



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ALEX ALVES SOUSA
JACYLLÉA SILVA OLIVEIRA**

MANUAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE PON PARA FTTH

Palmas – TO

2023

ALEX ALVES SOUSA
JACYLLÉA SILVA OLIVEIRA

MANUAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE PON PARA FTTH

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para obtenção
do Título de Bacharel em Engenharia
Elétrica do Curso de Engenharia Elétrica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, *Campus* Palmas.

Orientador: Prof. Márcio Augusto Tamashiro, Dr.

Coorientador: Claudio de Castro Monteiro, Dr.

Banca Examinadora:

Prof. Antonio Marcelino da Silva Filho, Dr. (IFTO)

Prof. Felipe Tozzi Bittencourt, Me. (IFTO)

Palmas – TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S725m Sousa, Alex Alves
Manual Para o Dimensionamento de uma Rede PON para FTTH /
Alex Alves Sousa, Jacylléa Silva Oliveira. – Palmas, TO, 2023.
64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Márcio Augusto Tamashiro
Coorientador: PhD Claudio de Castro Monteiro

1. FTTH. 2. PON. 3. Manual. I. Oliveira, Jacylléa Silva. II.
Tamashiro, Márcio Augusto III. Monteiro, Claudio de Castro. IV.
Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

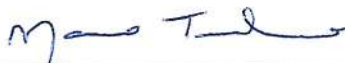
ALEX ALVES SOUSA
JACYLLÉA SILVA OLIVEIRA

MANUAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE PON PARA FTTH

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para obtenção
do Título de Bacharel em Engenharia
Elétrica do Curso de Engenharia Elétrica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, *Campus Palmas*.

Aprovado em: 19/12 / 2023

BANCA AVALIADORA



Doutor, Márcio Augusto Tamasniro (Orientador)
IFTO – UNIDADE DE PALMAS



Doutor, Cláudio de Castro Monteiro (Coorientador)
IFTO – UNIDADE DE PALMAS



Doutor, Antonio Marcelino da Silva Filho
IFTO – UNIDADE DE PALMAS



Mestre, Felipe Tozzi Bittencourt
IFTO – UNIDADE DE PALMAS

RESUMO

No que se refere à redes de telecomunicações para fornecimento de *internet* residencial, uma rede PON (*Passive Optical Network*) para FTTH (*Fiber to the Home*) deve ser bem estruturada, exigindo portanto um preparo prévio de quem irá desenvolvê-la. Notou-se que existe um déficit de disciplinas na área de telecomunicações no curso de bacharelado em Engenharia Elétrica no IFTO *campus* Palmas. Assim, este trabalho tem por objetivo apresentar a teoria referente às características e o funcionamento da fibra óptica, além de mostrar as características de uma rede PON com foco na arquitetura FTTH. Através de um projeto desenvolvido em uma região da cidade de Palmas - TO, foi produzido um manual para auxiliar no dimensionamento de uma rede PON de arquitetura FTTH, tanto para egressos de engenharia quanto profissionais da área de telecomunicações. Esse manual identifica os critérios a serem seguidos e os procedimentos necessários para o dimensionamento adequado de uma rede óptica passiva para fornecimento de conexão de *internet* residencial de alta velocidade.

Palavras-chave: Fibra. FTTH. FTTx. Manual. Óptica. PON. Projeto.

ABSTRACT

With regard to telecommunications networks for residential internet supply, a PON (Passive Optical Network) network for FTTH (Fiber to the Home) must be well structured, thus requiring prior preparation on the part of those who are going to develop it. It was noted that there is a shortage of subjects in the area of telecommunications in the bachelor's degree course in Electrical Engineering at the IFTO Palmas campus. Therefore, the aim of this work is to present the theory regarding the characteristics and functioning of optical fiber, as well as showing the characteristics of a PON network with a focus on FTTH architecture. Through a project developed in a region of the city of Palmas - TO, a manual was produced to help with the sizing of a PON network with FTTH architecture, both for engineering graduates and telecommunications professionals. This manual identifies the criteria to be followed and the procedures necessary for the proper sizing of a passive optical network to supply a high-speed residential internet connection.

Keywords: Fiber. FTTH. FTTx. Manual. Optical. PON. Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais partes de uma rede de telecomunicações.....	18
Figura 2 - Representação de um raio de luz incidindo em um meio.....	20
Figura 3 - (a) Reflexão regular e (b) Reflexão difusa.....	21
Figura 4 - (a) Situação a qual possui o ângulo crítico e (b) Situação que ocorre a reflexão total.....	22
Figura 5 - Transmissão da luz através da fibra.....	22
Figura 6 - Tipos de fibras ópticas.....	23
Figura 7 - Distorção da fibra monomodo.....	23
Figura 8 - Distorção da fibra multimodo de índice degrau.....	24
Figura 9 - Distorção da fibra multimodo de índice gradual.....	24
Figura 10 - Elementos básicos da rede de telecomunicações.....	25
Figura 11 - Topologia ponto a ponto.....	26
Figura 12 - Topologia ponto a multiponto.....	27
Figura 13 - Topologia barramento.....	29
Figura 14 - Topologia anel.....	30
Figura 15 - Topologia árvore.....	30
Figura 16 - Topologia estrela.....	31
Figura 17 - Componentes de uma rede PON.....	32
Figura 18 - AON vs PON.....	32
Figura 19 - Exemplos de redes FTTx.....	33
Figura 21 - GPON ONU DM986-100 da DATACOM.....	36
Figura 22 - SFP S-RJ01 da Mikrotik.....	36
Figura 23 - Distribuidor óptico de 12 fibras de modelo para rack.....	38
Figura 24 - Splitter óptico 1:4.....	39
Figura 25 - Caixa de emenda óptica.....	40
Figura 26 - Caixa de terminação óptica.....	40
Figura 27 - Cabo de fibra óptica.....	41
Figura 28 - Estrutura de um cabo de fibra óptica genérico.....	41
Figura 29 - Máquina de fusão.....	43
Figura 30 - Modelos de conectores.....	43
Figura 31 - Cobertura da rede óptica.....	45
Figura 32 - Topologia simplificada da rede.....	47
Figura 33 - Coletas dos postes para o projeto FTTH.....	49
Figura 34 - Células do projeto FTTH.....	50
Figura 35 - Distribuição das CTO's do projeto FTTH.....	51
Figura 36 - Distribuição das CEO's do projeto FTTH.....	52
Figura 37 - Rota backbone do projeto FTTH.....	53
Figura 38 - Rede de distribuição do projeto FTTH.....	54

Figura 39 - Padrão de cores utilizado para organização das fibras ópticas de acordo com a ABNT.....	55
Figura 40 - Organização dos cabos de seis e doze fibras ópticas.....	55
Figura 41 - Representação de “piloto” e “direcional”	56
Figura 42 - Mapa de fusão.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferenças entre EPON e GPON.....	28
Tabela 2 - Relação de transmissão do sinal óptico na camada física.....	37
Tabela 3 - Atenuações de splitters.....	39
Tabela 4 - Tipos de perdas.....	48
Tabela 5 - Quantitativo das relações.....	52
Tabela 6 - Quantitativo dos materiais utilizados.....	57

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADSL	<i>Asymmetrical Digital Subscriber Line</i>
AON	<i>Active Optical Network</i>
APC	<i>Angled Physical Contact</i>
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CEO	Caixa de Emenda Óptica
CTO	Caixa de Terminação Óptica
DIO	Distribuidor Interno Óptico
EPON	<i>Ethernet Passive Optical Network</i>
FTTA	<i>Fiber to the Apartment</i>
FTTB	<i>Fiber to the Building</i>
FTTH	<i>Fiber to the Home</i>
FTTx	<i>Fiber to the x</i>
GPON	<i>Gigabit Passive Optical Network</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
MUB	Mapeamento Urbano Básico
ODN	<i>Optical Distribution Network</i>
OLT	<i>Optical Line Terminal</i>
ONT	<i>Optical Network Terminal</i>
ONU	<i>Optical Network Unit</i>
OTD	Orientação Técnica Distribuição
PON	<i>Passive Optical Network</i>
PPC	Projeto Pedagógico de Curso
SC	<i>Standard Connector</i>
SESMT	Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho
SFP	<i>Small Form-factor Pluggable</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TI	Tecnologia da Informação
TRT	Termo de Responsabilidade Técnica

