ir direto para o meio da fibra, outra é rebater a

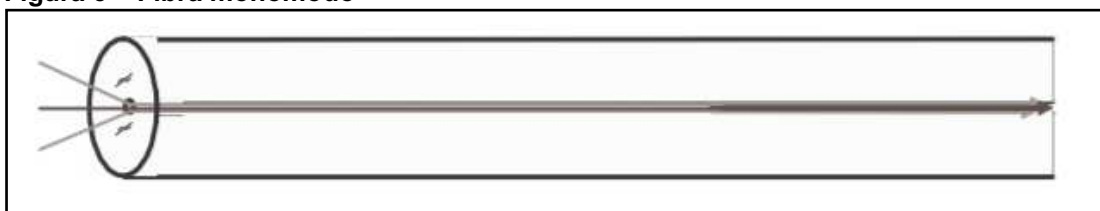
fibra em um ângulo raso. Outros modos envolvem rebater a fibra em outros ângulos, mais ou menos íngremes. O número real de modos que podem ser propagados em uma fibra óptica é determinado pelo comprimento de onda da luz e pelo diâmetro e índice de refração do núcleo da fibra.

2.3.1 Monomodo

O tipo mais simples de fibra óptica é o chamado monomodo. Possui um núcleo muito fino com cerca de 8 a 10 μm (micrômetros) de diâmetro. Em uma fibra monomodo, todos os sinais viajam direto pelo centro da mesma, sem ricochetear nas bordas, diminuindo ainda mais a dispersão do pulso de luz. Suas principais características são a capacidade de transmissão muito superior e seu baixo valor de atenuação, proporcional à distância percorrida pela luz.

Nas fibras ópticas do tipo monomodo, apresentada na Figura 3, a luz é guiada e transmitida através do fenômeno da difração. Dessa forma, para fabricar uma fibra como essa, torna-se necessário reduzir a diferença entre índices de refração dos meios, assim como reduzir o diâmetro do núcleo e aumentar o comprimento de onda da luz incidente (MALDONADO; MATOS, 2003, p. 4).

Figura 3 – Fibra monomodo



Fonte: Maldonado e Matos (2003).

2.3.2 Multimodo

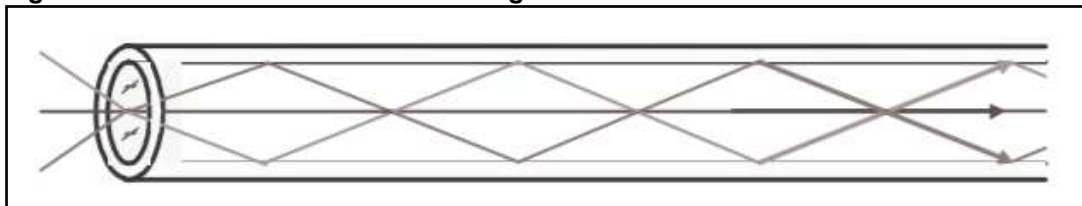
Outro tipo de fibra óptica é o chamado multimodo. Isso significa que os feixes de luz podem viajar através do seu grande núcleo (cujo diâmetro pode variar entre 50 e 62,5 μm), seguindo uma variedade de caminhos diferentes, ou seja, em vários modos diferentes. Dessa forma, aumenta-se o número de reflexões criados à medida que a luz passa pelo núcleo, criando a capacidade de mais dados passarem em um determinado momento. Devido à alta taxa de dispersão e atenuação desse tipo de fibra, a qualidade do sinal é reduzida em longas distâncias, sendo utilizado normalmente em curtas distâncias.

Dependendo da variação do índice de refração do núcleo em relação à casca, pode-se classificar as fibras multimodo em dois outros subtipos: as de índice degrau e as de índice gradual.

2.3.2.1 Fibra de índice degrau (step index)

Trata-se do primeiro e mais simples tipo de fibra multimodo já inventado, apresentando características geralmente inferiores a outros tipos. O núcleo de uma fibra de índice degrau, apresentado na Figura 4, tem um índice uniforme de refração até a interface de revestimento, onde ele muda de maneira gradual. Como os diferentes modos em uma fibra de índice degrau percorrem caminhos de tamanhos diferentes em sua jornada pela fibra, as distâncias de transmissão de dados devem ser mantidas curtas para evitar problemas com atenuação do sinal. Com a potência luminosa sendo transportada em sua maior parte no núcleo da fibra, a espessura da casca não afeta a propagação dos modos (MALDONADO; MATOS, 2003, p. 4).

Figura 4 – Fibra multimodo de índice degrau

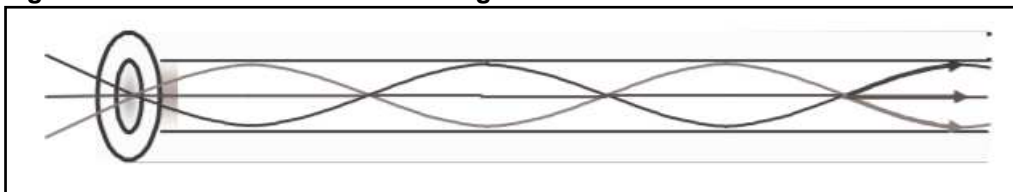


Fonte: Maldonado e Matos (2003).

2.3.2.2 Fibra de índice gradual (graded index)

Estes tipos de fibras, apresentada na Figura 5, são bem mais utilizados que o anterior. Entretanto, sua fabricação é mais complexa, pois o índice de refração gradual do núcleo é conseguido somente através de dopagens diferenciadas do material. Isto faz com que o índice de refração diminua gradualmente do centro do núcleo até a casca. Na prática, este índice gradual faz com que os raios de luz percorram caminhos diferentes, em velocidades também diferentes, fazendo com que cheguem até a outra extremidade da fibra aproximadamente ao mesmo tempo, aumentando a banda passante e, conseqüentemente, a capacidade de transmissão da fibra óptica (MALDONADO; MATOS, 2003, p. 4).

Figura 5 – Fibra multimodo de índice gradual



Fonte: Maldonado e Matos (2003).

2.4 FUNCIONAMENTO

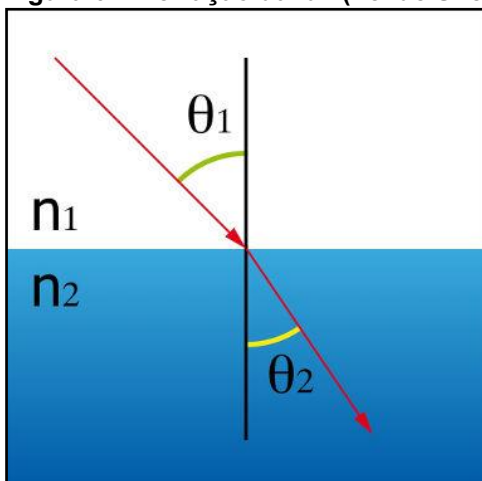
O funcionamento da fibra óptica está diretamente relacionado com os princípios da óptica geométrica. A refração da luz dentro da fibra é observada quando o feixe de luz emerge de um meio mais denso (núcleo) para um menos denso (casca). A refração é um fenômeno óptico ligado às diferenças de velocidade de propagação da luz em meios materiais, em relação ao seu comprimento de onda. Quanto maior o índice de refração do material, menor a velocidade de propagação da luz. Com a alteração da velocidade de propagação, ocorre um desvio da direção original. A lei de Snell, apresentada na Figura 6, é utilizada para calcular o desvio da luz, quando seus raios mudam de meio. É expressa por (SCHWINGEL, 2016, p. 22):

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Onde:

- n_1 representa o índice de refração do núcleo;
- n_2 representa o índice de refração da casca;
- θ_1 representa o ângulo do raio incidente;
- θ_2 representa o ângulo de refração.

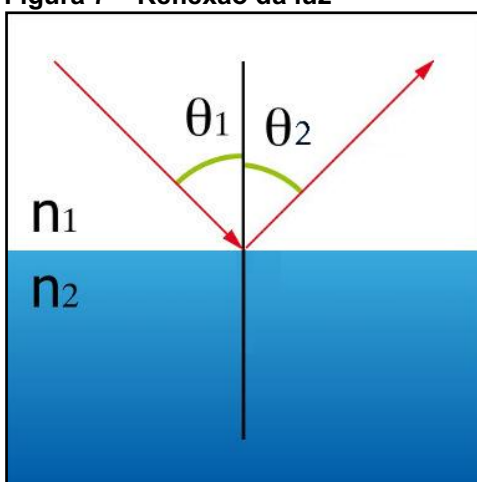
Figura 6 – Refração da luz (Lei de Snell)



Fonte: Silva Júnior (2019).

A fibra óptica é projetada de modo com que o ângulo de incidência da luz seja maior que o ângulo crítico, permitindo a reflexão total. A reflexão da luz, apresentada na Figura 7, é a mudança de direção que o feixe de luz sofre quando se choca com uma superfície plana. Outra característica do fenômeno da reflexão é que não há alteração do comprimento da onda incidente e refletida, assim como nos ângulos de ambos.

Figura 7 – Reflexão da luz



Fonte: Silva Júnior (2019).

O perfil de índices de refração da fibra óptica é representado pela diferença do índice de refração do núcleo em relação à casca obtida utilizando-se materiais dielétricos distintos ou através da adição de materiais semicondutores ao material dielétrico. As frequências e comprimento de onda suportados são determinados pelo tipo de material usado, assim como níveis de atenuação correspondentes. Já a capacidade de transmissão depende da geometria e do perfil de índices de refração da fibra óptica (MALDONADO; MATOS, 2003, p. 1).

A transmissão por fibra óptica possui alta qualidade, baixa perda e proporciona grande largura de banda. Isso pode fornecer uma taxa de transmissão de dados mais alta, reduzindo o número de fios e repetidores, assim como a complexidade da rede. Gates (1995, p. 47) faz a seguinte descrição a respeito do funcionamento da fibra óptica:

Os *bits* viajarão através de fios de cobre, pelo ar e pela estrutura da estrada da informação, que será em grande parte composta por fios de fibra óptica. A fibra óptica é um cabo feito de vidro ou plástico tão liso e puro que, se você olhar através de uma parede dessa fibra de mais de cem quilômetros, conseguirá enxergar uma vela acesa do outro lado. A enorme vantagem

que o cabo de fibra óptica leva sobre o fio convencional é a largura de banda. Quanto maior a largura de banda, mais bits de informação conseguem passar por cada circuito num segundo (GATES, 1995, p. 47).

2.5 JANELAS DE TRANSMISSÃO

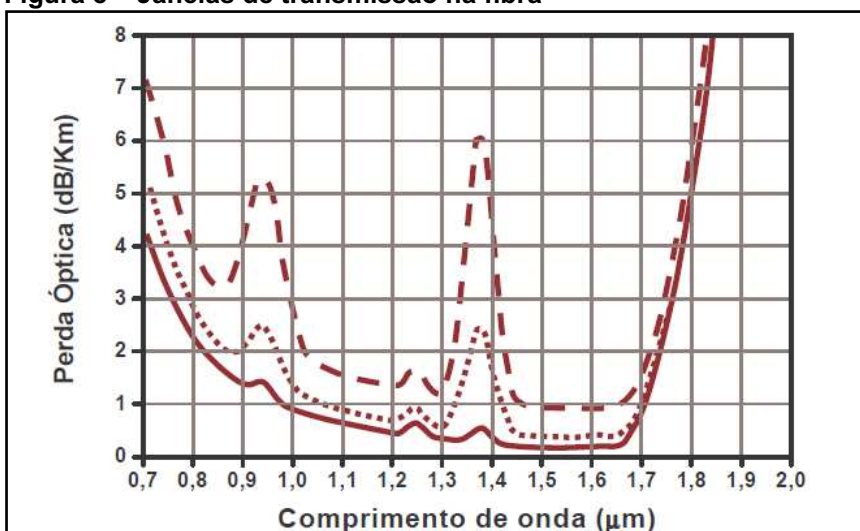
Sistemas de fibras ópticas foram desenvolvidos ao longo dos anos em uma série de gerações, as quais podem ser associadas às escolhas do comprimento de onda para transmissão. Segundo Schwingel (2016, p. 26), janelas de transmissões, apresentadas na Figura 8, são faixas dentro do espectro eletromagnético que apresentam valores mais comuns de comprimentos de onda mais utilizados em telecomunicações, em função de sua atenuação (Tabela 1).

Tabela 1 – Janelas de transmissão

Janela de Transmissão (nm)	Atenuação (dB/km)
820	2,5
1300	0,5
1550	0,3

Fonte: Adaptado de Schwingel (2016).

Figura 8 – Janelas de transmissão na fibra



Fonte: Maldonado e Matos (2003).

A região de 850 nm (nanômetros) foi utilizada inicialmente porque a tecnologia para fontes de luz neste comprimento de onda já estava aperfeiçoada, através de diodos emissores de luz visível e detectores de silício. Apesar do baixo custo, sua utilização tornou-se pouco atraente em função da alta atenuação da fibra (2,5 a 3 dB/km). Posteriormente, com o desenvolvimento de novas tecnologias de transmissores e detectores ópticos, passou-se a utilizar a segunda e terceira janela

de transmissão, sendo hoje as faixas mais utilizadas. Uma quarta janela, perto de 1625 nm, com perdas comparáveis à de 1550 nm, também é usada, principalmente para procedimentos de testes em manutenções de enlaces ativos (SCHWINGEL, 2016, p. 26).

2.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS

2.6.1 Vantagens

Os sistemas de fibra óptica possuem muitas vantagens sobre os sistemas de comunicação com base metálica. Segundo Massa (2000, p. 297, tradução nossa), estas vantagens incluem:

- **Transmissão de sinal em longa distância:** a baixa atenuação e a integridade superior do sinal encontradas nos sistemas ópticos permitem maiores intervalos de transmissão de sinal que os sistemas metálicos. Enquanto sistemas de cobre com mais de 2 km requerem um alto nível de sinal para mostrar um desempenho satisfatório, não é incomum que sistemas ópticos passem de 100 km, sem nenhum tipo de processamento ativo ou passivo.
- **Grande largura de banda, peso leve e diâmetro pequeno:** as aplicações de hoje exigem uma quantidade cada vez maior de largura de banda. Conseqüentemente, é importante considerar a forma de utilização dessa banda nos usuários finais. É comum instalar um novo cabeamento dentro dos sistemas ou dutos já existentes. O pequeno diâmetro e a leveza do cabo óptico tornam essas instalações fáceis e práticas, economizando um valioso volume de espaço físico nesses ambientes.
- **Não condutividade:** outra vantagem das fibras ópticas é sua natureza dielétrica. Como a fibra óptica não possui componentes metálicos, pode ser instalada em áreas com interferência eletromagnética (EMI), incluindo interferência por radiofrequência (RFI). Áreas com alto EMI incluem linhas de serviços, linhas de transmissão de energia e ferrovias. Os cabos totalmente dielétricos também são ideais para áreas de alta incidência de relâmpagos.
- **Segurança:** ao contrário dos sistemas metálicos, a natureza dielétrica da fibra óptica torna impossível detectar remotamente o sinal que está sendo

transmitido dentro do cabo. A única maneira de fazer isso é acessando a fibra óptica fisicamente. O acesso à fibra requer intervenção facilmente detectável por vigilância de segurança. Essas circunstâncias tornam a fibra extremamente atraente para órgãos governamentais, bancos e outros com grandes preocupações em relação à segurança.

- **Projetada para necessidades futuras:** hoje, as fibras ópticas estão se tornando cada vez mais acessíveis. Em muitos casos, as soluções de fibra são menos caras que as de cobre. Como a demanda por largura de banda aumenta rapidamente com os avanços tecnológicos, as fibras continuarão a desempenhar um papel vital no sucesso a longo prazo das telecomunicações.