UPC

Ultra Physical Contact

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Coeficiente de atenuação
P_{in}	Potência de entrada
P_{out}	Potência de saída
L	Comprimento da fibra

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Contextualização.....	14
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo Geral.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
2 REDES DE TELECOMUNICAÇÕES.....	18
2.1 Estruturas de redes de telecomunicações.....	18
2.2 Fibra Óptica.....	20
2.2.1 Estrutura da fibra óptica.....	22
2.2.2 Tipos de fibra ópticas.....	23
2.3 Atenuação.....	24
2.4 Elementos básicos da rede de telecomunicações.....	25
2.5 Topologias de acesso óptico.....	26
2.5.1 Topologia ponto a ponto.....	26
2.5.2 Topologia ponto a multiponto.....	26
3 REDES ÓPTICAS PASSIVAS.....	28
3.1 Conceito PON.....	28
3.2 Topologia das redes PON.....	29
3.2.1 Topologia barramento.....	29
3.2.2 Topologia anel.....	29
3.2.3 Topologia árvore.....	30
3.2.4 Topologia estrela.....	31
3.3 Arquiteturas de redes PON.....	31
3.4 Redes ativas versus redes passivas.....	32
4 ARQUITETURA FTTx.....	33
4.1 Elementos ativos.....	33
4.1.1 OLT.....	34
4.1.2 ONU/ONT.....	35
4.1.3 Módulo SFP.....	36
4.2 Elementos passivos.....	37
4.2.1 DIO.....	37
4.2.2 Divisores ópticos (splitters).....	38
4.2.3 CEO.....	39
4.2.4 CTO.....	40
4.2.5 Cabos Ópticos.....	41
4.2.6 Conectores.....	42
5 PROJETO DA REDE PON.....	44

5.1 Área de cobertura geográfica.....	44
5.2 Escolha da topologia.....	46
5.2.1 Taxa de penetração da rede.....	46
5.2.2 Cálculo de perdas e orçamento de potência.....	46
5.3 Coleta dos Postes.....	48
5.4 Tamanho e definição das células.....	49
5.5 Quantidade de CTO's e localização.....	50
5.6 Número de Ramais ou CEO's e localização.....	51
5.7 Quantitativo das relações.....	52
5.8 Demarcação do Backbone.....	53
5.9 Rede de Distribuição.....	53
5.10 Rede de Atendimento.....	54
5.11 Elaboração do Plano de Fusão.....	54
5.12 Elaboração de Projetos Uso Mútuo.....	56
5.13 Materiais utilizados.....	57
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE A – PLANO DE FUSÃO.....	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Ao longo do desenvolvimento da humanidade, sempre houve a necessidade de estabelecer comunicação interpessoal, com o objetivo de transmitir e receber informações. Diversos métodos de comunicação surgiram no decorrer do tempo, desde pinturas e figuras, representações escritas, chegando aos tempos atuais, no qual a *Internet* permite o compartilhamento de informações em âmbito global e em tempo real (ARAÚJO, 2019).

Diversas tecnologias de acesso à *internet* foram e continuam sendo desenvolvidas, como o “acesso discado, acesso ADSL (*Asymmetrical Digital Subscriber Line*), acesso por cabo modem, acesso dedicado, acesso via rádio, acesso via satélite, acesso móvel, acesso misto e acesso via fibra óptica.” (MENESES FILHO, 2018).

A conectividade de alta velocidade e qualidade tornou-se uma necessidade essencial na sociedade contemporânea, impulsionada pelo crescimento exponencial do consumo de conteúdo digital, serviços em nuvem, teletrabalho e *Internet* das Coisas (IOT). Alinhado a isso está a modernização dos setores de Tecnologia da Informação (TI), ocasionando um aumento considerável de tráfego de dados nos diversos tipos de equipamentos utilizados, seja no âmbito domiciliar ou empresarial (ARAÚJO, 2019)

Em termos de velocidade e capacidade de transmissão de dados, as fibras ópticas apresentam vantagens em relação a outros métodos de acesso à *internet* para redes em banda larga, tendo em vista que possuem capacidade de velocidade em escala de dezenas de *gigabit* por segundo, além de aumentarem a confiabilidade dos sistemas de comunicação. Isso se deve muito por conta da evolução da tecnologia fotônica (PINHEIRO, 2017).

Redes ópticas que partem da premissa FTTx¹ com tecnologia PON² se tornam essenciais para atendimento de conexão banda larga, pelo fato de apresentarem alta qualidade de sinal e se tratarem de redes passivas no qual uma única fibra pode atender vários usuários, a partir de uma conexão central de um provedor de acesso (LATAM, 2021).

1.2 Justificativa

O desenvolvimento tecnológico, no que diz respeito aos meios de comunicação, proporciona cada vez mais facilmente o acesso à informações e o compartilhamento de dados. Isso aumenta consequentemente a quantidade de equipamentos conectados em uma rede para estabelecer e processar tal comunicação. Exige-se, portanto, um método para suprir a alta demanda de velocidade e capacidade na transmissão de dados (MENESES FILHO, 2018).

Segundo dados do Relatório Anual de *Internet* da CISCO (2020), estimou-se um crescimento considerável no número médio de dispositivos e conexões per capita de 2018 até 2023 (de 2,4 bilhões para 3,6 bilhões). Para o atendimento da crescente demanda, é de suma importância o dimensionamento adequado de redes que atendam tais exigências. Redes PON para FTTH³ se apresentam como uma solução viável para tal situação.

A tecnologia PON é amplamente utilizada por provedores de *internet* que buscam fornecer um serviço de confiabilidade e alta velocidade, devido às diversas vantagens que esse tipo de rede traz. Elas são em geral de fácil instalação e garantem conexão de longo alcance, além de apresentarem segurança em sua estrutura, devido ao fato de não dependerem diretamente da energia elétrica. Diante disso, faz-se necessário um estudo sobre o funcionamento adequado desse tipo de rede para o fornecimento de *internet* domiciliar (FERRAUDO, 2023).

¹ São estruturas de redes PON destinadas a fornecer conexão a um determinado usuário, sendo um tipo de rede usada na transmissão de dados de alta velocidade. Mais informações no capítulo 4.

² *Passive Optical Network*. Um tipo de rede onde não há dispositivos ativos entre o escritório central e as instalações do cliente. Mais informações na subseção 3.1.

³ É a mais conhecida entre as variações de estruturas da FTTx. *Fiber to the Home* é um tipo de estrutura na qual a fibra óptica é levada ao interior da residência do usuário. Mais informações no capítulo 4.

O dimensionamento adequado de uma rede PON para FTTH desempenha um papel crucial na garantia do desempenho otimizado e da capacidade de atendimento da infraestrutura. Diversos fatores devem ser considerados, como a demanda esperada de tráfego de dados, a topologia da rede, a capacidade dos equipamentos, a eficiência do sistema e a garantia do serviço.

Para garantir o bom funcionamento da rede e o atendimento da demanda de dados, uma rede PON para FTTH deve ser bem estruturada, exigindo, portanto, um preparo prévio de quem irá desenvolvê-la. No entanto, nota-se que há um déficit na área de telecomunicações no que diz respeito ao curso de bacharelado em Engenharia Elétrica no IFTO *campus* Palmas, tendo em vista que ele possui um perfil mais voltado para sistemas elétricos de potência. Essa deficiência pode ser observada no PPC (Projeto Pedagógico do Curso), no qual não existem componentes curriculares de telecomunicações. Essa falta pode gerar inseguranças para o egresso que pretenda seguir nessa área.

Dessa forma, esse trabalho propõe-se a identificar quais os critérios a serem seguidos e os procedimentos necessários para o dimensionamento adequado de uma rede óptica passiva com estrutura FTTH para fornecimento de conexão de *internet* de alta velocidade. Este manual poderá ser usado como um guia para os estudantes interessados neste assunto, ou mesmo profissionais da área, que ainda não possuam familiaridade com os principais conceitos e elementos necessários para a elaboração desse tipo de projeto de engenharia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um manual prático para o dimensionamento de uma rede PON (*Passive Optical Network*) de arquitetura FTTH (*Fiber to the Home*), tendo como referência uma proposta de projeto implantado em uma região específica da cidade de Palmas, no Tocantins.

1.3.2 Objetivos Específicos

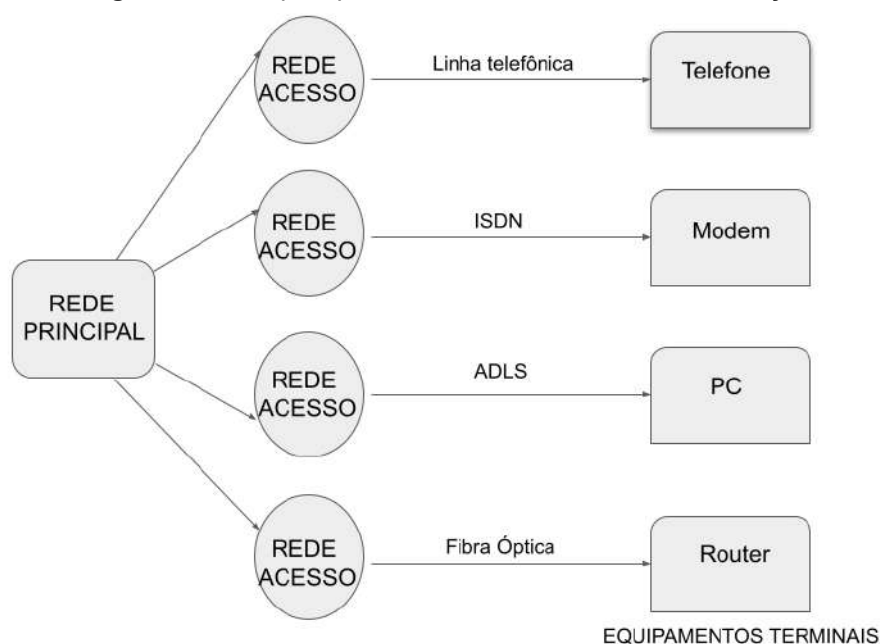
- 1) Pesquisar sobre as características construtivas e de operação da fibra óptica;
- 2) Apresentar os elementos básicos de uma rede física de telecomunicação;
- 3) Analisar as características e vantagens de uma rede PON;
- 4) Apresentar sobre a estrutura e funcionamento de uma arquitetura FTTx, com foco na FTTH;
- 5) Pesquisar e utilizar as normas necessárias para a realização de projetos de uma rede PON;
- 6) Elaborar o modelo de um projeto FTTH para o atendimento de uma região específica da cidade de Palmas.

2 REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

2.1 Estruturas de redes de telecomunicações

Basicamente, uma rede de telecomunicações é constituída por três partes: (i) rede principal, (ii) rede de acesso e (iii) equipamentos terminais (ELER, 2015), conforme Figura 1.

Figura 1 - Principais partes de uma rede de telecomunicações



Fonte: Eler (Adaptado, 2015).

Lopes (2012) afirma que há quatro tipos principais de meios físicos de transmissão nas redes de acesso:

- Par trançado de cobre, que são usados em redes telefônicas⁴ e redes xDSL⁵, por exemplo.

⁴ ISDN (*Integrated Service Digital Network*) também conhecida como RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados) é um serviço disponível em centrais telefônicas digitais, que permite acesso à internet e baseia-se na troca digital de dados, onde são transmitidos pacotes por multiplexagem (possibilidade de estabelecer várias ligações lógicas numa ligação física existente) sobre condutores de par trançado.

⁵ xDSL (*Digital Subscriber Line*) é uma rede que aproveitou a infraestrutura da linha telefônica e separou as frequências utilizadas para transmissão de voz e de dados. ADLS (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) é uma variação desse tipo de rede com velocidade assimétrica.

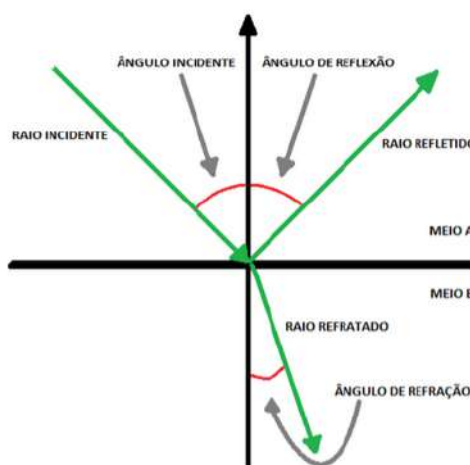
- Cabo coaxial, que é um fio de cobre revestido por um material isolante e rodeado por uma blindagem.
- *Wireless*, onde não há um meio físico, como cabos, para a transferência de dados e informações.
- Fibra óptica, usada em transmissões de alta velocidade. Essa tecnologia será abordada a seguir.

2.2 Fibra Óptica

A luz se comporta como um raio ou como partículas eletromagnéticas, dependendo das condições. Atualmente não existe um único modelo para descrever sua natureza, mas a lei de *Snell* ainda é a melhor maneira para explicar como funcionam as fibras ópticas (PINHEIRO, 2017).

Essa lei mostra que a relação entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é igual à relação entre as velocidades de propagação da onda nos dois meios respectivos. Em outras palavras, a luz irá trafegar uma linha reta se estiver em um mesmo meio de propagação, mas terá uma mudança de direção se encontrar um outro meio com densidade diferente do anterior. Então, uma parte dessa energia poderá ser refletida de volta para o meio e a outra parte, refratada para o novo meio. Esse fenômeno é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Representação de um raio de luz incidindo em um meio



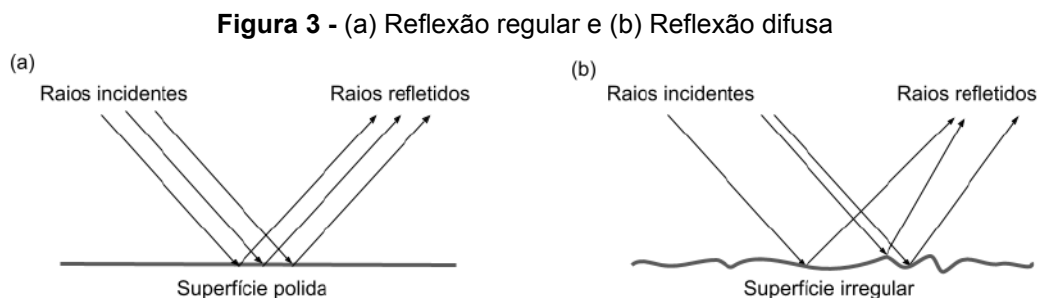
Fonte: Albuquerque (2018).

Albuquerque (2018, p.30) afirma que depois que ocorre a refração e a reflexão, as principais características dos raios de luz são:

O raio refletido preserva a sua frequência e a velocidade de propagação, enquanto o raio refratado preserva somente a sua frequência, uma vez que mudará a direção e a velocidade de propagação com relação a onda de luz inicial.

A reflexão pode ser classificada como reflexão regular e reflexão difusa, conforme ilustra a Figura 3. O primeiro trata-se quando os raios de luz incidem sobre

uma superfície totalmente polida, por exemplo um espelho, e são refletidos em uma mesma direção e ângulo. Já o segundo é quando os raios incidem sobre uma superfície irregular e são refletidos em direções diferentes (PINHEIRO, 2017).



Fonte: Pinheiro (Adaptado, 2017).

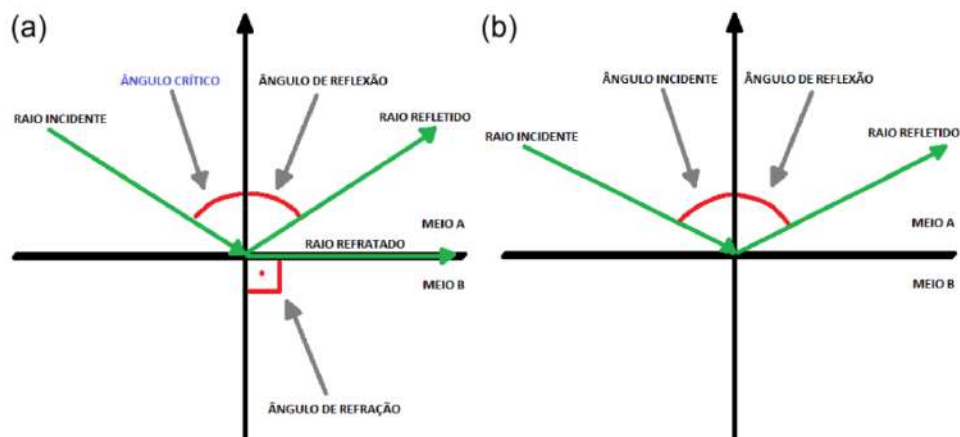
De acordo com Pinheiro (2017), o funcionamento da fibra óptica é baseado na reflexão interna total que ocorre quando um feixe de luz emerge de um meio mais denso para um meio menos denso. A luz, irradiada por um dispositivo fototransmissor, é guiada e propaga-se por reflexões sucessivas em um meio físico, a fibra, até chegar em um dispositivo fotodetector. A reflexão interna total deve ocorrer para que todos os feixes de luz se mantenham dentro do núcleo.