2.6.2 Desvantagens

De acordo com Maldonado e Matos (2003, p. 4), as seguintes desvantagens podem ser observadas nas fibras ópticas:

- **Fragilidade:** a fibra óptica é mais frágil que os cabos tradicionais e se não estiver revestida adequadamente, sua utilização pode ser comprometida.
- **Dificuldade de conexão:** devido ao seu tamanho reduzido, as fibras requerem alta precisão no manuseio e na realização de conexões e emendas.
- **Acopladores com perdas muito altas:** altos índices de perdas são inevitáveis na utilização de conectores em T para acoplamento de cabos ópticos. Isso geralmente torna a fibra óptica inviável para utilização com esses tipos de conectores em sistemas multiponto¹, por exemplo.
- **Impossibilidade de alimentação remota de repetidores:** para ser alimentado em um sistema de fibra óptica, cada repetidor de sinal precisa de uma fonte de energia independente. Portanto, torna-se impossível alimentar dispositivos na rede utilizando o próprio meio de transmissão do sinal.
- **Falta de padrão de alguns componentes:** o fato de a tecnologia de transmissão por fibra óptica continuar evoluindo não ajuda em nada o estabelecimento de padrões para os componentes de um sistema de transmissão desse tipo. Cada fabricante costuma criar padrões próprios.

¹ Quando mais de dois dispositivos são interligados usando apenas uma conexão. Esse termo será melhor desenvolvido no final do capítulo 3 deste relatório.

3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo possui a finalidade de explicar os conceitos de redes ópticas ativas e passivas, assim como as tecnologias, topologias e arquiteturas empregadas nestas. Também serão descritos os principais componentes encontrados nesse tipo de rede.

3.1 REDES ÓPTICAS ATIVAS E PASSIVAS

Conforme explicado anteriormente, as fibras ópticas usam sinais de luz para transmitir dados. À medida que esses dados se movem através de uma fibra, é preciso haver uma maneira de separá-los para que cheguem ao destino corretamente. Existem dois tipos de sistemas que possibilitam conexões de banda larga de fibra: as redes ópticas ativas (AON) e redes ópticas passivas (PON). Cada uma oferece maneiras de separar os dados e encaminhá-los para o local apropriado, possuindo vantagens e desvantagens quando comparados.

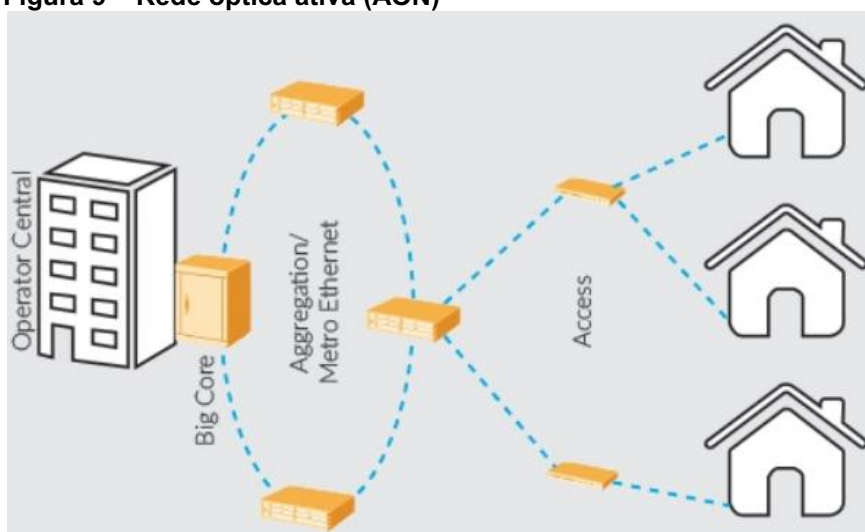
3.1.1 Redes Ópticas Ativas (AON)

Um sistema óptico ativo (*Active Optical Network* – AON) usa equipamentos de comutação com alimentação elétrica, como um roteador ou um comutador (*switch*), para gerenciar a distribuição de sinais e direcioná-los para clientes específicos. Esse *switch* alterna de várias maneiras para direcionar os sinais de entrada e saída para o local apropriado. Nesse sistema, um cliente pode ter uma fibra dedicada operando exclusivamente em seu ambiente

As redes ópticas ativas também oferecem certas vantagens. Sua dependência da tecnologia *Ethernet* promove a interoperabilidade entre fornecedores. Os assinantes podem optar por um *hardware* que fornece uma taxa de transmissão de dados apropriada e aumentá-la à medida que sua demanda cresce, sem reorganizar novamente a rede (CROSBY, 2019, tradução nossa).

As redes ópticas ativas, exemplificada na Figura 9, no entanto, também têm seus pontos fracos. Elas exigem pelo menos um agregador de *switch* para cada 48 assinantes. Por exigir energia elétrica, uma rede óptica ativa é inerentemente menos confiável que uma rede óptica passiva (CROSBY, 2019, tradução nossa).

Figura 9 – Rede óptica ativa (AON)



Fonte: Jansons (2015).

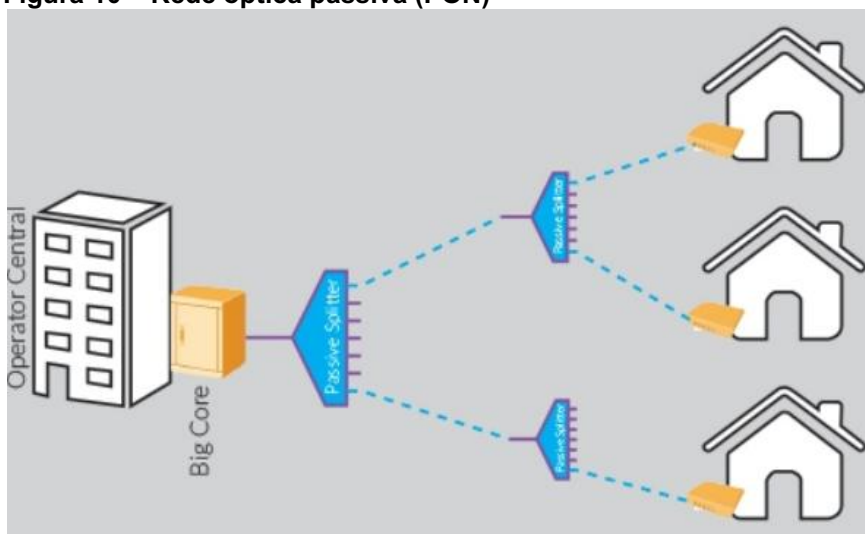
O Escritório Central (*Central Office – CO*) ou Ponto de Presença (*Point of Presence – POP*) é um centro de comutação em uma rede pública, o qual possui comutadores de grande capacidade com a finalidade de estabelecer várias conexões temporárias simultâneas entre linhas de assinantes, serviços e recursos de rede (KEISER, 2014, p. 513).

3.1.2 Redes Ópticas Passivas (PON)

Redes ópticas passivas (*Passive Optical Network – PON*), exemplificada na Figura 10, são redes de distribuição óptica que não necessitam alimentação elétrica para qualquer elemento ao longo da rede de acesso, podendo ser facilmente distribuída na região a ser atendida. Esse tipo de rede utiliza divisores ópticos para separar e coletar sinais à medida que eles se movem pela rede. Uma rede óptica passiva compartilha cabos de fibra por todas as porções da rede. O equipamento alimentado é necessário apenas na fonte e nas extremidades receptoras do sinal. No entanto, em alguns casos, alguns sistemas podem combinar elementos de arquiteturas passiva e ativa para formar um sistema híbrido.

A vantagem principal da rede PON é a eliminação dos dispositivos ativos externos. Todas as funções de processamento de sinais são concluídas nos comutadores e no equipamento dentro das instalações do usuário. Sua distância de transmissão é menor que a das redes AON. A cobertura também é menor, porém é de baixo custo e mais simples no que se refere a manutenção da rede (CROSBY, 2019, tradução nossa).

Figura 10 – Rede óptica passiva (PON)



Fonte: Jansons (2015).

As redes ópticas passivas também apresentam algumas desvantagens. Elas têm menos alcance do que uma rede óptica ativa, o que significa que os assinantes devem estar geograficamente mais próximos de uma central. As PONs também dificultam o isolamento de uma falha quando ela ocorre. Além disso, como a largura de banda em uma PON não é dedicada a assinantes individuais, a velocidade de transmissão de dados pode diminuir durante os períodos de pico de uso, em um efeito conhecido como latência. A latência degrada rapidamente serviços como áudio e vídeo, que precisam de uma taxa de transmissão adequada para manter a qualidade (CROSBY, 2019, tradução nossa).

3.2 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS

À medida que as demandas de largura de banda continuam aumentando para os provedores de internet, a versatilidade das redes de acesso também deve se expandir para atender a essa demanda crescente. As tecnologias de acesso à rede óptica se tornaram o foco principal para as operadoras que desejam se adaptar para o futuro. As tecnologias de redes ópticas *Ethernet Passive Optical Network* (EPON) e *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) são as mais populares atualmente em implementação e utilização em todo o mundo. Apesar de ambas tecnologias estarem disponíveis, implementações da tecnologia EPON são mais comumente encontradas na Ásia e na Europa, enquanto a GPON é mais comum em provedores na América do Norte e do Sul.

Um PON aproveita a multiplexação por divisão de comprimento de onda (*Wavelength Division Multiplexing* – WDM), usando um comprimento de onda para tráfego *downstream* e outro para tráfego *upstream* em uma fibra, de acordo com a ITU-T². Dessa forma, EPON e GPON têm o mesmo plano básico e usam a faixa de comprimento de 1480 a 1500 nm para *downstream* e de 1260 a 1360 nm para o tráfego *upstream*.

3.2.1 EPON

O EPON é um padrão desenvolvido pelo *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* (IEEE), através de uma iniciativa do grupo *Ethernet in the First Mile* (EFM). A organização responsável pelo EPON é o IEEE e suas especificações estão definidas na IEEE 802.3ah. O padrão original do IEEE remonta a 2004 e era de 1 Gbps. Desde então, a implantação de redes de fibra e a crescente demanda por serviços digitais têm aumentado os requisitos de largura de banda, fazendo com que um novo padrão para EPON que especifica 10 Gbps fosse ratificado pelo IEEE em 2009 (REEVES, 2013, tradução nossa). Tecnologias mais atuais, definidas pela IEEE 802.3ca em 2018 como *New Generation EPON* (NG-EPON), suportam taxas que chegam aos 100 Gbps, as quais se adequam aos padrões da era 5G das redes móveis.

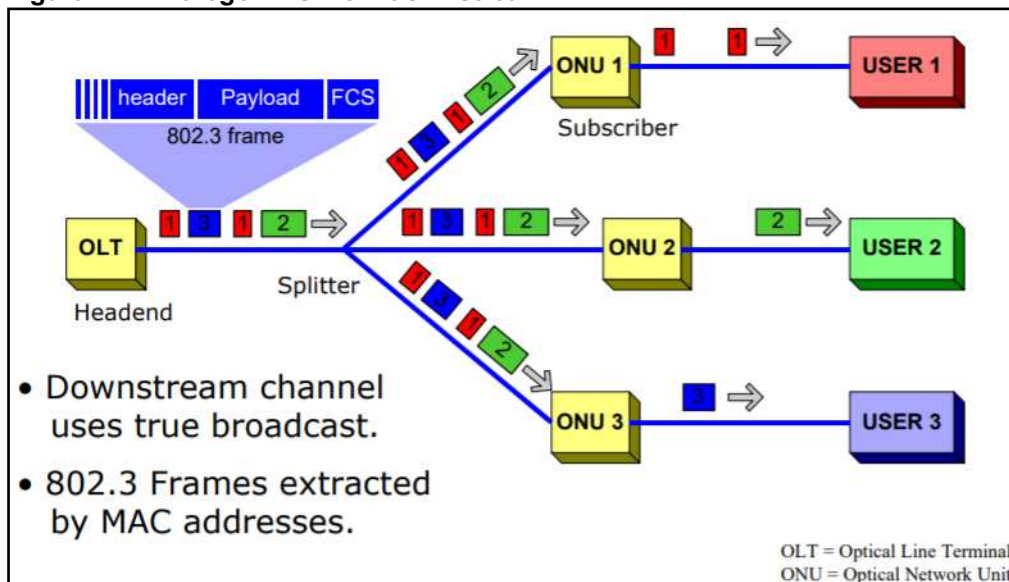
As redes EPON – também conhecidas por GEPON, onde o “G” corresponde a *Gigabit* – são as redes ópticas passivas mais recomendadas para os provedores iniciantes no mercado. Trata-se de uma tecnologia anterior às redes GPON e, de modo geral, é menos complexa e possui um custo mais acessível. Esse tipo de tecnologia aproveita ao máximo os recursos, a compatibilidade e o desempenho do protocolo *Ethernet* (FERRAUDO, 2019).

O EPON possui dois tipos diferentes: a) há o simétrico, onde a taxa de dados em *downstream* (exemplificado na Figura 11), corresponde à taxa de dados em *upstream* (exemplificado na Figura 12); e b) há o assimétrico, em que a taxa em *downstream* é maior que a taxa de dados em *upstream*. Geralmente, o EPON assimétrico é usado com 10 Gbps em *downstream* e 1 Gbps em *upstream*. Entretanto, o tipo simétrico é o mais utilizado pelos provedores, sendo também

² Recomendações do Setor de Normatização das Telecomunicações (*Telecommunication Standardization Sector* – ITU-T), que é uma área da União Internacional de Telecomunicações (*International Telecommunication Union* – ITU).

utilizado para fins de comparação com outros tipos de tecnologias de redes (REEVES, 2013, tradução nossa).

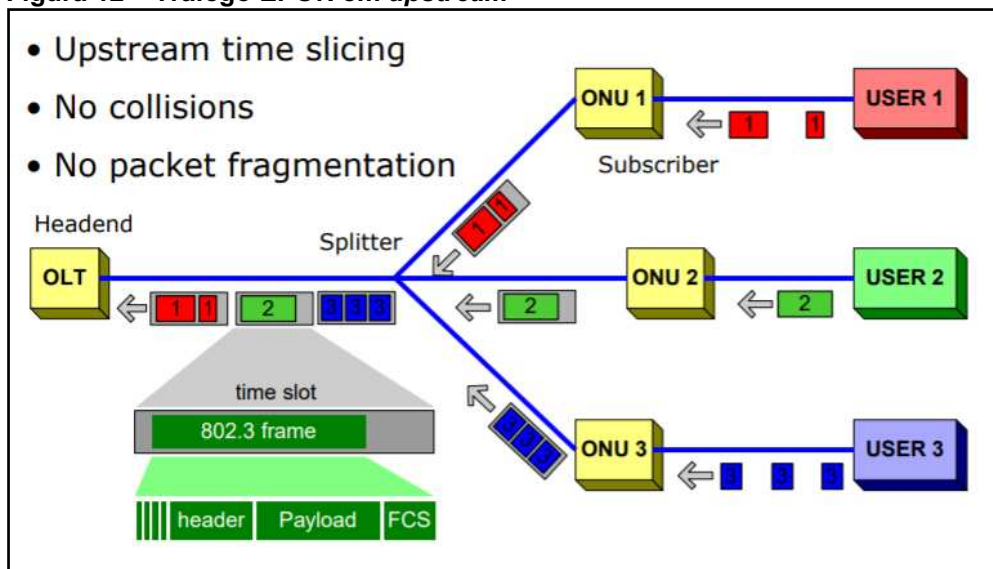
Figura 11 – Tráfego EPON em *downstream*



Fonte: IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee (2001).

Os sistemas EPON são caracterizados, em geral, por um terminal de linha óptica (OLT) e uma unidade de rede óptica (ONU) ou terminal de rede óptica (ONT)³, com uma rede interligando-os.

Figura 12 – Tráfego EPON em *upstream*



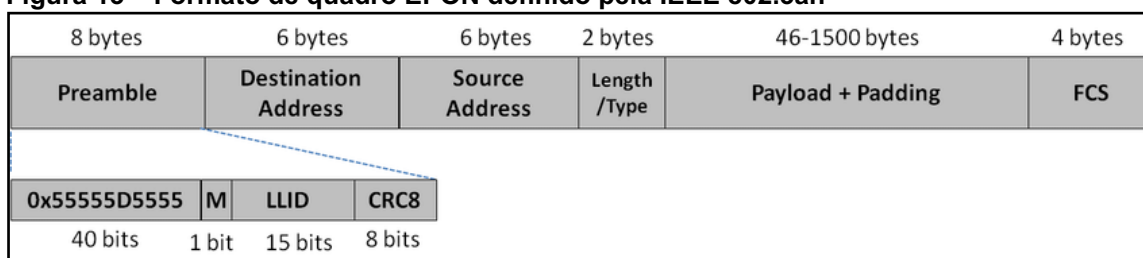
Fonte: IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee (2001).