Segundo Pinheiro (2017, p.22):

No ângulo crítico, a luz é refletida de volta da superfície e permanece dentro do meio mais denso. A luz, viajando por uma haste de fibra de material transparente com um índice refrativo maior do que o material que o rodeia, será internamente refletida, continuamente, dentro da haste, enquanto o ângulo de incidência for maior do que o ângulo crítico.

A Figura 4 (a) ilustra uma situação em que o ângulo de refração possui 90° , que pode ser observado pelo raio de luz refratado paralelamente à superfície entre os meios, e o ângulo de incidência igual ao ângulo crítico. Já na Figura 4 (b) há a representação da reflexão interna total, onde o ângulo incidente é maior que o ângulo crítico, situação em que não há mais refração (ALBUQUERQUE, 2018).

Figura 4 - (a) Situação a qual possui o ângulo crítico e (b) Situação que ocorre a reflexão total



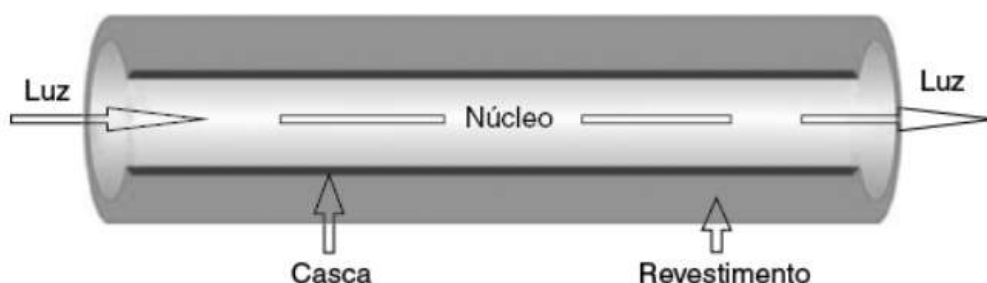
Fonte: Albuquerque (2018).

Para evitar a perda de energia luminosa, é importante que o ângulo crítico tenha baixos valores. Assim, o funcionamento da fibra óptica é a combinação da reflexão da luz e o ângulo crítico (PINHEIRO, 2017).

2.2.1 Estrutura da fibra óptica

As fibras ópticas são compostas por uma casca de material dielétrico, geralmente vidro ou plástico, que envolve o núcleo e possui um índice de refração inferior ao do núcleo. O núcleo também é constituído por um material dielétrico, geralmente vidro. O cabo óptico é essa estrutura envolvida por outros revestimentos e encapsulamentos para proteção mecânica e ambiental (PINHEIRO, 2017). A Figura 5 mostra a estrutura da fibra óptica.

Figura 5 - Transmissão da luz através da fibra

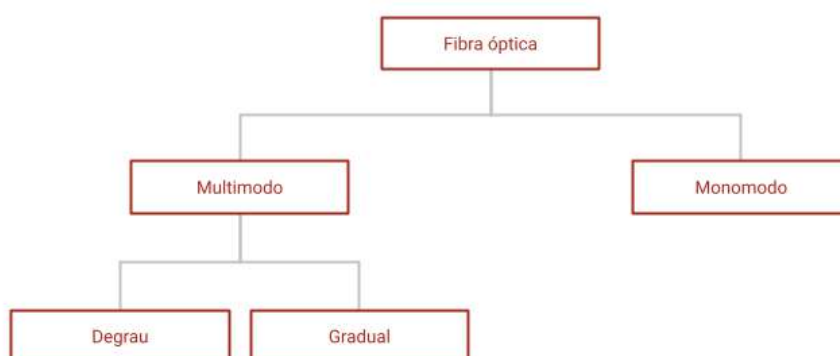


Fonte: Pinheiro (2017).

2.2.2 Tipos de fibra ópticas

Existem diferentes tipos de fibras e o tipo de material e o modo de fabricação utilizado impacta diretamente nas características. Por exemplo, na frequência suportada e nos níveis de atenuação. Existem dois tipos principais: fibras monomodo e fibras multimodo. E o último é subdividido em dois tipos: índice degrau e índice gradual (PINHEIRO, 2017), conforme Figura 6.

Figura 6 - Tipos de fibras ópticas



Fonte: Autores (2023).

As fibras do tipo monomodo possuem um baixo índice de refração, o que faz com que os feixes de luz se propaguem quase que horizontalmente. Por causa disso, o ângulo crítico é próximo de 90° . O tamanho do núcleo também é pequeno, fazendo com que a luz tenha somente um modo de propagação. Resultando em um sinal com menos distorções, conforme a Figura 7. Isso a permite que ela seja usada para longas distâncias (ARAÚJO, 2019).

Figura 7 - Distorção da fibra monomodo



Fonte: Araújo (2019).

Já as de multimodo possuem diversos caminhos que os feixes de luz podem seguir. O núcleo é um pouco maior que o tipo monomodo. No subtipo de índice degrau há um alto índice de refração e por causa disso, o sinal se torna distorcido quanto mais se propaga pela fibra, conforme ilustra a Figura 8 (ARAÚJO, 2019).



Fonte: Araújo (2019).

Por outro lado, a mudança de índice de refração acontece de maneira gradual no subtipo de índice gradual. Quanto mais o feixe se distancia do centro do núcleo, mais o índice de refração vai diminuindo. Ele possui uma distorção menor se comparado com o índice degrau. A Figura 9 ilustra a distorção da fibra multimodo de índice gradual.



Fonte: Araújo (2019).

De todo modo, como as fibras do tipo multimodo causam perdas no sinal devido às distorções, elas acabam se tornando inviáveis para transmissões a longas distâncias. São usadas para redes LAN (ARAÚJO, 2019).

2.3 Atenuação

O estudo das atenuações permite determinar as distâncias entre o transmissor e os amplificadores presentes na rede. A atenuação causa perdas no

sinal transmitido devido ao percurso do sinal pela extensão da fibra, o que acaba limitando o comprimento de enlace. A equação a seguir permite calcular a atenuação α para uma fibra óptica de comprimento L com base na potência de saída (P_{out}) e entrada (P_{in}), sendo α em dB/Km (ARAÚJO, 2019). Logo:

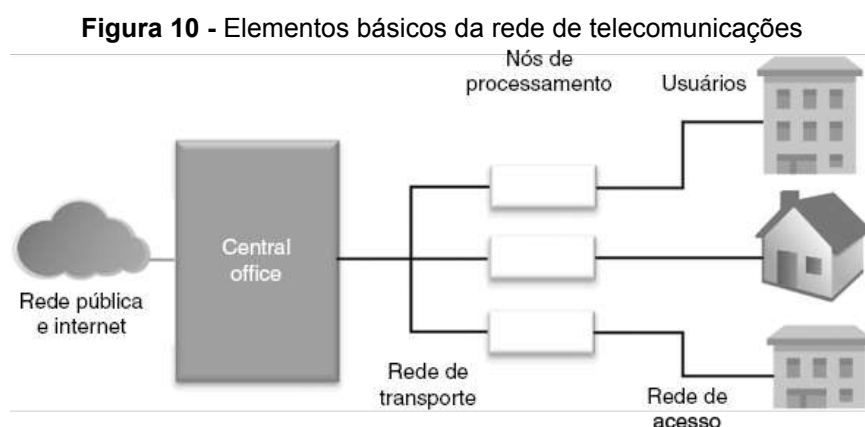
$$\alpha(dB/km) = \frac{10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}}}{L} \quad (1)$$

A fibra óptica normalmente é feita com vidro ou plástico, mas como o vidro tem uma atenuação menor que a de plástico, isso torna este tipo melhor para enlaces de longas distâncias. Os mecanismos que mais causam atenuação no sinal são:

- Absorção
- Espalhamento
- Curvaturas
- Projeto de guia de onda

2.4 Elementos básicos da rede de telecomunicações

De acordo com Pinheiro (2017), uma rede de telecomunicações possui três estruturas básicas: nó de processamento, rede de transporte e rede de acesso. O primeiro é onde ocorre o tratamento e o encaminhamento da informação, o segundo é responsável pela comunicação entre os nós de processamento e pode apresentar diferentes tipos de mídia para conexão e o último é responsável por interligar os usuários com os nós de processamento. Esses elementos estão representados na Figura 10.