³ Os termos OLT, ONT e ONU serão explorados com maiores detalhes a partir do tópico 3.11 deste capítulo.

Seguindo o formato *Ethernet* simples, o EPON também adiciona um protocolo de controle ponto-multiponto de 64 *bytes* no seu cabeçalho, para realizar a alocação de largura de banda, rodízio de largura de banda, descoberta automática e alcance no sistema. Trata-se de um protocolo de controle, no cabeçalho *Ethernet* da camada MAC, responsável por controlar o acesso à topologia ponto-multiponto por meio de mensagens, máquinas de estado e cronômetros para obter alocação dinâmica de largura de banda. No entanto, o protocolo não classifica as prioridades dos serviços. Dessa forma, todos os serviços competem pela largura de banda aleatoriamente (OPTCORE, 2017, tradução nossa).

O EPON, exemplificado na Figura 13, transmite dados em pacotes de comprimento variável de até 1518 *bytes*, conforme especificado pelo padrão IEEE 802.3, no qual o EPON se baseia. Os pacotes de tamanho variável do EPON são feitos sob medida para o tráfego IP e podem reduzir substancialmente a sobrecarga em comparação com outras tecnologias similares. Além disso, a maior proporção de dados por despesas gerais permite alta utilização com baixo custo, porém suporta um alcance de até 20 km de extensão de rede, desde a subestação até o cliente final (NEW WAVE DV, 2020, tradução nossa).

Figura 13 – Formato de quadro EPON definido pela IEEE 802.3ah



Fonte: IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee (2001).

3.2.2 GPON

Em 2001, o consórcio *Full Service Access Network* (FSAN), teve a iniciativa de padronizar as redes ópticas passivas operando na casa dos 1 Gbps. A padronização elaborada pela FSAN foi aprovada e publicada pela ITU-T em 2003, como recomendação G.984 (SILVA, 2015).

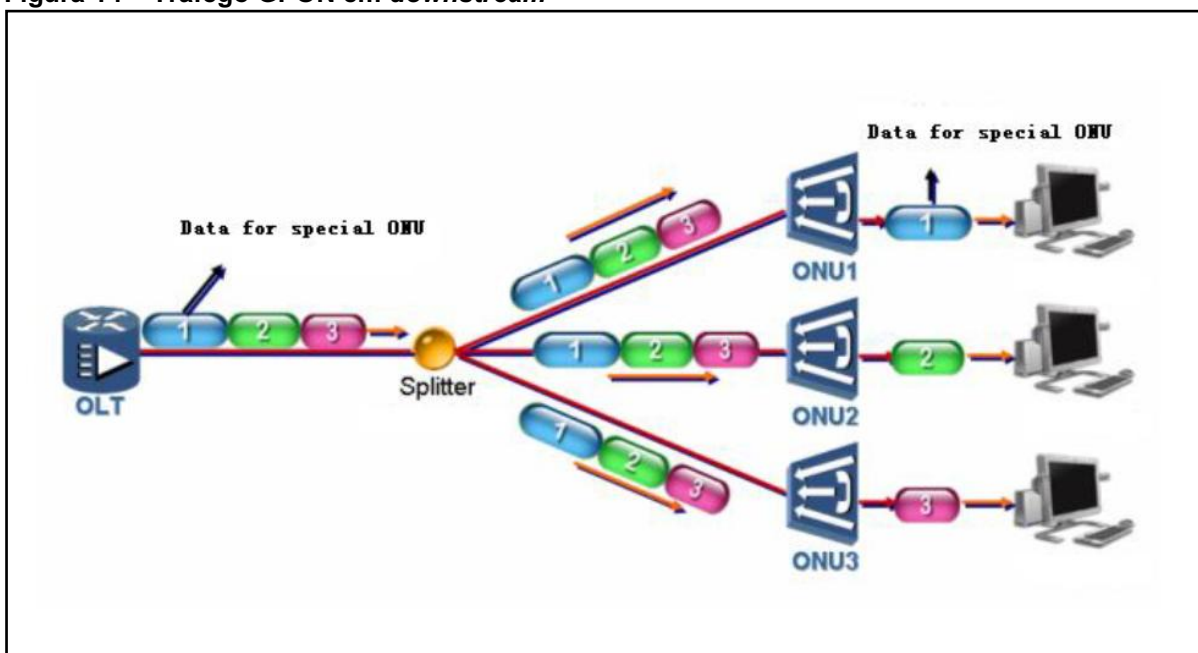
De acordo com Keiser (2014, p. 562), “o GPON suporta uma variedade de níveis de taxa de dados, que podem suportar taxas assimétricas de *upstream* e

downstream. A rede GPON combina as características de uma rede ATM⁴ com características da rede *Ethernet* visando proporcionar uma utilização mais eficiente e flexível. O GPON oferece velocidades em *downstream* de 2,5 Gbps e em *upstream* de 1,25 Gbps. Assim como a EPON, as tecnologias de nova geração da GPON permitem que essas velocidades cheguem aos 100 Gbps”.

A tecnologia de rede GPON suporta um esquema WDM de dois comprimentos de onda para *downstream* e *upstream*. Possui alcance de até 60 km de extensão, desde a subestação até o cliente final. Assim como a EPON, os sistemas de distribuição GPON são formados por um OLT e uma ONU ou ONT. Há, em geral, uma relação ponto-multiponto entre o OLT e as ONUs/ONTs (SILVA, 2015).

No sentido de *downstream*, exemplificado na Figura 14, os dados são enviados em *broadcast*, ou seja, o envio não é direcionado. Toda informação provida pelo OLT é repassada a todas ONUs/ONTs da rede, mas cada dispositivo filtra as informações que lhe são destinadas. Isso se deve a uma técnica chamada *Time Division Multiplexing* (TDM), a qual proporciona que as informações de cada ONU/ONT sejam divididas no tempo (SILVA, 2015).

Figura 14 – Tráfego GPON em *downstream*

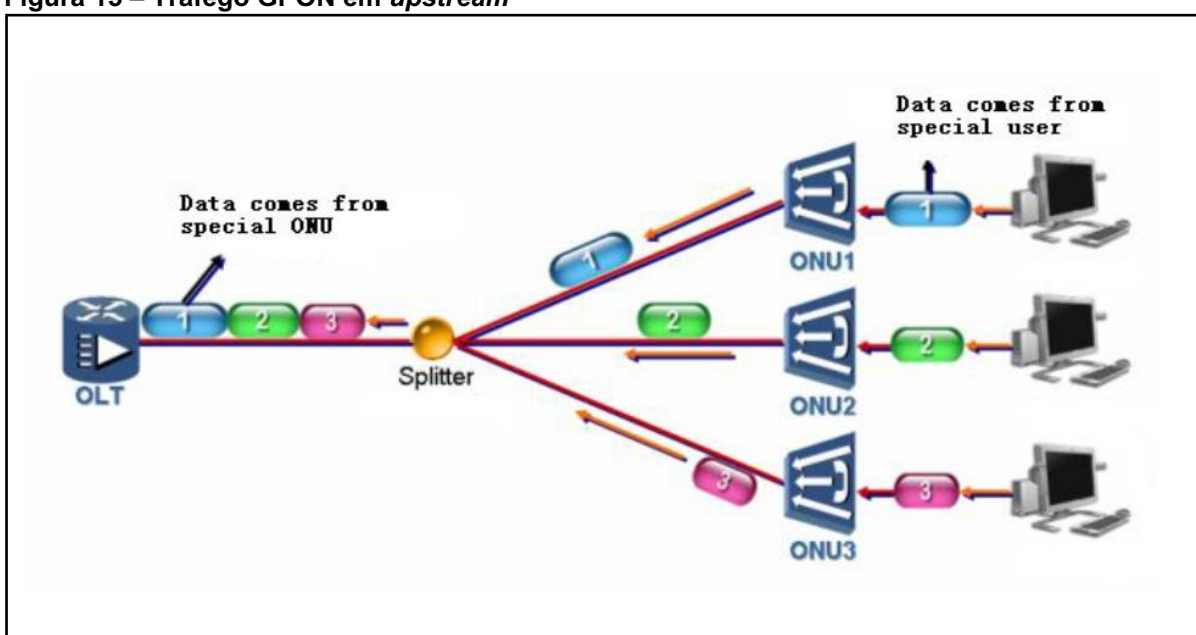


Fonte: Silva (2015).

⁴ ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) é, de acordo com o *ATM Forum*, um conceito de telecomunicações definido pelos padrões ANSI e ITU para transporte de uma variedade completa de tráfego de usuários, incluindo sinais de voz, dados e vídeo.

De acordo com Silva (2015), “o quadro *downstream* do GPON consiste do *Physical Control Block downstream* (PCBd), que é o bloco responsável pelo controle físico, provendo a localização do quadro, sincronização e funções de alocação de largura de banda, assim como a seção de *Payload*, usada para carregar os dados de *downstream*. Já o quadro de *upstream* (Figura 15) contém vários *bursts*, ou rajadas de transmissão. De acordo com a recomendação ITU-T G.984.3, cada *burst* resulta em uma sessão *Physical Layer Overhead upstream* (PLOu) e em um ou mais intervalos de alocação de banda associados com *ALLOC_IDs*”.

Figura 15 – Tráfego GPON em *upstream*

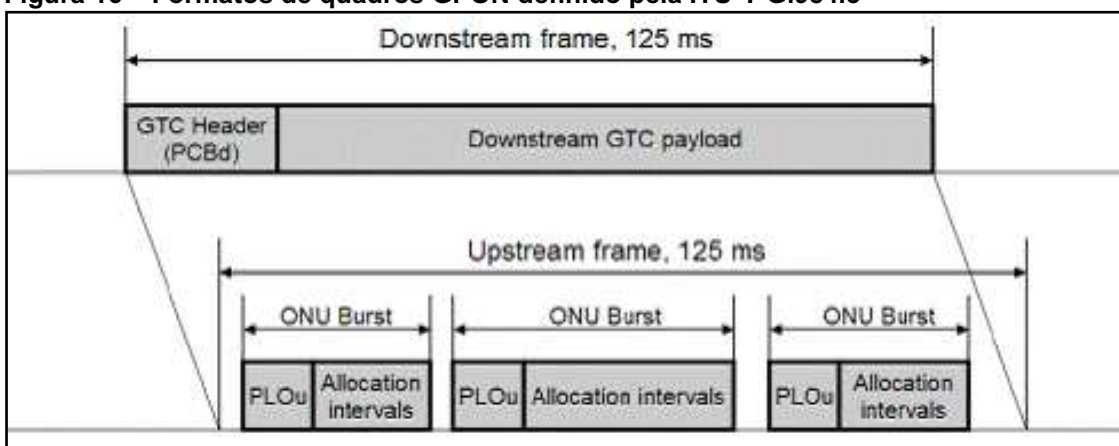


Fonte: Silva (2015).

Ainda segundo Silva (2015), “em *upstream*, a transmissão é feita a partir de um arranjo TDMA⁵. Cada ONU/ONT tem seu tempo predefinido para realizar a transmissão de seus dados para o OLT. Para evitar colisões, o OLT fica responsável por administrar o momento em que cada ONU/ONT deve realizar a transmissão, sendo que cada quadro em *upstream* possui um tempo fixo de 125 ms (Figura 16), assim como no *downstream*”.

⁵ Do inglês *Time Division Multiple Access*, que significa múltiplo acesso por divisão de tempo. Utilizando essa técnica é possível, por exemplo, fazer com que várias vozes sejam intercaladas com intervalos de milésimos de segundo (imperceptíveis para o usuário), o que permite que três pessoas, em média, falem simultaneamente no mesmo canal.

Figura 16 – Formatos de quadros GPON definido pela ITU-T G.984.3



Fonte: Silva (2015).

Segundo Keiser (2014, p. 568), “uma vez que os dados no fluxo a partir do OLT são transmitidos para todos as ONUs/ONTs, cada mensagem transmitida pode ser vista por todos os usuários ligados à rede GPON. Dessa forma, o padrão GPON descreve o uso de um mecanismo de segurança da informação para garantir que os usuários tenham permissão para acessar apenas os dados destinados a eles”.

O método de encapsulamento GPON fornece um meio genérico para enviar diferentes serviços ao longo de uma rede desse tipo. A carga encapsulada pode ser de até 1500 *bytes* de comprimento. Se uma ONU/ONT tiver um pacote a ser enviado que seja maior que 1500 *bytes*, ela deve quebrar o mesmo em fragmentos menores, que se encaixem no comprimento de carga permitido. O equipamento de destino é responsável pela montagem dos fragmentos no formato do pacote original (KEISER, 2014, p. 568).

Finalmente, ao comparar as tecnologias EPON e GPON com algumas das baseadas em cabos metálicos, tem-se os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre serviços ofertados em fibra e em cabo metálico

Serviço	Meio de Transmissão	Taxa de download (Mbps)	Taxa de upload (Mbps)	Alcance Físico (km)
<i>Assymetrical Digital Subscriber Line (ADSL)</i>	Par trançado	8	0,64	2,4
<i>Very high-speed Digital Subscriber Line (VDSL)</i>	Par trançado	40	6,4	0,4
<i>Hybrid Fiber Coax (HFC)</i>	Fibra óptica e cabo coaxial	57	9,2	25
<i>Ethernet Passive Optical Network (EPON)</i>	Fibra óptica	1250	1250	60
<i>Gigabit Passive Optical Network (GPON)</i>	Fibra óptica	1250 - 2500	150 - 2500	60

Fonte: Adaptado de Silva (2015).

3.3 CABOS ÓPTICOS

Para iniciar a oferta de serviços de banda larga, os provedores precisam fazer algumas aquisições obrigatórias e um investimento muito considerável na sua infraestrutura, principalmente no que se refere ao novo cabeamento utilizado.

Na maioria das aplicações, a fibra óptica deve ser protegida das hostilidades do ambiente na qual está localizada, usando uma variedade de tipos de cabeamento, com base no tipo de ambiente. Dessa forma, o cabo óptico pode ser definido como uma estrutura composta por uma ou mais fibras ópticas, montada de tal forma que proporciona a elas resistência mecânica e proteção contra intempéries.

A sua construção varia de acordo com o tipo do cabo. Um cabo é basicamente composto por uma parte central – onde ficam acomodadas as fibras ópticas – um conjunto de materiais com a finalidade de dar sustentação mecânica e uma ou mais camadas externas com a função de proteção contra intempéries. A estrutura de acomodação da fibra pode ser dar pelas formas descritas a seguir.

3.3.1 Cabo Tipo Loose

Neste tipo de estrutura, apresentada na Figura 17, as fibras são acomodadas dentro de um tubo, também conhecido como tubete, com diâmetro muito maior que o das fibras. As fibras ficam soltas e isoladas, protegidas das tensões externas, tais como tração e flexão do cabo ou variações de temperatura. A quantidade de fibras por tubete pode variar de um a doze. Com a finalidade de isolar as fibras da umidade externa, normalmente, é aplicado um gel derivado de petróleo ou um pó hidro expansível sobre as mesmas.

Este tipo de cabo é usado em sistema de comunicações de longas distâncias e ficam instalados em dutos, postes, enlaçamentos suspensos, percursos sujeitos a variações externas de temperaturas, enterrados ou na água (MALDONADO; MATOS, 2003, p. 5).