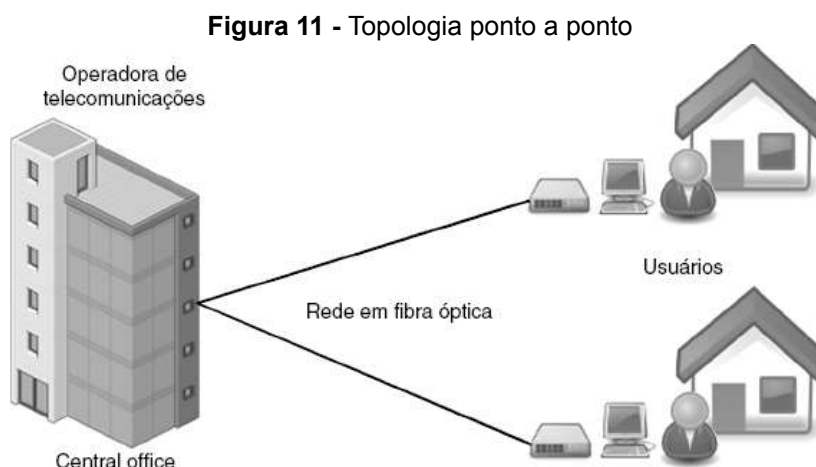
Fonte: Pinheiro (2017).

2.5 Topologias de acesso óptico

As redes ópticas de acesso podem ser divididas em duas topologias principais: redes ponto a ponto e redes ponto a multiponto.

2.5.1 Topologia ponto a ponto

Nesta topologia, os enlaces ópticos conectam os usuários por meio de fibras dedicadas aos equipamentos da operadora ou do provedor através de equipamentos ativos, isto é, que necessitam de energia elétrica. Esta topologia está ilustrada na Figura 11. Apesar de apresentar uma maior facilidade com as atualizações no fornecimento dos serviços, envolve um alto custo com a instalação de equipamentos e um tempo de recuperação alto, principalmente quando há uma ruptura nos cabos (PINHEIRO, 2017).



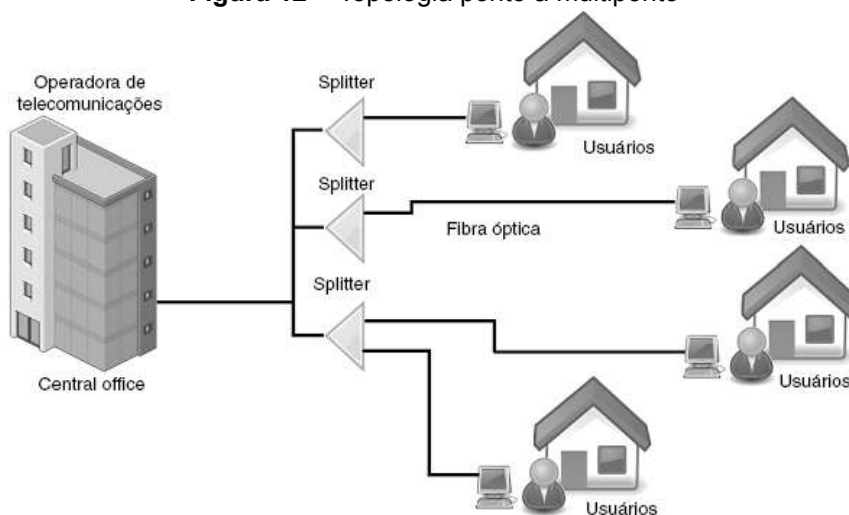
Fonte: Pinheiro (2017).

2.5.2 Topologia ponto a multiponto

A topologia ponto a multiponto, representada na Figura 12, apresenta a versatilidade de suportar diversas configurações, como barramento, anel ou árvore. Um aspecto distintivo dessa topologia é a substituição dos tradicionais equipamentos ativos por dispositivos passivos conhecidos como *splitters*. Estes *splitters* desempenham um papel crucial na distribuição eficiente do sinal, uma vez

que não dependem de alimentação elétrica para operar e não exigem uma configuração complexa (PINHEIRO, 2017).

Figura 12 - Topologia ponto a multiponto



Fonte: Pinheiro (2017).

Essas características fazem da topologia ponto a multiponto uma escolha estratégica em diversos contextos, adaptando-se às demandas específicas de cada ambiente de comunicação.

3 REDES ÓPTICAS PASSIVAS

3.1 Conceito PON

A rede PON (*Passive Optical Network*) é a evolução da arquitetura de redes ponto multiponto e é baseada na transmissão bidirecional em uma única fibra óptica. Nesse tipo de rede, não há dispositivos ativos entre o escritório central e as instalações do cliente. Em vez disso, são colocados apenas componentes ópticos passivos no trajeto, com a finalidade de direcionar os sinais contidos em comprimentos de onda ópticos específicos para os terminais dos usuários e de volta ao escritório central (KEISER, 2014).

A tecnologia PON pode ser implementada por meio de vários esquemas alternativos, mas dentre os principais destacam-se a *Ethernet PON* (EPON) e a *Gigabit PON* (GPON). As principais diferenças entre as duas tipologias estão listadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Diferenças entre EPON e GPON

	EPON	GPON
Padrão e protocolo	IEEE 802.3ah, Ethernet	ITU-T G.984, GEM
Tamanho dos Pacotes	1518 bytes	de 53 até 1518 bytes
Velocidade de transmissão	Simétrica, Down - 1,25 Gbps Up - 1,25 Gbps	Assimétrica, Down - 2,5 Gbps Up - 1,25 Gbps
Comprimento de onda	Down - 1490nm Up - 1310nm	Down - 1490nm Up - 1310nm
Distâncias	20 km	20 km
Divisões	16, 32 ou 64	32, 64 ou 128
Eficiência	67%	93%
Compatibilidade	Permite compatibilidade entre vários fabricantes	O ITU-T não é aconselhável compartilhar com outros fabricantes

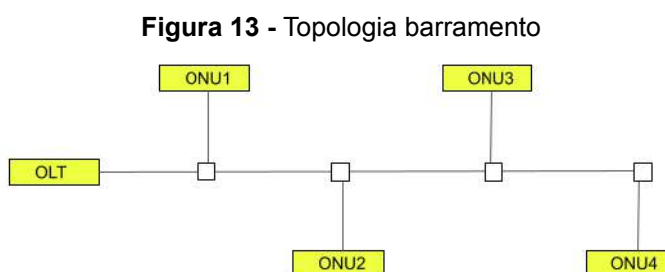
Fonte: Araújo (2019).

3.2 Topologia das redes PON

Basicamente, há três tipos de topologias possíveis para esse tipo de rede: barramento, anel e árvore. Apesar de que existem alguns casos em que é aceito usar a topologia estrela. Todas têm suas vantagens e desvantagens e devem ser aplicadas em um projeto de acordo com a necessidade (MENESES FILHO, 2018).

3.2.1 Topologia barramento

Essa topologia é bem semelhante a topologia radial de um sistema elétrico de potência. Tem-se um ponto central, OLT⁶, e uma ONU⁷ no qual é conectada à OLT através de uma fibra proveniente de *splitters*, conforme a Figura 13. O custo é baixo se comparado com as outras topologias, porém apresenta perdas de potência do sinal óptico a cada *splitter* inserido na rede. Então, a ONU mais distante acaba recebendo um sinal óptico mais fraco. Além de que não possui um sistema de redundância. Assim, se ocorrer um rompimento da fibra em um determinado lugar, as ONU's mais distantes podem perder o sinal.



Fonte: Meneses Filho (Adaptado, 2018).

3.2.2 Topologia anel

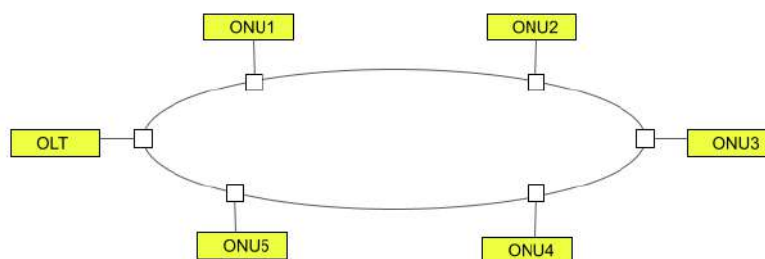
Consiste em algumas ou várias ONU's que são ligadas em série e, as ONU's nas extremidades são conectadas em uma OLT. Isso cria dois segmentos de transmissão, conforme ilustrado na Figura 14.

⁶ Terminal de linha óptica. É responsável por controlar o fluxo bidirecional de informações através da rede. Mais informações na seção 4.1.1.

⁷ Unidade de rede óptica. É responsável por receber e adequar o sinal proveniente da OLT para estabelecer conexão com o usuário. Mais informações na seção 4.1.2.

Apesar de ser mais caro, esta topologia, ao contrário da anterior, já apresenta um sistema de redundância. Em outras palavras, se ocorrer uma falha, o tráfego irá circular em outra direção. Apesar disso, ainda apresenta a mesma desvantagem do barramento é que a atenuação do sinal ao passar por cada *splitter* (MENESES MENESES FILHO, 2018).

Figura 14 - Topologia anel



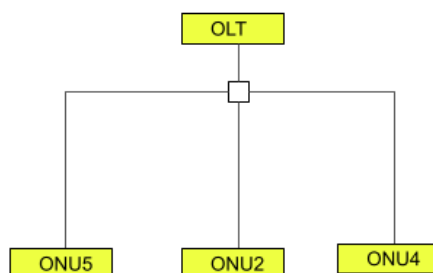
Fonte: Meneses Filho (Adaptado, 2018).

3.2.3 Topologia árvore

Nesta topologia, uma OLT é ligada a um *splitter* através de uma fibra e as ONUs são conectadas por meio de fibras neste mesmo *splitter*, conforme Figura 15. Olhando pelo ponto de vista da OLT, esta topologia apresenta a característica de ser ponto a multiponto, mas pela visão das ONU's é uma conexão ponto a ponto (MENESES FILHO, 2018).

Esta topologia é a mais utilizada nas redes PON. Apresenta um baixo custo e manutenção. Porém, como não tem redundância, se ocorrer uma falha ou um rompimento entre a OLT e o *splitter*, as ONU's a jusante ficarão sem sinal.

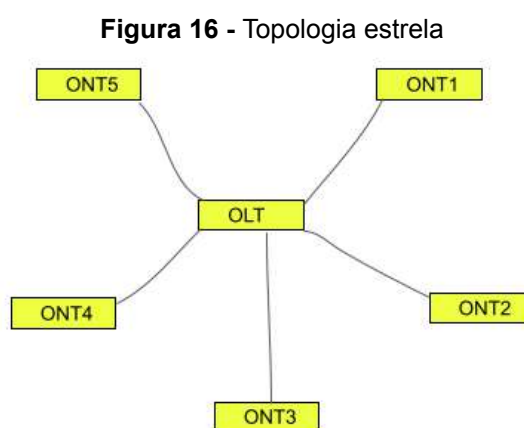
Figura 15 - Topologia árvore



Fonte: Autores (2023).

3.2.4 Topologia estrela

Esta topologia apresenta um ponto central, a OLT, e as ONU's são ligadas diretamente a ela. A Figura 16 ilustra esta topologia. Ela permite que os usuários finais recebam uma banda dedicada de altas taxas. Possui um baixo custo em manutenção, operação e administração, porém a depender da distância entre o usuário final e a OLT, é possível ter um custo alto com cabos (MENESES FILHO, 2018).

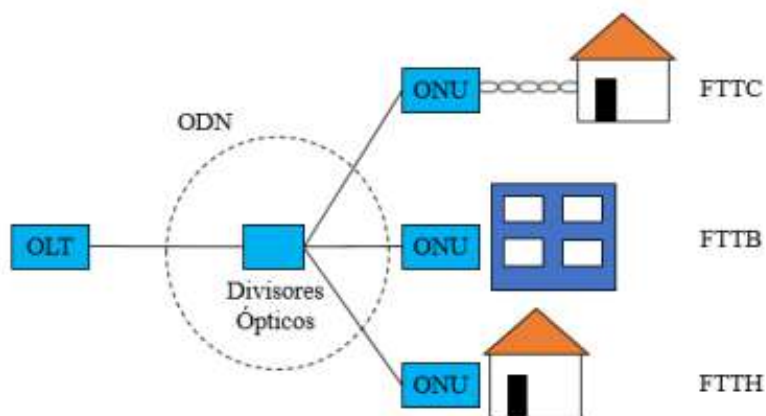


Fonte: Autores (2023).

3.3 Arquiteturas de redes PON

Segundo Pinheiro (2017, p. 208), “a tecnologia PON foi desenvolvida para disponibilizar, fundamentalmente, acesso ponto a multiponto entre usuários e as redes de telecomunicações, utilizando como meio físico principal as fibras ópticas.”

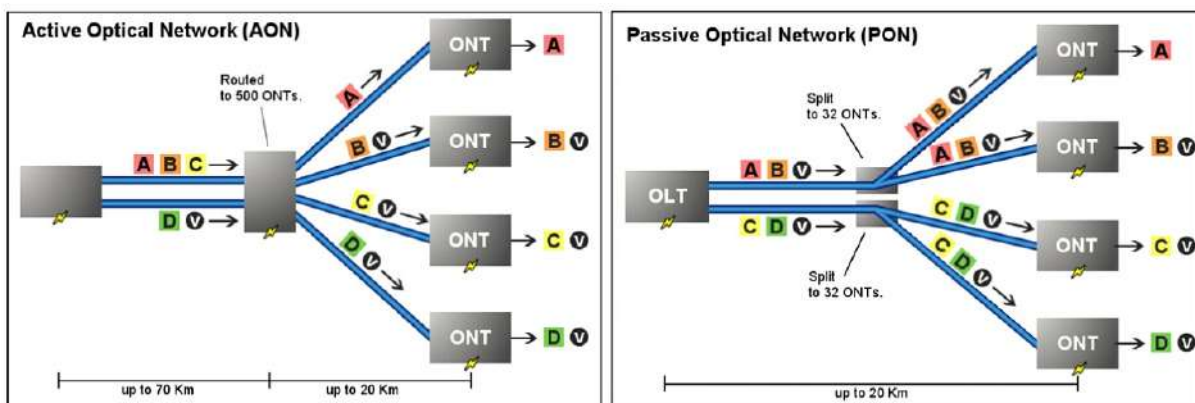
As redes de fibra óptica passivas são formadas por cabos de fibra óptica e vários componentes ópticos e sistemas. Em essência, uma rede PON é composta por uma unidade de terminal óptico (OLT), uma rede de distribuição óptica (ODN) que inclui divisores ópticos (*splitters*) e várias unidades de rede óptica (ONU's) (MENESES FILHO, 2018). Uma representação simplória da arquitetura de uma rede PON pode ser observada na Figura 17:

Figura 17 - Componentes de uma rede PON

Fonte: Meneses Filho (2018).

3.4 Redes ativas versus redes passivas

As redes ópticas ativas (AON) se caracterizam pela utilização de elementos ativos ao longo da estrutura que servem para distribuir o sinal óptico. Em contrapartida, as redes PON são compostas apenas por componentes passivos. Sendo assim, a principal diferença entre as redes AON e PON está na necessidade de energia elétrica na rede de distribuição de acesso. Além disso, existe maior latência nas redes ativas devido a necessidade da conversão óptico-elétrico-óptico. As redes PON acabam, portanto, se tornando mais viáveis, tanto em questão de manutenção quanto financeira, devido a menor utilização de equipamentos em sua estrutura (LOPES, 2012). A Figura 18 representa essa diferença entre as redes AON e PON.