Figura 17 – Cabo tipo *loose*

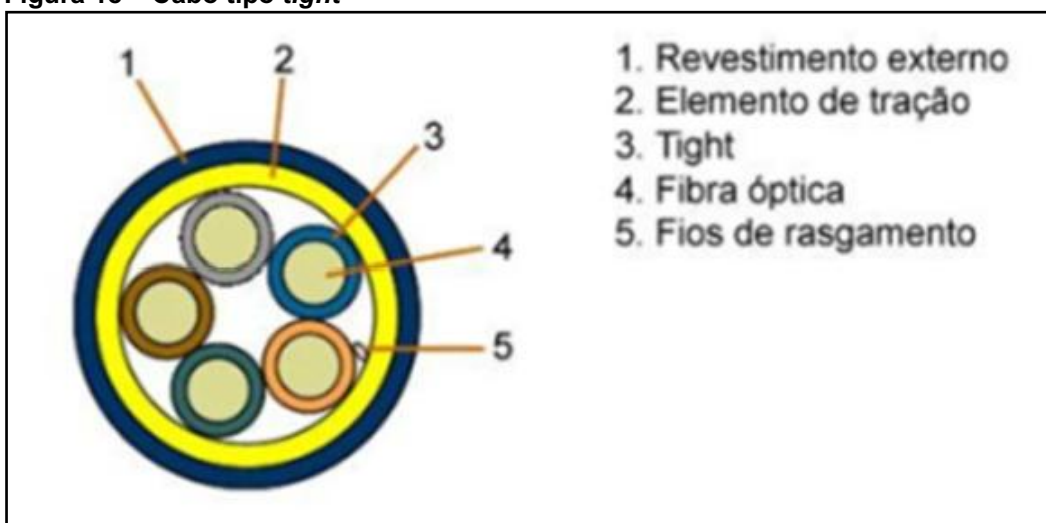


Fonte: Schwingel (2016).

3.3.2 Cabo Tipo Tight

Diferentemente do tipo *loose*, neste as fibras são revestidas de plástico, e acima deste recebem um revestimento secundário de *nylon* ou poliéster. Em seguida são agrupadas juntas, dentro de um elemento de tração que irá proporcionar resistência mecânica. Este tipo de cabo, apresentado na Figura 18, é usado em aplicações internas de curtas distâncias, onde suas características de revestimentos se mostram muito favoráveis (MALDONADO; MATOS, 2003, p. 5).

Figura 18 – Cabo tipo *tight*



Fonte: Schwingel (2016).

3.3.3 Cabo Tipo Groove

Neste tipo de estrutura, apresentada na Figura 19, as fibras ficam depositadas de modo não aderente (soltas) em núcleo ranhurado em “V”. Também é conhecida como estrutura em estrela e geralmente possui um elemento tensor no centro do núcleo. Algumas operadoras de telecomunicações ainda usam esse tipo de cabo, porém atualmente existem poucos fabricantes (CAETANO, 2011).

Figura 19 – Cabo tipo *groove*



Fonte: Morellato (2018).

3.3.4 Cabo Tipo Ribbon

Este cabo, apresentado na Figura 20, é utilizado em aplicações de larga escala que exigem grandes quantidades de fibras ópticas. Cada cabo pode conter até 4.000 fibras (MALDONADO; MATOS, 2003, p. 5). As fibras são contidas por uma camada plana de plástico em forma de fita, as quais são empilhadas, formando um bloco compacto. Podem ser feitas fitas com 4, 8, 12 ou 16 fibras em cada, adequadas para, posteriormente, serem alojadas em estruturas do tipo *groove*, ou às vezes em tubos *loose* (CAETANO, 2011).

Figura 20 – Cabo tipo *ribbon*



Fonte: Morellato (2018).

3.3.5 Cabo Dielétrico Autossustentado

Este cabo óptico, apresentado na Figura 21, é caracterizado por ser completamente isolado, ou seja, não possui elementos metálicos em sua estrutura. Outra característica é a eliminação do uso de elementos para fixação. As propriedades mecânicas são obtidas usando cabos do tipo *loose*, adequados geometricamente para instalações aéreas. São cabos ópticos de pequeno diâmetro e instalação rápida e fácil. Os cabos ópticos dielétricos autossustentados são adequados para redes aéreas com vãos entre 80 e 200 metros (FURUKAWA, 2020, p. 1).

Figura 21 – Cabo dielétrico autossustentado



Fonte: Schwingel (2016).

3.3.6 Cabo Riser

O cabo *riser*, apresentado na Figura 22, é utilizado na instalação das prumadas de condomínios verticais (edifícios). São adequados para instalações em poços de elevação, em instalações que possuam mais de um andar, em locais onde não há fluxo de ar forçado, em tubulações pouco ocupadas ou em locais propensos a propagação de fogo (FIBRACEM, 2019).

Figura 22 – Cabo *riser*



Fonte: Schwingel (2016).

3.3.7 Cabo Drop

O cabo óptico *drop* é utilizado em redes ópticas para acesso ao cliente final. É o cabo que liga o cliente à rede óptica do provedor. O tamanho máximo recomendado é de 400 metros, porém na prática seu tamanho médio é de 160 metros. Existem dois modelos comerciais de cabo *drop*, apresentados na Figura 23: a) cabo *drop* compacto; e b) cabo *drop* (SCHWINGEL, 2016, p. 29).

Figura 23 – Cabo *drop* compactado (lado esquerdo) e cabo *drop* (lado direito)

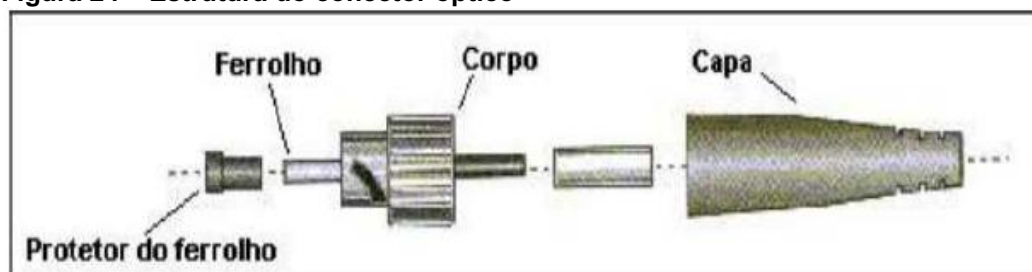


Fonte: Schwingel (2016).

3.4 CONECTORES ÓPTICOS

Algumas conexões só são possíveis graças aos conectores de fibra, apresentados na Figura 24. Portanto, são geralmente usados onde a flexibilidade é necessária nos pontos de terminação. São compostos por um ferrolho, onde se encontra a terminação da fibra óptica, um corpo que dá suporte para a fixação do conector com o adaptador e uma capa com a finalidade de dar resistência mecânica ao mesmo. De acordo com a ANSI/TIA⁶ 568, a perda máxima por conexões deve ser de 0,75 dB (SCHWINGEL, 2016, p. 34).

Figura 24 – Estrutura do conector óptico



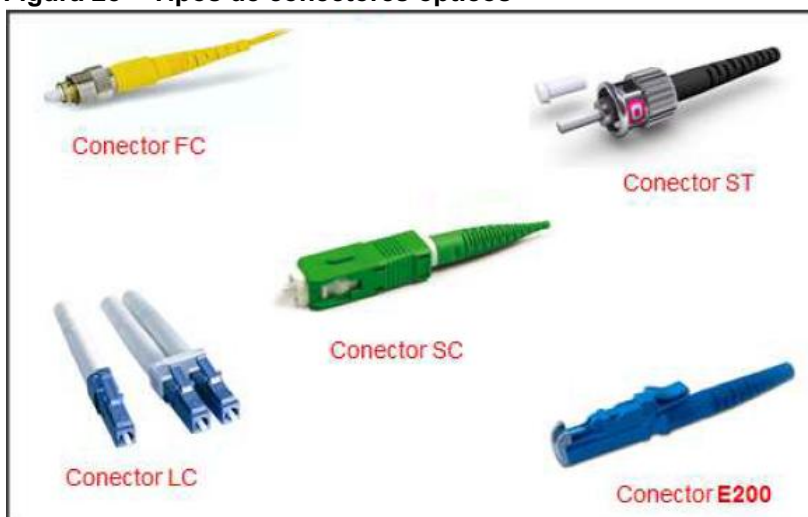
Fonte: Schwingel (2016).

⁶ O American National Standards Institute (ANSI), em conjunto com a Telecommunications Industry Association (TIA), define os padrões relacionados ao cabeamento para produtos e serviços de telecomunicações aos seus associados.

Ainda de acordo com Schwingel (2016, p. 34), os tipos de conectores ópticos, apresentados na Figura 25, mais utilizados são:

- **FC** (*Fixed Connection*): os conectores FC são típicos em ambientes de teste e para aplicações com fibras monomodo. Os conectores FC foram projetados para uso em ambientes de alta vibração. É fixado por meio de um alojamento de cano roscado.
- **ST** (*Straight Tip*): um conector de baioneta de liberação rápida com ponteira longa. Conector comum para fibras multimodo.
- **SC** (*Subscriber Connector*): um conector estilo *push/pull* de uso geral. Possui uma chave para suportar canais de envio e recebimento de dados. Usado principalmente para aplicações CATV⁷.
- **LC** (*Lucent Connector*): o LC é um pequeno conector, semelhante ao conector SC, mas com uma ponteira que tem a metade do tamanho.
- **E2000**: é um dos poucos conectores de fibra óptica que apresentam um obturador com mola que protege totalmente o ferrolho contra poeira e arranhões. O obturador fecha automaticamente quando o conector é desengatado, bloqueando possíveis impurezas.

Figura 25 – Tipos de conectores ópticos



Fonte: Schwingel (2016).

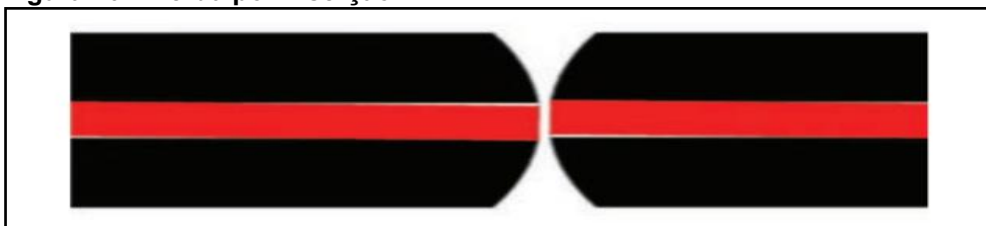
Para assegurar o perfeito desempenho dos sistemas, deve-se levar em conta algumas consequências, como as perdas por inserção e por retorno.

⁷ Sigla em inglês para circuitos de TV a cabo.

3.4.1 Perda por inserção

A perda por inserção, ilustrada na Figura 26, também conhecida como *Insertion Loss* (IL), é definida como a perda de potência do sinal transmitido nas junções das fibras nos conectores. Geralmente é medida comparando a potência (em decibéis) antes e depois da conexão. A diferença entre as duas medições é a perda de inserção do conector.

Figura 26 – Perda por inserção

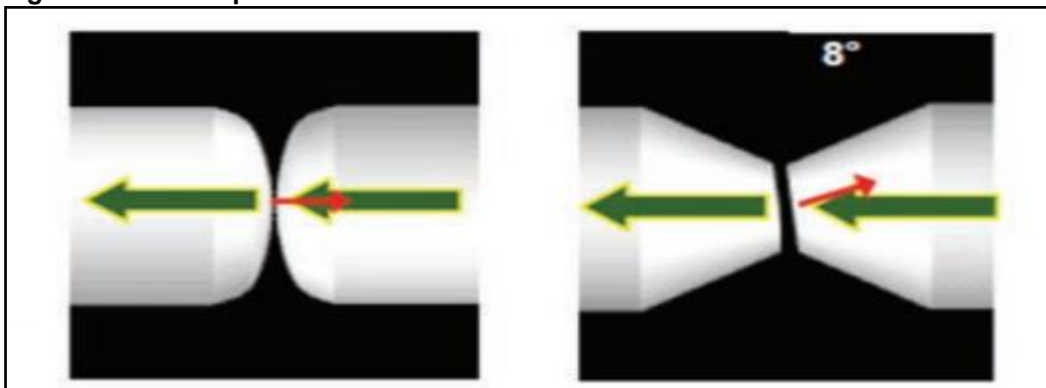


Fonte: Zhao *et al.* (2014).

3.4.2 Perda por retorno

A perda por retorno, ilustrada na Figura 27, também conhecida como *Optical Return Loss* (ORL) é definida como a medida do nível de potência óptica que é refletida na interface da fibra, retornando essa luz para a fonte luminosa. A luz que retorna ao emissor é causada por mau polimento, sujeira e/ou danos na interface de contato da fibra, assim como má qualidade da mesma. Ela é crítica para sistemas que necessitam transmitir os sinais com níveis de potência elevados, tais como DWDM⁸ e CATV.

Figura 27 – Perda por retorno



Fonte: Zhao *et al.* (2014).

⁸ *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) é uma tecnologia WDM. De acordo com o ITU-T, o DWDM pode combinar até 64 canais de transmissão de dados em uma única fibra.

3.5 EMENDAS

A emenda óptica é utilizada para a união permanente das fibras ópticas de trechos distintos de cabos, na inserção de novos elementos ópticos no sistema ou em reparos devido à ocorrência de rompimentos na rede

3.5.1 Emenda por Fusão

Caracteriza-se pela emenda entre as extremidades das fibras por meio de um processo de fusão (Figura 28), através de uma descarga elétrica produzida por uma máquina de fusão. É o método mais tradicional e proporciona emendas com baixas perdas ópticas. Para sua execução, são necessárias ferramentas de limpeza e clivagem, um alicate decapador de fios, uma máquina de fusão e protetores de emenda (feitos de material termocontrátil).

Figura 28 – Emenda por fusão



Fonte: Pinheiro (2016).

3.5.2 Emenda por Conectorização

Caracteriza pela união de duas fibras por meio da utilização de um conjunto de componentes ópticos, composto por um adaptador e dois conectores (Figura 29). O princípio de funcionamento se dá pelo contato direto entre as extremidades das fibras, porém dispensa o uso de clivadores e decapadores, pois as fibras já estão conectorizadas. Este tipo de emenda é executado de forma rápida, porém tem uma atenuação superior se comparada a outros métodos. É muito utilizada em distribuidores ópticos e caixa de emendas conectorizadas.

Figura 29 – Emenda por conectorização



Fonte: Pinheiro (2016).

3.5.3 Emenda Mecânica

Este tipo de emenda, apresentada na Figura 30, dispensa o uso da máquina de fusão. Somente se faz necessário o uso de ferramentas para a preparação da fibra, alicate decapador e um clivador. As fibras, depois de limpas e clivadas, são inseridas no conector que tem a finalidade de fazer o alinhamento. Posteriormente, é acionado um mecanismo por meio de giro ou pressão no conector.

Figura 30 – Emenda mecânica



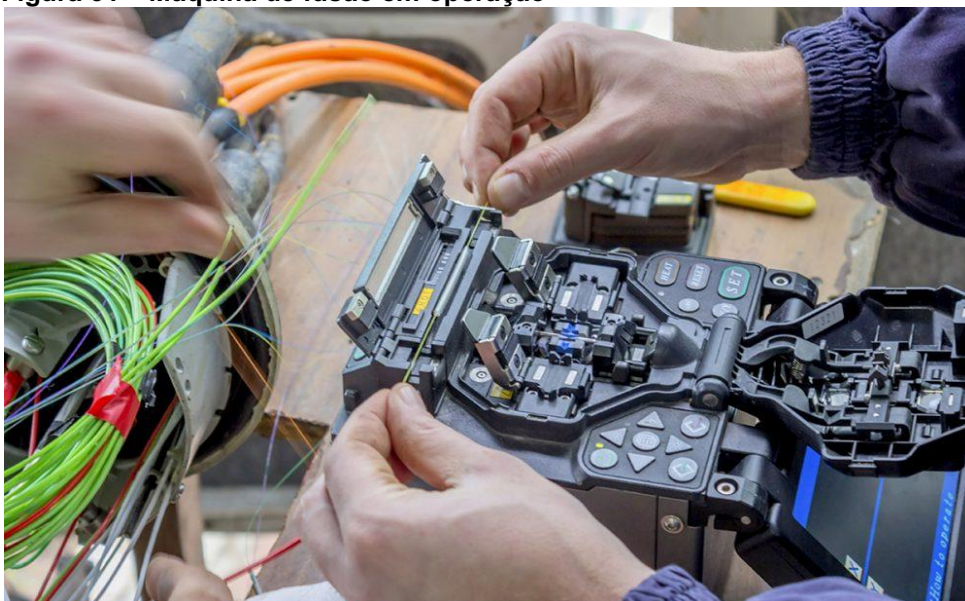
Fonte: Pinheiro (2016).