Figura 18 - AON vs PON

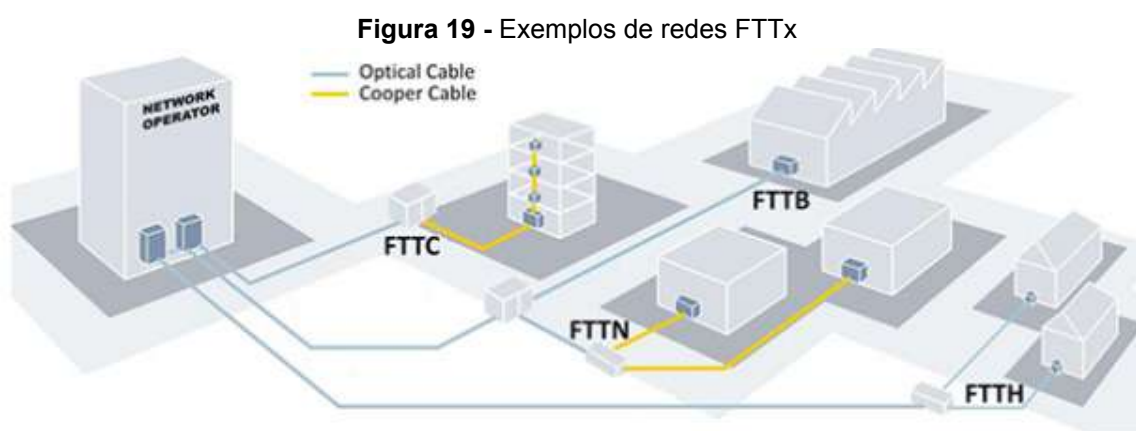
Key: **A** - Data or voice for a single customer. **V** - Video for multiple customers.

Fonte: Lopes (2012).

4 ARQUITETURA FTTx

As arquiteturas FTTx são estruturas de redes PON destinadas a fornecer conexão a um determinado usuário, sendo um tipo de rede usada na transmissão de dados de alta velocidade. O termo FTTx significa “*Fiber to the x*”, no qual o “x” representa a aplicação final da rede de fibra óptica. O ponto específico onde a fibra chega, realizando a transição do sinal óptico para o não óptico, determina o local da instalação dos equipamentos ópticos (PINHEIRO, 2017).

A partir disso tem-se as variações na estrutura da FTTx como: *Fiber to the Building* (FTTB), ideal para atendimento de edifícios comerciais ou residenciais; *Fiber to the apartment* (FTTA), onde a fibra chega até um apartamento; *Fiber to the curb* (FTTC), caracterizada pela proximidade entre o transmissor e o usuário; *Fiber to the node* (FTTN), no qual a fibra vai até um nó ou caixa de conexão; FTTH, sendo a mais conhecida, no qual a fibra óptica é levada ao interior da residência do usuário (ARAÚJO, 2019). As variações estão ilustradas na Figura 19.



Fonte: Araújo (2019).

Os elementos dessa arquitetura são divididos em elementos ativos e passivos. Os principais elementos da rede serão descritos a seguir.

4.1 Elementos ativos

Os equipamentos ativos são a OLT e a ONU. Estes necessitam de alimentação elétrica.

4.1.1 OLT

Uma terminação de linha óptica ou terminal da linha óptica (OLT) é um equipamento responsável por controlar o fluxo bidirecional de informações através da rede, suportando distâncias de transmissão de até 20 km. Normalmente está localizado em um escritório central de um provedor. No sentido de distâncias longas ou em áreas metropolitanas, a OLT encaminha essas transmissões para todos os usuários da PON. No sentido oposto (fluxo reverso), a OLT recebe e distribui diversos tipos de tráfego de voz e dados dos usuários da rede (KEISER, 2014). No mercado podemos encontrar diversas marcas como a Fiberhome, Datacom, Parks e Furukawa. A Figura 20 mostra um exemplo de OLT.

Figura 20 - OLT GPON AN5116-06B da FIBERHOME



Fonte: Autores (2023).

4.1.2 ONU/ONT

A unidade de rede óptica (ONU) e o terminal de rede óptica (ONT) são equipamentos responsáveis por receber e adequar o sinal proveniente da OLT, realizando a interface de conexão ethernet com o usuário, sendo portanto equipamentos situados na instalação final do cliente/usuário da rede.

A diferença básica entre esses a ONU e a ONT é que essa última se trata de um equipamento eletrônico ativo, instalado em ambiente interno de dependências do usuário. Já a ONU, também é um equipamento ativo, porém sua instalação é em ambiente externo, normalmente situado dentro de armários, bastidores ou pedestais (PINHEIRO, 2017).

Araújo (2019, p.51) ressalta que:

Um fator importante das ONUs é sua sensibilidade de recepção. Dependendo da potência que o sinal da OLT chega até esta, é possível que a ONU acabe não detectando, devido a uma potência muito baixa. Desta forma, a rede deve ser projetada para que os valores de potência do sinal que chegam na ONU estejam entre -25 e -30 dBm⁸.

Em geral, a ONU/ONT será responsável por converter o sinal de fibra da rede PON para estabelecer conexão ao usuário, seja via cabo *ethernet* ou conexão *wi-fi*, a depender das características do equipamento. A Figura 21 mostra esse equipamento.

⁸ Nogueira (2022, n.p) afirma que “o dBm é a unidade de medida utilizada principalmente em telecomunicações para expressar a potência absoluta, mediante uma relação logarítmica. O dBm nada mais é do que o nível de potência em dB em relação ao nível de referência de 1mW (miliWatts)”.

Figura 21 - GPON ONU DM986-100 da DATACOM



Fonte: Autores (2023).

4.1.3 Módulo SFP

O *Small form-factor pluggable* (SFP) é um equipamento eletrônico cujo objetivo é receber e transmitir informações por meio de uma conversão entre sinal elétrico e óptico. Ele é responsável por realizar a interface entre dispositivos de comunicação, como a OLT, e cabos de fibra óptica (INTELBRAS, 2021). A Figura 22 exemplifica um modelo de SFP.

Figura 22 - SFP S-RJ01 da Mikrotik



Fonte: Autores (2023).

O módulo SFP possui um laser em seu interior, cuja potência de transmissão é estabelecida pela ITU-T⁹ na recomendação G.984.2, que também determina a relação de potência de sinal para cada classe na camada física, conforme detalha a Tabela 2 (DATACOM, 2020).

⁹ Fundada em 1865, a *International Telecommunication Union* (ITU) é a agência especializada das Nações Unidas para tecnologias de informação e comunicação.

Tabela 2 - Relação de transmissão do sinal óptico na camada física

		OLT	ONU
Classe B+	Potência de transmissão	+1,5 a +5 dBm	+0,5 a +5 dBm
	Sensibilidade	-28 dBm	-27 dBm
	Overload	-8 dBm	-8 dBm
Classe C+	Potência de transmissão	+3 a +7 dBm	+0,5 a +5 dBm
	Sensibilidade	-32 dBm	-30 dBm
	Overload	-12 dBm	-8 dBm
Classe D	Potência de transmissão	+6 a +10 dBm	+0,5 a +5 dBm
	Sensibilidade	-35 dBm	-30 dBm
	Overload	-15 dBm	-8 dBm

Fonte: DATACOM (2020).

4.2 Elementos passivos

Elementos passivos são aqueles que não necessariamente precisam de alimentação elétrica.

4.2.1 DIO

O Distribuidor Interno Óptico (DIO) tem a função de proteger e facilitar a instalação dos cabos que vem da OLT, pois geralmente esses cabos são rígidos, o que os tornam um pouco difíceis de manusear. Ele permite que seja organizado e armazenado de forma segura as emendas entre os cabos de fibras ópticas. O DIO tem modelos para instalação em *racks* e também em paredes (ARAÚJO, 2019). A Figura 23 mostra um modelo de DIO.

Figura 23 - Distribuidor óptico de 12 fibras de modelo para rack



Fonte: Autores (2023).