Internamente o conector tem um gel com o mesmo índice de refração do núcleo da fibra, possuindo a função de minimizar perdas por reflexão e refração. É um método mais rápido que a emenda por fusão, porém proporciona uma atenuação levemente superior.

3.5.4 Máquina de Fusão

A máquina de fusão, apresentada na Figura 31, é um equipamento destinado a realizar a emenda de fibras ópticas por meio de um processo de fusão destas. Trata-se de um método em que as extremidades das fibras são aquecidas a altas temperaturas por meio de um arco voltaico e, conseqüentemente, fundidas uma à outra. As perdas por fusões, de acordo com a norma ANSI/TIA 568, devem possuir valor máximo de 0,3 dB. (SCHWINGEL, 2016, p. 77).

Figura 31 – Máquina de fusão em operação



Fonte: Pinheiro (2016).

3.6 CAIXAS DE EMENDA

É o equipamento responsável por acomodar em seu interior as derivações dos cabos de fibra e suas respectivas emendas ou fusões ópticas. Segundo Schwingel (2016, p. 37), são classificadas em 3 tipos principais: FIST, FOOSC e CTO, podendo ser utilizadas em redes primárias – do POP até uma subestação – ou secundárias – de uma subestação até um ponto de derivação para atendimento de clientes.

3.6.1 Caixa Modelo FIST

A caixa de emenda *Fiber In Steel Tube* (FIST), mostrada na Figura 32, possui múltiplos propósitos, sendo o seu principal conectar e proteger os cabos de fibra óptica em várias condições ambientais, proporcionando as funções de emenda e de integração de componentes passivos da rede óptica externa. Essa caixa de emenda é constituída de uma base com *kit* de terminação de cabo e uma cúpula (*dome*). Possui configuração unidirecional de entrada de cabos, sendo uma entrada oval para dois cabos com diâmetro de 10 a 25 mm (milímetros) e nove entradas redondas para cabos derivados, com diâmetro de 5 a 18 mm. O material usado para confecção tanto da base como da cúpula é um polímero, resistente a impactos e que suporta variação de temperatura de -10°C a 60°C . A vedação das entradas de cabos

é feita por tubos termocontráteis, revestidos internamente com adesivo de fusão a quente, ou pelo método de vedação mecânica. (ROSENBERGER, 2016, p. 5).

Um sistema de montagem universal oferece condições de montar bandejas para 4 ou 12 fusões lado a lado, permitindo a acomodação de 144 a 480 fusões (dependente do modelo). Em função de sua elevada capacidade de armazenamento de fusões e *splitters*, podem ser utilizadas como concentrador nas redes primárias – do POP até uma FIST dentro de uma subestação – ou secundárias – de uma FIST em uma subestação até uma CTO para atendimento de clientes – substituindo os tradicionais armários de distribuição (SCHWINGEL, 2016, p. 37).

Figura 32 – Caixa modelo FIST



Fonte: Schwingel (2016).

3.6.2 Caixa Modelo FOSC

A caixa modelo *Fiber Optic Splice Closure* (FOSC), mostrada na Figura 33, é utilizada para terminações de trechos de rede óptica e é adequada tanto para instalações em cabos pressurizados ou não, aéreos, subsolos, montagem em parede, pedestal ou em postes. Possui configuração unidirecional de entrada de cabos, sendo uma entrada oval para dois cabos com diâmetro de 10 a 25 mm e quatro entradas redondas para cabos derivados, com diâmetro de 5 a 18 mm (ROSENBERGER, 2016, p. 1).

Figura 33 – Caixa modelo FOSC

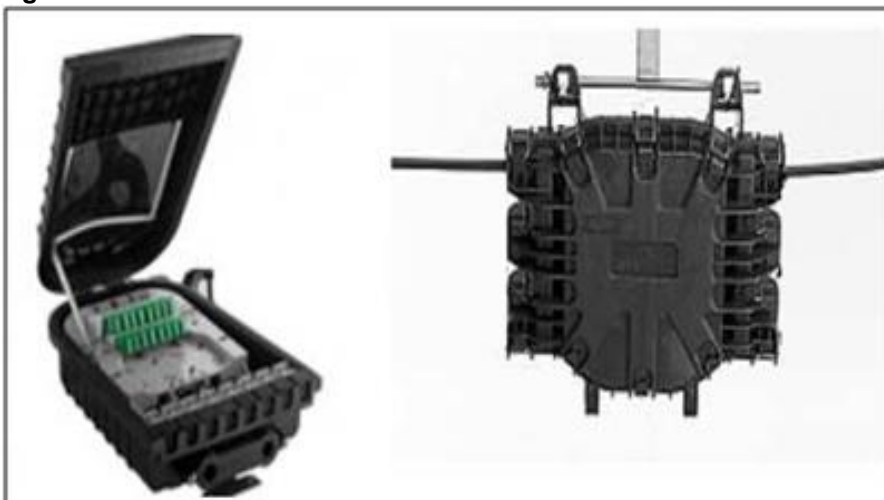
Fonte: Schwingel (2016).

O material usado para confecção tanto da base como da cúpula é o mesmo do modelo FIST. Essa caixa de emenda é equipada com bandejas de emendas, cada uma com capacidade para 24, confeccionadas em plástico rígido. Suporta no máximo 4 bandejas, permitindo até 96 fusões. Utilizada para atendimentos a condomínios (verticais ou horizontais) e também para eventuais manutenções da rede (ROSENBERGER, 2016, p. 5).

3.6.3 Caixa Modelo CTO/NAP

A caixa terminal óptica (CTO), apresentada na Figura 34, também conhecida como *Network Access Point* (NAP) é utilizada em rede ópticas secundárias e tem como principal função interconectar as fibras ópticas do cabo de distribuição com as do cabo de acesso do usuário (*drop*).

Figura 34 – Caixa modelo CTO/NAP



Fonte: Schwingel (2016).

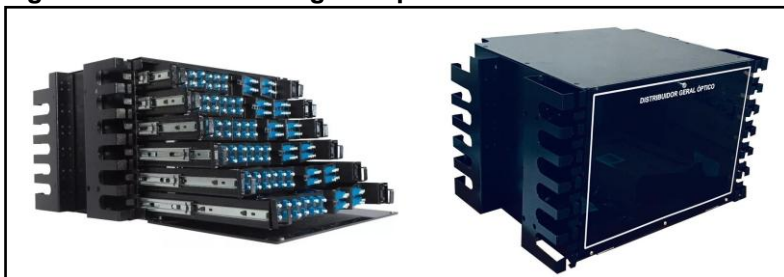
Como função secundária, permite a realização de emendas entre fibras dos cabos de distribuição de baixa capacidade no segmento final da rede. Uma de suas vantagens é prover um fácil gerenciamento e armazenamento dos adaptadores ópticos, nas saídas conectorizadas. (SCHWINGEL, 2016, p. 37).

3.7 DISTRIBUIDORES ÓPTICOS

3.7.1 Distribuidor Geral Óptico (DGO)

O distribuidor geral óptico, apresentado na Figura 35, é um dispositivo projetado para interligar a rede externa aos cabos internos dos equipamentos da subestação, além de possibilitar a interligação de um cabo externo com outro ou de um equipamento com outro. O DGO é composto por um bastidor que permite a acomodação de módulos que abrigam as emendas, tais como o módulo de conexão, o módulo de emenda, o módulo de armazenamento e o módulo de dispositivos ópticos passivos. É aplicado no ambiente da estação central, devendo ser instalado fixo no piso e disposto lado a lado em filas, com acesso pelas partes frontal e traseira. Pode acomodar até 144 fibras (SCHWINGEL, 2016, p. 38).

Figura 35 – Distribuidor geral óptico

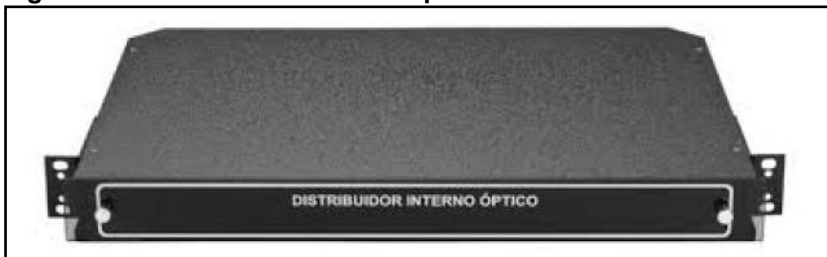


Fonte: Schwingel (2016).

3.7.2 Distribuidor Interno Óptico (DIO)

O distribuidor interno óptico, apresentado na Figura 36, é indicado para instalações internas, interligando cabos ópticos e equipamentos da subestação. O DIO é uma versão compacta do DGO, podendo possuir os mesmos módulos deste (dependendo do tamanho) e também pode ser instalado em um bastidor ou em uma parede (SCHWINGEL, 2016, p. 38).

Figura 36 – Distribuidor interno óptico

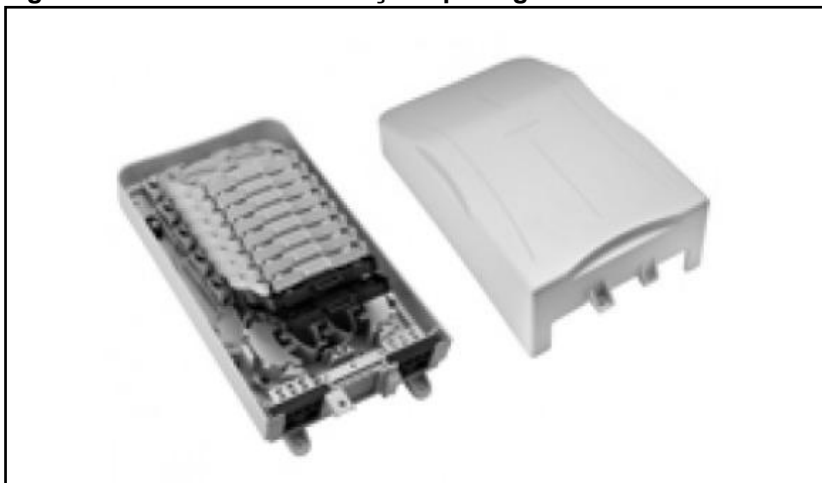


Fonte: Schwingel (2016).

3.7.3 Caixa de Distribuição Óptica Geral

Essa caixa, apresentada na Figura 37, possui a função de fazer o gerenciamento das fibras do cabo de entrada e a distribuição dos cabos ópticos verticais (prumada). Diferentemente do DGO e do DIO, possui apenas o módulo de conexão. Permite o gerenciamento de, no mínimo, 72 fibras ópticas e a acomodação simultânea de, no mínimo, dois *splitters* 1:32. Normalmente é usado para instalações em redes FTTA, ou seja, em condomínios verticais (edifícios) ou horizontais (casas). Dessa forma, é geralmente instalado no distribuidor geral (DG) de telefonia do condomínio e é alimentado por um cabo de 6 ou mais fibras, vindo da caixa CTO mais próxima. Este, por sua vez, é ligado a um *splitter* dentro da própria caixa, e suas saídas ligadas às fibras de um cabo *riser* que passa por todos os andares do prédio através do duto de telefonia central (SCHWINGEL, 2016, p. 39).

Figura 37 – Caixa de distribuição óptica geral

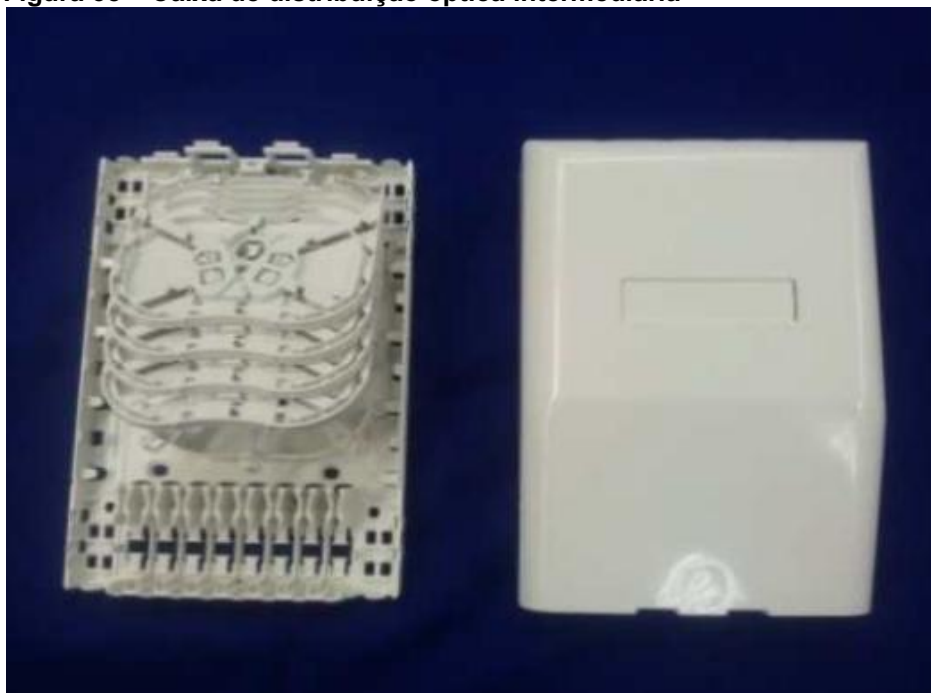


Fonte: Schwingel (2016).

3.7.4 Caixa de Distribuição Óptica Intermediária

Muito semelhante ao anterior, este dispositivo (Figura 38) tem como função fazer o gerenciamento das fibras dos cabos ópticos verticais e os cabos internos dos assinantes. Quando a instalação é em um edifício com vários andares, normalmente é instalada uma caixa de distribuição óptica intermediária por andar (SCHWINGEL, 2016, p. 39).

Figura 38 – Caixa de distribuição óptica intermediária

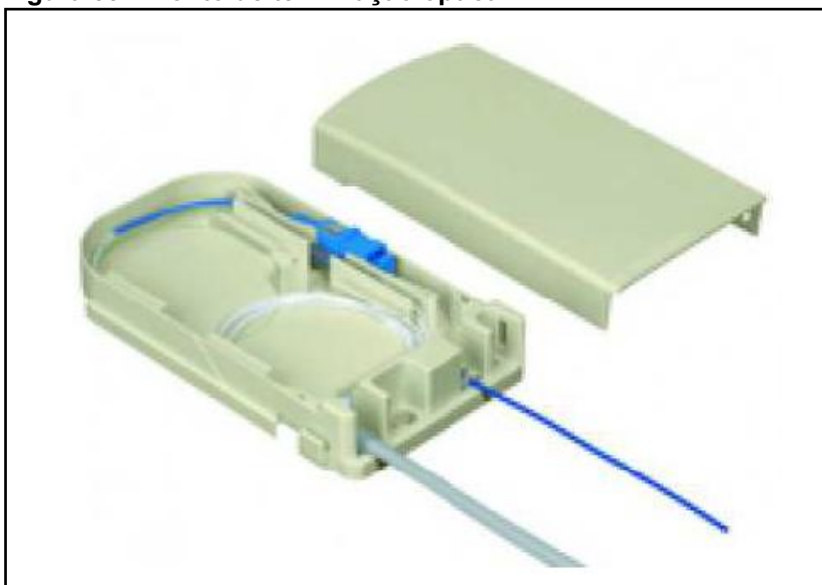


Fonte: Schwingel (2016).

3.7.5 Ponto de Terminação Óptica (PTO)

São dispositivos, apresentados na Figura 39, responsáveis por efetuar a acomodação de cabos de fibra óptica e/ou cordão óptico dentro do ambiente do cliente, bem como suas emendas (sejam por fusão ou mecânicas), conectores e adaptadores ópticos (SCHWINGEL, 2016, p. 39).

Figura 39 – Ponto de terminação óptica



Fonte: Schwingel (2016).

3.8 DIVISORES ÓPTICOS (SPLITTERS)

O divisor óptico passivo, também conhecido como *splitter* (Figura 40), é composto de um guia de onda, um encapsulamento e portas de acesso para fibras. Ele possui uma ou duas portas de entrada e múltiplas portas de saída. Dessa forma, o sinal da porta de entrada é dividido para as portas de saída.

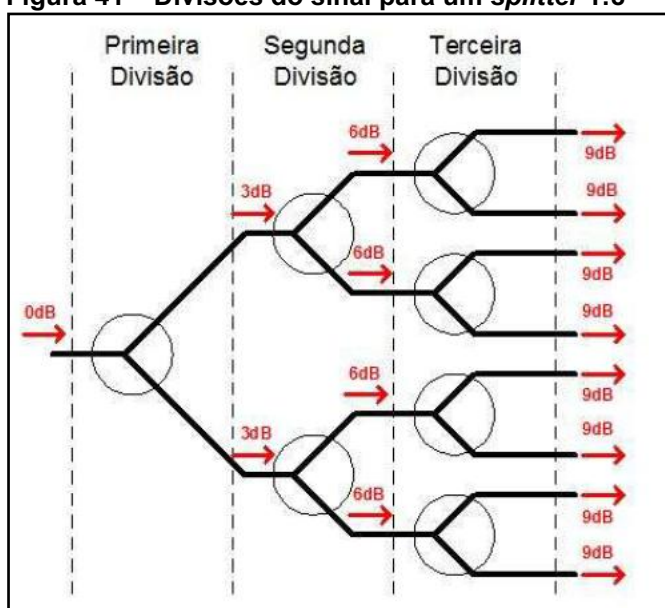
Figura 40 – Splitter 1:4



Fonte: Furukawa Electric LatAm (2020).

O *splitter* é um dispositivo essencial nas redes ópticas passivas (PON). Desempenham um papel importante, dividindo os sinais entre a fonte (OLT) e o destino (ONUs/ONTs), como mostra a Figura 41. Uma única fibra de entrada é capaz de possuir 64 fibras de saída para atendimento, após passar por um *splitter* (SCHWINGEL, 2016, p. 36). Geralmente, a taxa de derivação do *splitter* tem uma relação de 1:2n, ou seja: 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 ou 1:64. A atenuação no *splitter*, expressada em dB, depende do número de saídas (3 dB para cada divisão de 1:2).

Figura 41 – Divisões do sinal para um *splitter* 1:8



Fonte: Schwingel (2016).

Normalmente, os *splitters* são utilizados em série (cascata) e instalados com dois ou três níveis. Pode-se ter várias configurações de “cascateamento”, porém a relação final deve ser constante, conforme definido no projeto da rede. As Tabelas 3 e 4, mostram as configurações de “cascateamento” mais utilizadas. É importante observar que a relação final é sempre a mesma para cada tabela. Na Tabela 3, a perda total máxima é de 21 dB e na Tabela 4 é de 25 dB (SCHWINGEL, 2016, p. 36).

Tabela 3 – Configurações de cascateamento para 2 níveis

N1	N2	N1 x N2
1:2	1:32	1:64
1:4	1:16	1:64
1:8	1:8	1:64
1:16	1:4	1:64

Fonte: Adaptado de Schwingel (2016).

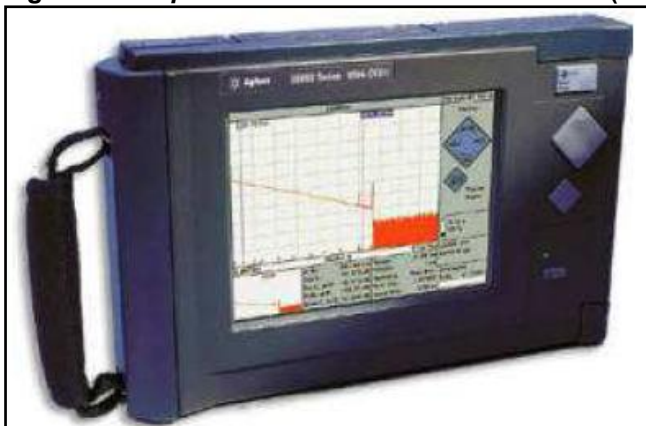
Tabela 4 – Configurações de cascadeamento para 3 níveis

N1	N2	N3	N1 x N2 x N3
1:2	1:2	1:32	1:128
1:2	1:4	1:16	1:128
1:2	1:8	1:8	1:128
1:2	1:16	1:4	1:128

Fonte: Adaptado de Schwingel (2016).

3.9 OTDR

O *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR), apresentado na Figura 42, é um dispositivo usado para medir a atenuação geral de uma conexão de fibra óptica e fornecer informações detalhadas sobre a localização de cada evento ao longo da conexão. Seu princípio de funcionamento é baseado na análise do sinal refletido na fibra. São enviados pulsos ópticos que, ao passarem por imperfeições ou chegar ao final do cabo, refletem o sinal luminoso. O equipamento detecta esse sinal, medindo o tempo e potência do sinal refletido através de um *software* (SCHWINGEL, 2016, p. 78).

Figura 42 – Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

Fonte: Schwingel (2016).

As principais finalidades do OTDR são:

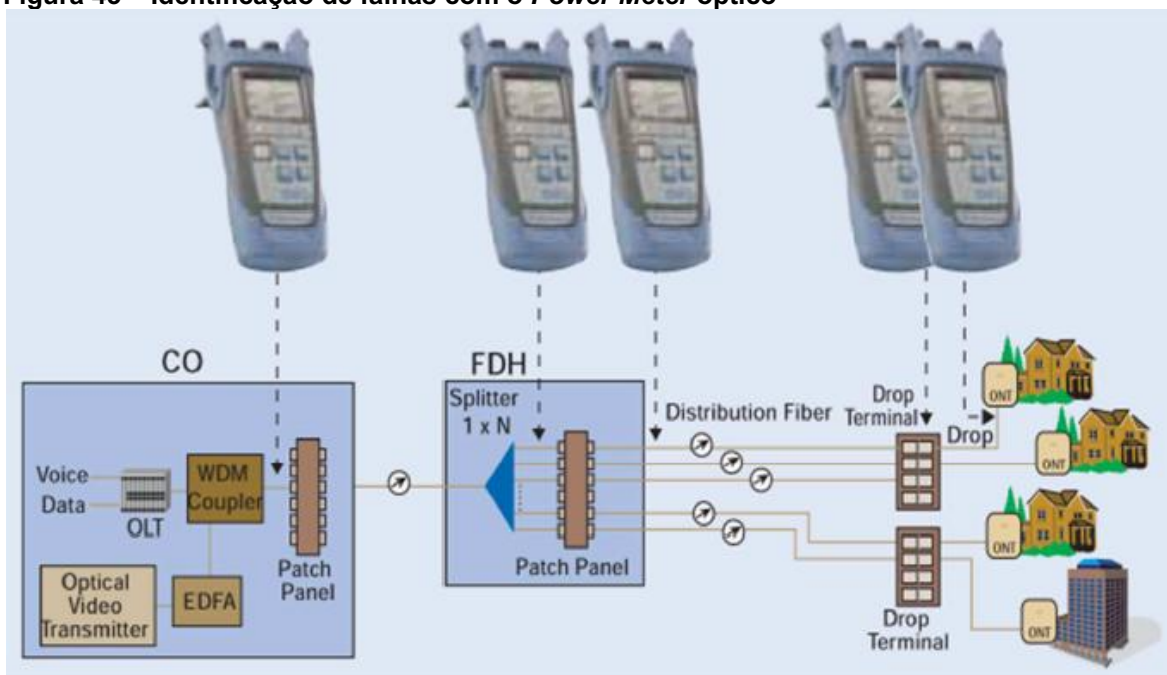
- Localizar o final da fibra, ou seja, o comprimento do enlace;
- Identificar a posição dos eventos ao longo das fibras, tais como emendas, fusões, quebra de fibra ou macrocurvaturas;
- Medir perda de potência na fibra, normalmente dada em dB/km;
- Medir a perda de ponto-a-ponto;
- Medir perda e reflexões em fusões ou conectores;
- Calcular a perda por retorno óptico (ORL).

3.10 POWER METER ÓPTICO

O *Power Meter* óptico é um dispositivo usado para medir a potência de um sinal óptico. Este dispositivo, quando combinado com uma fonte de sinal óptico, é usualmente chamado de *Optical Loss Test Set* (OLTS). A potência do sinal óptico é dada em dBm ou dBmW (decibel miliwatt).

Um procedimento muito comum de identificar pontos de falhas é através de medições em pontos chaves na rede. A Figura 43 mostra um exemplo prático de identificação de falha em um enlace GPON. Se os valores medidos nestes pontos forem diferentes dos valores esperados (estimados em projeto) há um indicativo de problema entre os pontos medidos pelo *Power Meter* e a fonte do sinal (SCHWINGEL, 2016, p. 83).

Figura 43 – Identificação de falhas com o *Power Meter* óptico



Fonte: Schwingel (2016).

Dentre as principais aplicações do *Power Meter*, podemos destacar:

- Medida absoluta da potência de um sinal óptico;
- Medida da atenuação entre dois pontos de um enlace óptico;
- Medida de perda de retorno.

3.11 OPTICAL LINE TERMINAL (OLT)

O *Optical Line Terminal* (OLT), apresentado na Figura 44, é um equipamento ativo, utilizado como concentrador de assinantes (clientes da rede). Tem como função distribuir o acesso a cada usuário da rede e realizar tarefas de gestão da comunicação, como controle de acesso, gerência de banda e disponibilização de serviços. Nas redes ópticas passivas, o OLT determina os serviços e fornecimento de pacotes. Considerando que a sua tarefa é o gerenciamento desses pacotes, ela se faz essencial para o correto funcionamento de uma rede óptica (REDAÇÃO QUADRAC, 2019).

Figura 44 – OLT Datacom modelo DM4615



Fonte: Datacom (2018).

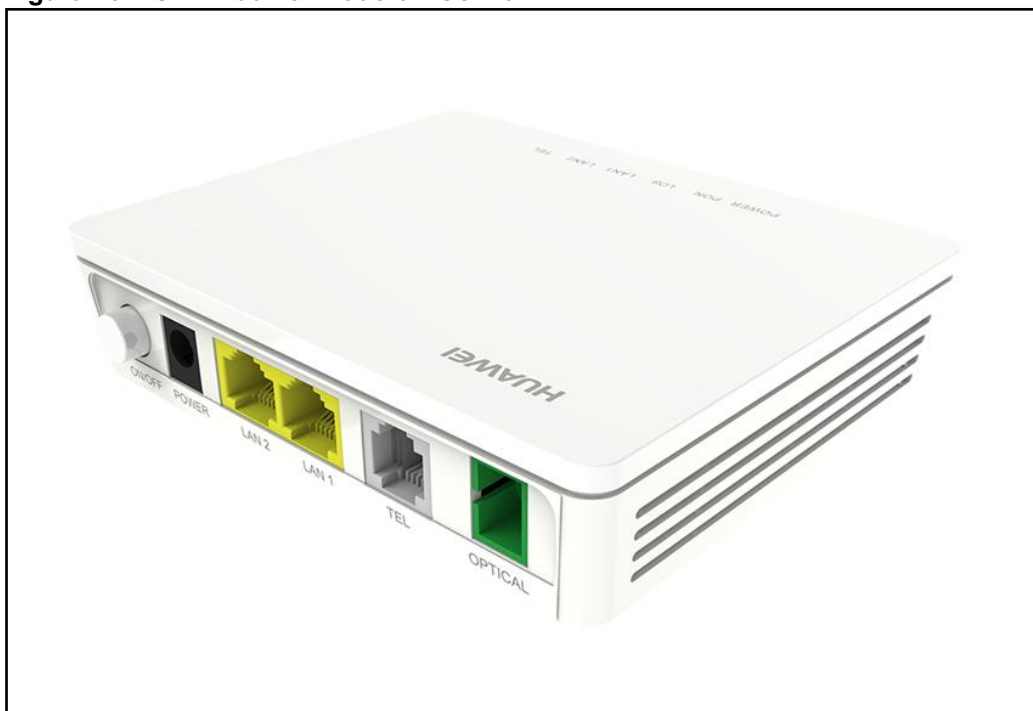
O OLT é instalado na estação central e controla o fluxo bidirecional de informação com a ONU/ONT (instalada no cliente) através da interface PON (*downstream/upstream*). As conexões com os demais sistemas instalados na estação são feitas pelas interfaces de *uplink/downlink*. Um OLT é designado para controlar mais de uma ONU/ONT. Cada interface PON pode suportar de 32, 64 ou 128 ONUs/ONTs. Existem diferentes tipos e modelos de OLTs, com capacidades distintas de assinantes e designs próprios (SCHWINGEL, 2016, p. 43).

3.12 OPTICAL NETWORK UNIT (ONU)/OPTICAL NETWORK TERMINAL (ONT)

O *Optical Network Terminal* (ONT), apresentado na Figura 45, e a *Optical Network Unit* (ONU), assim como o PTO, também são equipamentos da rede óptica instalados no ambiente do cliente. Entretanto, são equipamentos ativos, assim como os OLTs. Têm como função disponibilizar para o cliente os serviços contratados.

Eles proporcionam uma conexão óptica com o OLT através da interface PON (*upstream/downstream*) e uma conexão elétrica com o equipamento do usuário (*modem convencional*), chamada UNI (*User Network Interface*) (SCHWINGEL, 2016, p. 43).

Figura 45 – ONT Huawei modelo EG8120L



Fonte: FiberX (2019).

A diferença entre o ONT e a ONU remete à chegada do sinal da rede no consumidor final. O ONT é um equipamento geralmente instalado o mais próximo do usuário com a finalidade de converter o sinal óptico para elétrico nos padrões xDSL ou *Ethernet*. A ONU geralmente é instalada em um armário externo e, por essa razão, é preparado para as condições ambientais mais severas, com grande tolerância à temperatura e resistência à umidade, embora seja esteticamente semelhante ao ONT (SCHWINGEL, 2016, p. 43).

3.13 TOPOLOGIAS DE REDES ÓPTICAS

O termo “topologia” define o modo pelo qual os vários elementos de uma rede estão interconectados. É um modelo de representação da disposição dos componentes físicos e o meio de conexão destes dispositivos na rede. A topologia da rede reflete a localização geográfica, topologia física do terreno, bem como o

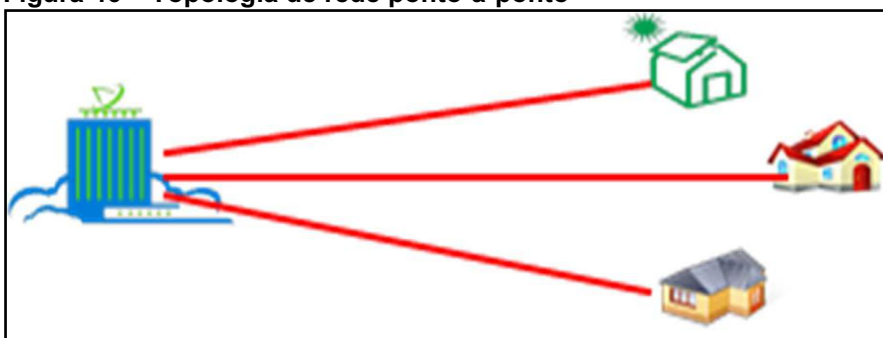
fluxo de informação entre as estações. A topologia física (como os equipamentos estão ligados) e lógica (como os eles estão se comunicando) não são necessariamente as mesmas, sendo permitido, dessa forma, a existência de uma rede com topologia física em estrela e topologia lógica em anel, por exemplo.

A topologia de uma rede de telecomunicações está baseada no arranjo de nós e arcos. Os “nós” são abstrações de entidades existentes e os “arcos”, ou enlaces, são representações de como estas entidades estão relacionadas. No caso de uma rede óptica, um “nó” pode ser interpretado como um OLT, assim como um “arco” pode ser visto como uma conexão entre o OLT e uma ONU/ONT. Há uma grande quantidade de combinações possíveis de arranjos que podem ser implementados. Os principais arranjos de topologias dessas redes são: ponto-a-ponto, ponto-multiponto, malha, estrela, anel e barramento. Na prática, um ou mais arranjo topológico pode ser implementado na rede.

3.13.1 Ponto-a-ponto

Trata-se de uma ligação simples entre dois pontos de comunicação em extremidades diferentes (Figura 46).

Figura 46 – Topologia de rede ponto-a-ponto



Fonte: Schwingel (2016).

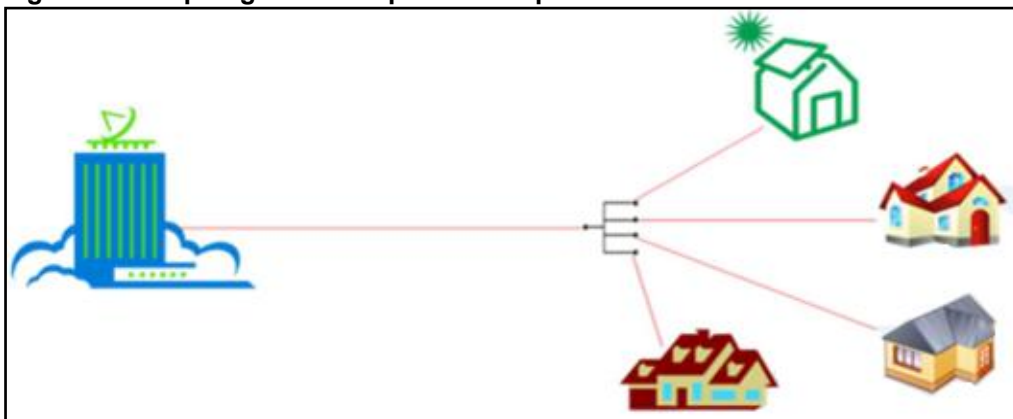
Embora a rede possa ser constituída de diversos nós, estes se comunicam diretamente apenas de dois em dois, ou seja, o meio físico vai de uma estação a outra (NEAGU, 2019, tradução nossa).

3.13.2 Ponto-multiponto

Quando diversos nós de usuários estão ligados em um mesmo meio físico. Neste tipo de conexão, apresentado na Figura 47, existe uma estação principal,

responsável por controlar o tráfego da rede. Existem também estações subordinadas, as quais podem se comunicar através da estação principal ou diretamente entre si mesmas (NEAGU, 2019, tradução nossa).

Figura 47 – Topologia de rede ponto-multiponto

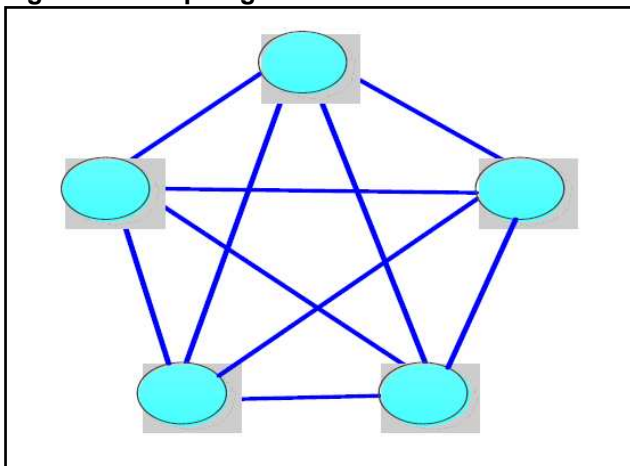


Fonte: Schwingel (2016).

3.13.3 Malha

Estrutura básica caracterizada pela interligação de todos os nós, através de arcos (Figura 48). O número de arcos nesta configuração é crítico, à medida que aumenta o número de nós. É uma estrutura com boa aplicação quando o número de nós não é alto. Proporciona um alto grau de confiabilidade, porém possui alto custo, devido à colocação de equipamentos nos nós com maior capacidade de interconexão. Quando o custo do meio de transmissão é elevado, torna-se inviável a adoção desta topologia, devido ao grande número de arcos (SINGH, 2019, tradução nossa).

Figura 48 – Topologia de rede em malha

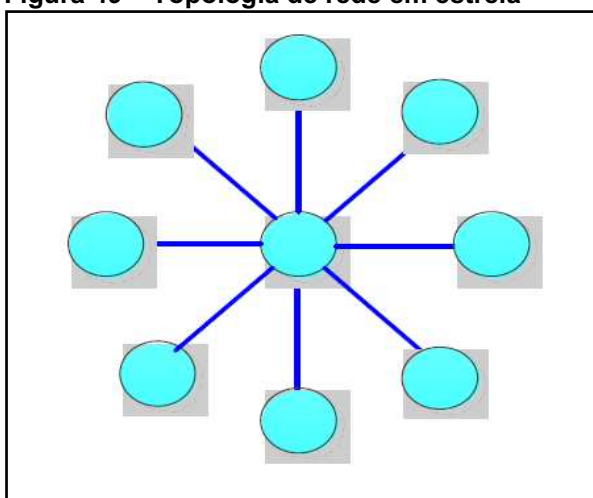


Fonte: Adaptado de Schwingel (2016).

3.13.4 Estrela

Essa topologia, apresentada na Figura 49, é caracterizada pela interligação de todos os nós a um único nó, através de arcos. Esse nó central assume uma hierarquia superior aos demais e com uma complexidade muito maior. Possibilita um baixo custo para interligações devido à maximização dos meios, assim como um baixo tempo de retardo na transmissão da mensagem entre dois pontos (SINGH, 2019, tradução nossa).

Figura 49 – Topologia de rede em estrela

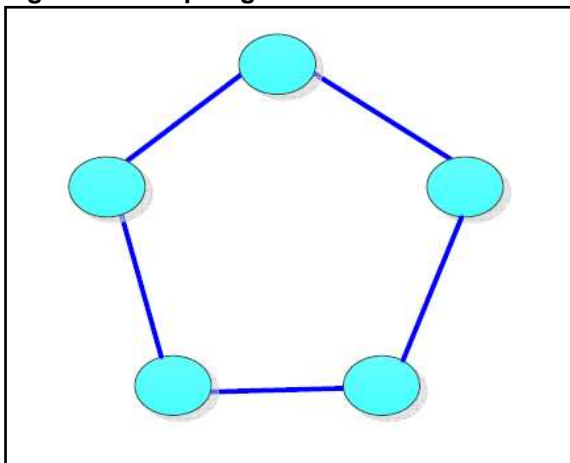


Fonte: Adaptado de Schwingel (2016).

Entretanto é uma topologia pouco confiável, pois se houverem falhas nesse nó central, pode ser ocasionada a parada de todo o sistema. Além disso, o desempenho do sistema está limitado pela capacidade de processamento desse nó central (SINGH, 2019, tradução nossa).

3.13.5 Anel

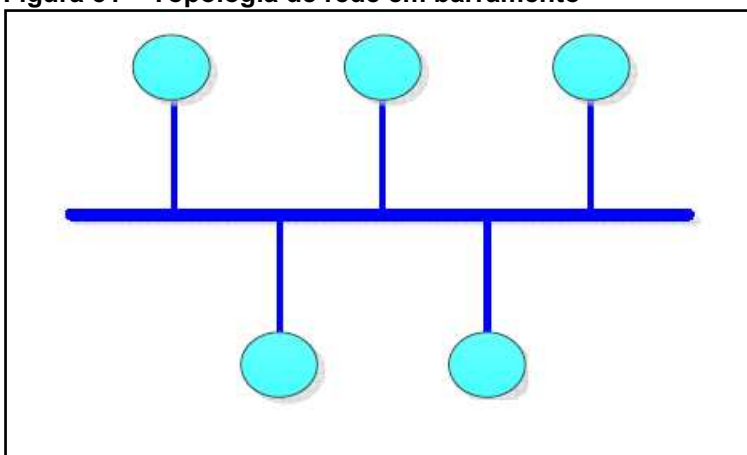
Topologia básica caracterizada pela interligação de nós e arcos, na forma de anel (Figura 50). Essa estrutura necessita de arcos com grande capacidade de comunicação e os nós devem ter a capacidade de realizar interligações com menor complexidade. Possui baixo custo, devido ao menor número de arcos. Em alguns casos, há redundância através da inversão do sentido da informação (horário e anti-horário). Neste caso, ao romper o anel entre dois nós, o sentido da informação é invertido (SINGH, 2019, tradução nossa).

Figura 50 – Topologia de rede em anel

Fonte: Adaptado de Schwingel (2016).

3.13.6 Barramento

É uma estrutura caracterizada pela interligação de todos os nós a um único barramento central (Figura 51). Essa topologia necessita de um arco central de grande capacidade de comunicação. Os nós ligados operam como portas, permitindo o acesso ao barramento. Também possui baixo custo, devido ao menor número de arcos, porém causa um retardo na transmissão, devido ao aumento de pontos intermediários entre as extremidades. Outra desvantagem é a dificuldade de introdução de mais um nó na rede. O meio deve ser dimensionado para suportar todo o tráfego da rede (SINGH, 2019, tradução nossa).

Figura 51 – Topologia de rede em barramento

Fonte: Adaptado de Schwingel (2016).

3.14 ARQUITETURAS DE REDES ÓPTICAS

O termo “arquitetura de rede” define a forma de organizar a implementação das funções necessárias para a operação desta. Em sua representação, cada bloco define um conjunto de funções específicas de forma a organizar os principais segmentos de uma rede ou sistema.

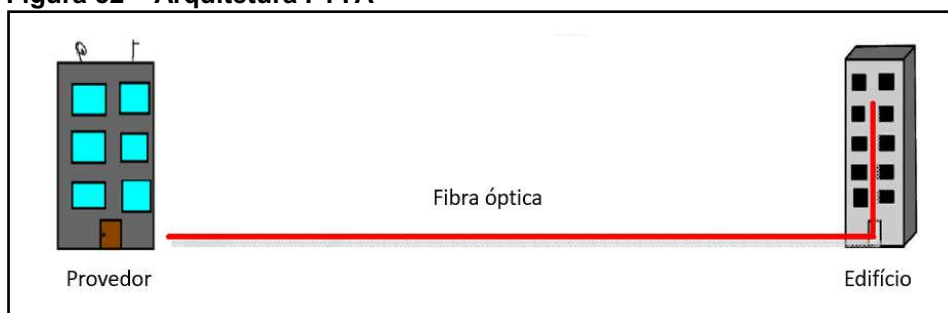
Também conhecidas como arquiteturas FTTX, as arquiteturas de redes ópticas consistem na introdução da fibra óptica na rede de assinantes, substituindo os cabos metálicos. Essa solução para rede de acesso torna o sistema imune a ruído, pois a ligação entre a central e os armários de distribuição, que nesse caso são os estágios remotos, é substituída por um sistema óptico, o qual é imune a interferências eletromagnéticas e ainda possibilita maiores distâncias na ligação entre a central e os assinantes.

As arquiteturas de redes ópticas possuem diversas variações, mudando conforme o ambiente de implementação, a topologia da rede e a tecnologia adotada. A seguir serão descritas as principais arquiteturas adotadas pelos provedores de internet na atualidade.

3.14.1 Fiber To The Apartment (FTTA)

Traduzida como “Fibra até o Apartamento” (Figura 52), é muito similar à arquitetura FTTB, onde a fibra é instalada até a base do edifício. A diferença entre elas se dá pela utilização da fibra até o apartamento do assinante. Ao invés de utilizar a infraestrutura de cabos metálicos existentes, é instalada uma nova infraestrutura de cabos ópticos verticais na prumada do edifício (SCHWINGEL, 2016, p. 16).

Figura 52 – Arquitetura FTTA

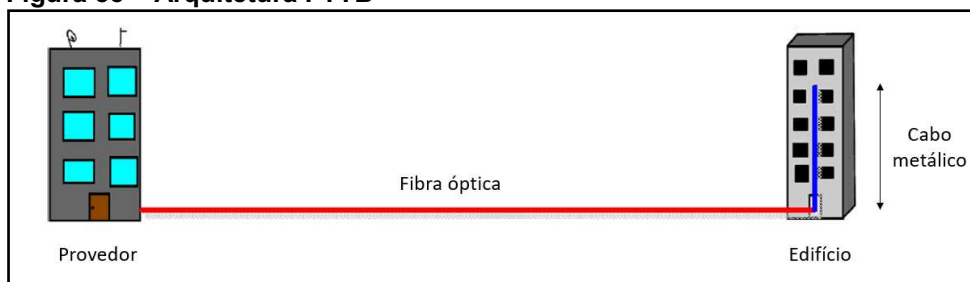


Fonte: Schwingel (2016).

3.14.2 Fiber To The Building (FTTB)

Traduzida como “Fibra até o Edifício” (Figura 53), consiste na instalação de fibras ópticas até edifícios ou construções altas em geral.

Figura 53 – Arquitetura FTTB



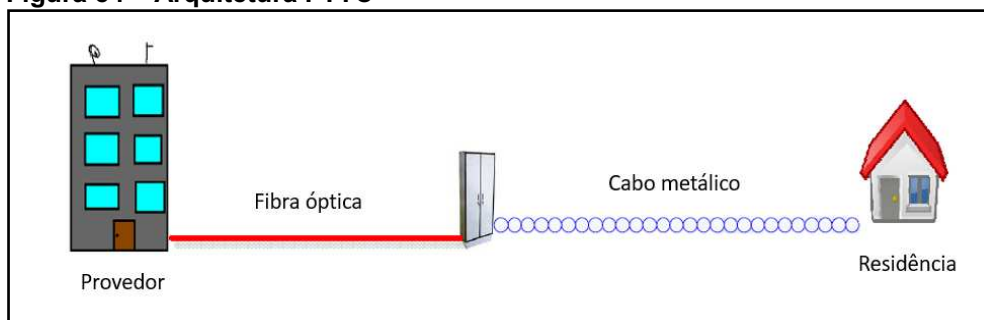
Fonte: Schwingel (2016).

Os equipamentos utilizados na arquitetura FTTB são instalados no quadro geral ou na sala de telefonia do edifício, com a função básica de conversão óptico-elétrica. A conexão do usuário a partir deste ponto é feita através rede metálica interna do edifício (SCHWINGEL, 2016, p. 16).

3.14.3 Fiber To The Curb (FTTC)

Traduzida como “Fibra até o Meio-Fio” (Figura 54), porém algumas literaturas usam o “C” para se referir ao termo *cabinet*, remetendo aos armários de telefonia dos provedores, os quais são localizados nas ruas, em frente às residências. Utiliza cabeamento metálico no seu último trecho, o qual vai do armário até a residência. Esse trecho, por sua vez, deve possuir menos que 300 metros de comprimento (SCHWINGEL, 2016, p. 16).

Figura 54 – Arquitetura FTTC

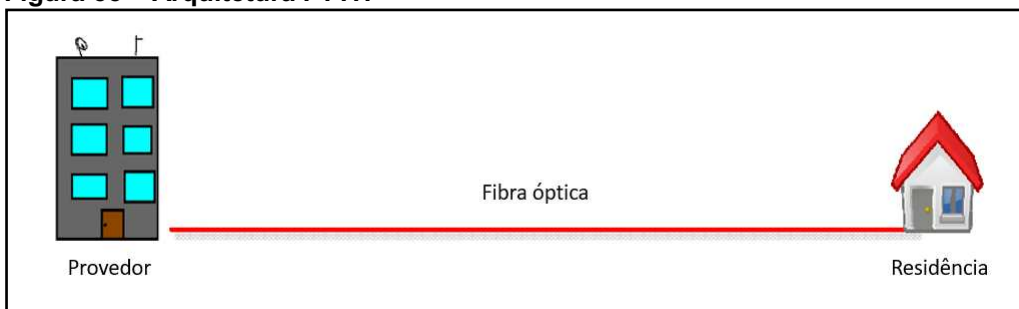


Fonte: Schwingel (2016).

3.14.4 Fiber To The Home (FTTH)

Traduzida como “Fibra até o Lar” (Figura 55), trata-se de uma arquitetura de rede de acesso que oferece a maior velocidade possível de conexão à internet, pois permite que a fibra óptica chegue diretamente até as instalações (lar) do assinante.

Figura 55 – Arquitetura FTTH



Fonte: Schwingel (2016).

Para ser classificada como FTTH, esse tipo de arquitetura deve permitir que a fibra de acesso possua sua terminação dentro das instalações do assinante, ligada geralmente a um PTO (SCHWINGEL, 2016, p. 16).

4 DISCUSSÃO

Este capítulo tem o objetivo de mostrar a crescente utilização da fibra óptica por parte dos provedores de internet. Também será discutido como essas empresas projetam e expandem suas redes ópticas.

4.1 PROVEDORES E A FIBRA ÓPTICA

Perez (2018) destaca que “no setor das telecomunicações, um fenômeno nítido pôde ser observado ao longo dos últimos anos, o qual gera grandes expectativas em relação ao futuro: trata-se do aumento nas instalações de fibras ópticas para ampliar o acesso à banda larga, sobretudo nas casas atendidas por provedores de internet”.

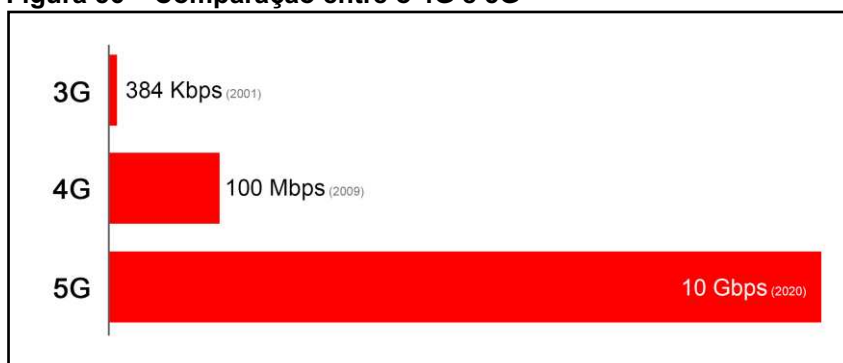
Hoje em dia, todos querem uma internet cada vez mais rápida, que esteja disponível a todo momento, independentemente do lugar. Essa demanda dos usuários, somada com o desenvolvimento tecnológico, fez com que os provedores repensassem e se adaptassem a uma nova infraestrutura de rede. Dados da Anatel⁹ mostram que, em dois anos, entre 2015 e 2017, o total de acessos mensais por meio de fibra saltou mais de 630%, de 128 mil para 936 mil entre os provedores. Esse volume representa 34,5% do uso total de internet por fibra no Brasil, um avanço também impressionante, pois em 2015, essa porcentagem era de apenas 13% (PEREZ, 2018).

A utilização da fibra óptica permite aos provedores o desenvolvimento e construção de uma infraestrutura que pode durar no mínimo 20 anos, sem necessidade de substituição de equipamentos e componentes da rede. Os ISP's estão cada vez mais conscientes de que investimentos a curto prazo não valem a pena, tendo em vista que a implementação da fibra óptica cresce em todo tipo de ambiente, desde residências até *Data Centers*. Dentro desse contexto, se aplicam as arquiteturas FTTX e as tecnologias GPON/EPON, se adequando, dessa forma, a cada tipo de local para se efetuar uma instalação eficiente (FIBRACEM, 2017).

⁹ Agência Nacional de Telecomunicações: agência reguladora do setor de telecomunicações, vinculada ao Governo Federal no Brasil.

Para exemplificar como a fibra óptica é, de fato, uma tendência, um fator importante a ser destacado é a implementação do 5G, que deverá acontecer a partir de 2021. Atualmente pode-se comprovar através de um teste de velocidade que a taxa de transferência do 4G chega a 100 Mbps (Figura 56). Por outro lado, o 5G possuirá em média algo acima de 10 Gbps (Figura 56). Sendo assim, isso apenas será possível com uma infraestrutura de rede em fibra óptica por parte das operadoras, atingindo um novo patamar no nível de aplicação (FIBRACEM, 2017).

Figura 56 – Comparação entre o 4G e 5G



Fonte: Miller (2019).

4.2 PROJETOS E AMPLIAÇÕES DE REDES ÓPTICAS

Ao criar uma nova rede de fibra óptica, ou ampliar uma já existente, uma das primeiras tarefas da equipe de projetos em um provedor de internet é, geralmente, realizar o dimensionamento adequado da rede em uma determinada região, de acordo com a demanda de clientes. Para isso, a empresa pode realizar consultas diretamente em algumas residências ou endereços corporativos da região em questão para, no final, levar em conta a quantidade de potenciais clientes encontrados. Após essa etapa, é feito o desenho do circuito da rede e o cálculo da potência dos sinais ópticos, assim como a quantidade de materiais e mão de obra necessária. Dessa forma, é iniciada a construção do circuito geral. Normalmente, durante o projeto, adotam-se diretrizes como:

- Suportar serviços ponto-a-ponto e ponto-multiponto;
- Possibilitar o atendimento, de forma econômica, aos segmentos residencial e corporativo;
- Suportar serviços *triple play* (voz, dados e vídeo);

- Ser flexível, possibilitando sua expansão sem grandes alterações na sua estrutura;
- Todos os detalhes do projeto e implantação, desde a topologia da rede até os materiais utilizados, devem levar em consideração as facilidades para a instalação, manutenção e operação desta rede;
- Ter um custo de implantação na mesma ordem das redes metálicas.

À medida em que são contratados novos circuitos próximos à região de atendimento de um cabo, são construídas derivações deste cabo até os pontos dos novos clientes, com cada novo circuito representando um novo cliente. Estas derivações são feitas gradativamente, conforme as entradas de novos serviços. Com a ampliação crescente do número de novos circuitos, alguns cabos começam a ter trechos de rede “congestionados”, ou seja, começam a não dispor de fibras naquele trecho. Para contornar esta situação, trechos de cabos de rotas distintas podem ser interligados para possibilitar o atendimento por outras subestações. Porém, para manter a rede padronizada, geralmente um projeto de ampliação é realizado para a região em questão, de maneira individual. Na Figura 57 mostra a parte de um projeto de rede FTTH no município de Lages/SC.

Figura 57 – Recorte de um projeto de rede FTTH no município de Lages (SC)



Fonte: ATPlus Telecom (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pretensão inicial dessa monografia era apresentar o conceito e as utilidades da fibra óptica de uma maneira simples, e ao mesmo tempo direta e acessível. Dessa forma, foi proposta pelo autor uma pergunta inicial, a qual foi respondida no decorrer do relatório, através da explicação dos conceitos de fibra óptica, desde sua teoria física até suas tecnologias, assim como a apresentação dos principais componentes de uma rede óptica, topologias e arquiteturas mais utilizadas.

No final, de forma a sintetizar o tema do trabalho e gerar uma melhor compreensão do assunto, foi necessário criar um tópico dedicado à discussão das aplicações da fibra pelos provedores de internet, apresentando algumas noções de como uma rede óptica é projetada e ampliada por essas empresas, mostrando também as tendências para o futuro desse meio de comunicação.

Tendo em vista esses aspectos, pode-se dizer que a justificativa desse trabalho foi plenamente cumprida e tanto o objetivo geral quanto os específicos foram alcançados em sua totalidade, conforme a proposta inicial desta monografia.

REFERÊNCIAS

ALWAYN, Vivek. **Fiber-optic technologies**. Cisco Press. Data: 23 abr. 2004. Disponível em: <<https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=170740>>. Acesso em: 7 jul. 2020.

ATPLUS TELECOM. **Cases**. 2020. Disponível em: <<https://atplus.eng.br/case/atplus-telecom>>. Acesso em: 4 jul. 2020.

CAETANO, Saul Silva. **Sistemas de comunicações ópticas** – Parte II. Instituto Federal de Santa Catarina. 28 mar. 2011. Disponível em: <<http://tele.sj.ifsc.edu.br/~saul/sistemas%20opticos/comunicacoes%20opticasII.PDF>>. Acesso em: 19 abr. 2020.

CROSBY, Tim. **Active and passive optical networks**. How Stuff Works. 2019. Disponível em: <<https://computer.howstuffworks.com/fiber-to-the-home2.htm>>. Acesso em: 06 jul. 2020.

DATAKOM. **DM4615 16GPON OLT GPON standalone**. Produtos. 2018. Disponível em: <<https://www.datakom.com.br/pt/produtos/gpon/dm4615-16gpon>>. Acesso em: 23 mai. 2020.

FERRAUDO, Gabriel. **Redes ópticas passivas: Saiba mais sobre as redes GEPON e GPON**. Cianet. 12 dez. 2019. Disponível em: <<https://www.cianet.com.br/blog/infraestrutura-e-tecnologia/saiba-mais-sobre-redes-opticas-passivas-xpon-gepon-x-gpon-2/>>. Acesso em: 03 mai. 2020.

FIBERX. **Terminal de rede óptico (GPON) ONT EG8120L - Huawei**. Produtos. 2019. Disponível em: <<https://fiberx.com.br/produtos/terminal-optico-gpon-ont-eg8120l-huawei>>. Acesso em: 23 mai. 2020.

FIBRACEM. **Como identificar e entender as Nomenclaturas de Cabos Ópticos**. Curiosidades. 10 dez. 2019. Disponível em: <<https://www.fibracem.com/curiosidades/como-identificar-e-entender-as-nomenclaturas-de-cabos-opticos/>>. Acesso em: 10 mai. 2020.

FIBRACEM. **Provedores de internet e a fibra óptica**. Notícias. 14 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.fibracem.com/noticias/provedores-de-Internet-e-a-fibra-optica/>>. Acesso em: 11 jul. 2020.

FURUKAWA ELECTRIC LATAM. **Splitter óptico 1xn balanceado**. Catálogo de Produtos. 2020. Disponível em: <<https://www.furukawalatam.com/pt-br/catalogo-de-produtos-detalhes/splitter-optico-1xn-balanceado>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

FURUKAWA. **Cabo óptico CFOA-AS (ABNT), autossustentado para vão até 200m**. Catálogo de Produtos. 2020. Disponível em: <<https://www.furukawalatam.com/pt-br/versao-et-pdf/cabo-optico-cfoa-as-abnt-autossustentado-para-vao-ate-200m>>. Acesso em: 22 mai. 2020.

GATES, Bill. **A Estrada do futuro**. 6. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

GIOZZA, William Ferreira; CONFORTI, Evandro; WALDMAN, Hélio. **Fibras ópticas: Tecnologia e projeto de sistemas**. 1. ed. São Paulo: Makron, 1991.

IEEE 802 LAN/MAN STANDARDS COMMITTEE. **Point to multipoint Ethernet Passive Optical Network (EPON) tutorial**. Ethernet in the First Mile IEEE 802.3 Study Group. 2001. Disponível em: <http://www.ieee802.org/3/efm/public/jul01/tutorial/pesavento_1_0701.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2020.

JANSONS, Guntis. **What is GPON?** Short Recap. EDGE Technologies. 2015. Disponível em: <<http://www.edgetech.lv/what-is-gpon/>>. Acesso em: 11 abr. 2020.

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

MALDONADO, Edison Puig; MATOS, Dinaldo de Castilho. **Aspectos fundamentais da tecnologia de fibras ópticas**. Centro Universitário São Camilo. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/7974666-Edison-puig-maldonado-e-dinaldo-de-castilho-matos.html>>. Acesso em: 18 abr. 2020.

MASSA, Nick. **Fundamentals of photonics – Module 1.8**. 1. ed. University of Connecticut. Springfield Technical Community College: 2000. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/JOSEPHSOSPETR/00-step-module-081>>. Acesso em: 01 mai. 2020.

MILLER, Ashley S. **5G Speed? How fast is it?** Rene.E Laboratory. 20 mai. 2019. Disponível em: <<https://www.reneelab.com/5g-speed.html>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MONTORO, Fabio. **Fibra óptica ou cabo de cobre?** One Shot Design. 17 mar. 2013. Disponível em: <<http://fabiomontoro.blogspot.com/2013/03/fibra-optica-ou-cabo-de-cobre.html>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

MORELLATO, Fernando. **Cabos Ópticos** – Tipos quanto à construção. Blog IPv7. 26 set. 2018. Disponível em: <<https://www.blog.ipv7.com.br/tecnica/cabos-opticos-tipos-quanto-a-construcao/>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

NEAGU, Codrut. **What are P2P (peer-to-peer) networks and what are they used for?** Digital Citizen. 26 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.digitalcitizen.life/what-is-p2p-peer-to-peer>>. Acesso em: 02 mai. 2020.

NEW WAVE DV. **What is EPON?** New Wave Design & Verification. 2020. Disponível em: <<https://newwavedv.com/markets/telecommunications/what-is-epon/>>. Acesso em: 03 mai. 2020.

OPTCORE. **GPON vs EPON, what is the difference?** Optcore. 5 dez. 2017. Disponível em: <<https://www.optcore.net/gpon-vs-epon-difference/>>. Acesso em: 03 mai. 2020.

PEREZ, Basílio. **O momento da fibra óptica no Mercado de Provedores de Internet.** Revista ISPMAIS. 27 jun. 2018. Disponível em: <ispblog.com.br/2018/06/27/o-momento-da-fibra-optica-no-mercado-de-provedores-de-Internet/>. Acesso em: 11 jul. 2020.

PINHEIRO, José Mauricio. **Processos de emendas em fibras ópticas.** ISPBLOG Artigos. 8 jul. 2016. Disponível em: <<https://www.ispblog.com.br/2016/07/08/processos-de-emendas-em-fibras-opticas/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

REDAÇÃO QUADRAC. **Como o OLT funciona e para que serve?** Quadrac. 12 abr. 2019. Disponível em: <<https://quadrac.com.br/como-olt-funciona-e-para-que-serve/>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

REEVES, Scott. **What you need to know about EPON:** Enabling technology for NGNs. Tech Republic. 2 jul. 2013. Disponível em: <<https://www.techrepublic.com/blog/data-center/what-you-need-to-know-about-epon-enabling-technology-for-ngns/>>. Acesso em: 03 jun. 2020.

ROSENBERGER. **Caixa de emenda óptica (FOSC) DGJC-102A**: Especificação técnica. Rosenberger Domex. 2016. Disponível em: <https://www.rosenberger.com/0_documents/br/datasheets/DataCaixadeEmenda.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2020.

SCHWINGEL, Alceu Aroldo. **Apostila de rede óptica de acesso**. 1. ed. Curitiba: Copel Telecom, 2016.

SCIENCE SOURCE. **Bell's Photophone Transmitter, 1880**. New York Public Library & Science Source. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencesource.com/CS.aspx?VP3=SearchResult&ITEMID=SS2590450&RW=767&RH=712#/SearchResult&ITEMID=SS2590450&RW=767&RH=712>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

SILVA JÚNIOR, Joab Silas da. **Lei de Snell-Descartes**. Mundo Educação. 2019. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-snell-descartes.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

SILVA, Adailton J. S. **xDSL: Mais uma promessa? Rede Nacional de Ensino e Pesquisa**. Boletim bimestral sobre tecnologia de redes. v. 1. 7 nov. 1997. Disponível em: <<https://memoria.rnp.br/newsgen/9711/xdsl.html>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

SILVA, Waldirley Lopes. **Rede GPON: Uma abordagem da tecnologia**. Teleco. 2015. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgpontec/pagina_4.asp>. Acesso em: 14 abr. 2020.

SINGH, Chaitanya. **Computer network topology – Mesh, Star, Bus, Ring and Hybrid**. Beginners Book. 2019. Disponível em: <<https://beginnersbook.com/2019/03/computer-network-topology-mesh-star-bus-ring-and-hybrid/>>. Acesso em: 09 jun. 2020.

ZHAO, Rong *et al.* **FTTH Handbook**. 6. ed. Fiber to the Home Council Europe, 2014. Disponível em: <https://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/FTTH-Handbook_2014-V6.0.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2020.