4.2.2 Divisores ópticos (splitters)

Os *splitters* conseguem dividir o sinal que vem de uma fibra em várias, isso permite atender diversos clientes a partir de uma única fibra vinda da central. Ele é um dos principais componentes das redes PON e seu formato mais comum no mercado é a divisão 1:8 (entrada/saída) (ARAÚJO, 2019).

Eles podem ser de dois tipos: balanceados ou desbalanceados. O primeiro divide a potência do sinal de entrada de forma igual. Já o segundo, é dividido de forma desproporcional, podendo uma saída ficar com uma porcentagem maior que outras. Segundo Meneses Filho (2018), quanto mais ramificações tiver um *splitter*, mais atenuações serão introduzidas e isso pode ser calculado pela seguinte equação: *Perdas por splitter*: $10 \times \log(N)$. N representa o número de partes em que uma fibra foi dividida. Um exemplo seria um *splitter* 1:32 em que N seria 32. Na prática, as perdas serão maiores. A Tabela 3 ilustra as perdas de potência para cada nível de divisão e a Figura 24 mostra um *splitter* 1:4.

Tabela 3 - Atenuações de *splitters*

<i>Splitter</i>	Atenuação (dB)
1:2	3,4
1:4	6,8
1:8	10,2
1:16	13,6
1:32	17
1:64	20,4
1:128	23,8

Fonte: Meneses Filho (Adaptado, 2018).

Figura 24 - *Splitter* óptico 1:4

Fonte: Autores (2023).

4.2.3 CEO

Este equipamento protege as fibras que foram unidas no processo de fusão. Ele as acomoda, evitando que entrem em contato com o meio externo. A CEO, ou caixa de emenda óptica, pode ficar localizada nos postes ou entre os postes. A Figura 25 mostra uma CEO.

Figura 25 - Caixa de emenda óptica



Fonte: Autores (2023).

4.2.4 CTO

A caixa de terminação óptica (CTO) é responsável por receber a fibra e fazer a distribuição desta fibra para os diversos clientes. Ela pode ser visualizada na Figura 26. Esta caixa protege as emendas feitas por fusão entre o cabo do *backbone* e os cabos *drops*. O primeiro é da rede de distribuição e o segundo, da rede de atendimento (ARAÚJO, 2019).

Figura 26 - Caixa de terminação óptica



Fonte: Autores (2023).

4.2.5 Cabos Ópticos

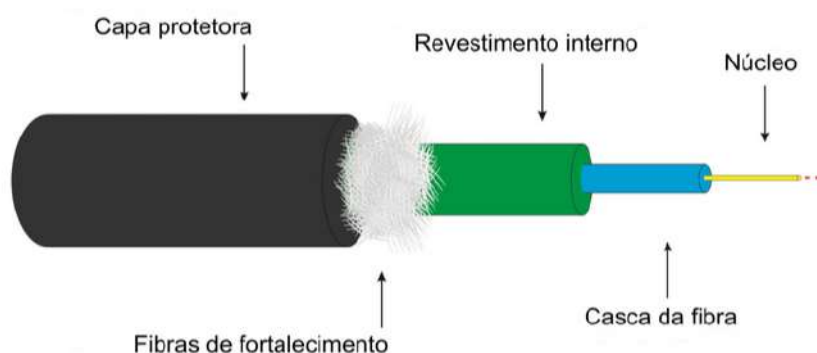
A estrutura básica de um cabo óptico é o núcleo, uma casca que o reveste, um revestimento interno para proteção da casca e do núcleo, as fibras de fortalecimento para evitar a ruptura quando a fibra sofrer alguma tração ou puxão durante a instalação, e na parte mais externa, uma capa protetora que é responsável por proteger o seu interior do meio externo (ARAÚJO, 2019). A Figura 27 mostra como é um cabo de fibra óptica e a Figura 28 ilustra a estrutura de um.

Figura 27 - Cabo de fibra óptica



Fonte: Autores (2023).

Figura 28 - Estrutura de um cabo de fibra óptica genérico



Fonte: Albuquerque (2018).

Os cabos são divididos em cinco categorias. A primeira é voltada para aplicações externas e é muito utilizada nas redes FTTx. A segunda serve tanto para

aplicações internas como também externas e é utilizada nas saídas da CTO até a casa do cliente. Ela apresenta também proteção contra incêndios. A terceira é conhecida com cabo *drop* e conecta a caixa de atendimento até a casa do cliente. A penúltima é usada somente em aplicações internas, pois não possui proteção contra o meio externo. Já a última se difere da quarta categoria ao ter maior flexibilidade e dimensões menores, porém com menos resistência mecânica (ARAÚJO, 2019).

- Cabos ópticos externos
- Cabos ópticos de terminação
- Cabos ópticos de acesso
- Cabos ópticos internos
- Cordões ópticos

4.2.6 Conectores

Em determinadas situações é necessário fazer a união de dois cabos diferentes ou a união de um cabo com um *splitter*. E isso pode ser feito de dois modos: por fusão ou por conectorização (ARAÚJO, 2019).

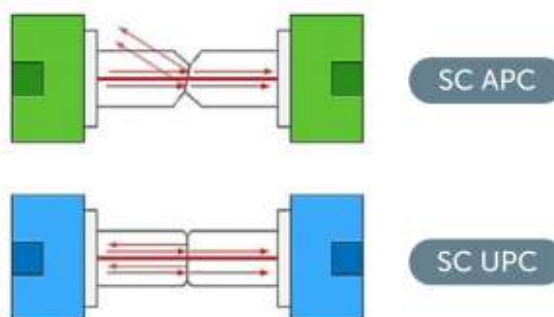
A fusão utiliza um equipamento chamado Máquina de Fusão que pode ser vista na Figura 29. As fibras são alinhadas núcleo a núcleo dentro deste aparelho e fundidas a uma alta temperatura. Neste tipo de junção é comum ter uma leve perda da potência do sinal (ARAÚJO, 2019).

Figura 29 - Máquina de fusão

Fonte: Araújo (2019).

Já na emenda por conectorização, a união é feita de forma mecânica. Segundo Meneses Filho (2018), “existem várias famílias de conectores que têm atenuações variando de 0,1 a 1 dB”.

Essa união mecânica é realizada por conectores, podendo ser do tipo SC-UPC (*Standard Connector - Ultra Physical Contact*), na cor azul, ou SC-APC (*Angled Physical Contact*), na cor verde. A sigla SC vem do termo *Standard Connector*, que representa uma estrutura de plástico em formato quadrado, com sistema de encaixe e desencaixe (INTELBRAS, 2021). As classes se diferenciam com relação à cor e o polimento da área de contato, conforme ilustra a Figura 30.

Figura 30 - Modelos de conectores

Fonte: Intelbras (2021).

5 PROJETO DA REDE PON

O desenvolvimento de um projeto de rede e a implantação são serviços que podem levar vários meses ou anos, pois depende de fatores como o orçamento e o número de colaboradores de uma empresa (MENESES FILHO, 2018).

De acordo com Pinheiro (2017), um projeto de redes é dividido em cinco fases:

1. Análise dos requisitos
2. Projeto da rede lógica
3. Projeto da rede física
4. Testes e certificação
5. Documentação do projeto

Antes de iniciar o projeto é necessário verificar os requisitos que a rede demanda no local escolhido. Para isso, utiliza-se o *site survey*, ou levantamento em campo, que é uma metodologia aplicada na inspeção no local escolhido e busca identificar o estado da infraestrutura existente, podendo até mesmo identificar os problemas e melhorias de um sistema que já esteja em funcionamento. Seu principal objetivo é assegurar que o projeto irá coincidir com a realidade e com o investimento proposto. Na segunda fase, é quando o projetista deverá desenvolver a topologia da rede e na terceira fase, o projeto já apresenta as rotas da fibra, os equipamentos e o orçamento juntamente com as características técnicas relevantes. As duas últimas fases tratam dos testes para saber se está correspondendo os dados do projeto teórico com os dados práticos e a importância de se documentar todas as etapas realizadas ao decorrer da instalação (PINHEIRO, 2017).

A seguir serão descritos todos os elementos necessários para a elaboração de um projeto de rede de fibra óptica com arquitetura FTTH.

5.1 Área de cobertura geográfica

Um dos primeiros itens a ser decidido é a área de cobertura. Ela pode ser uma cidade ou um bairro e geralmente é dividida em blocos que são conhecidos por

“região” ou “área de distribuição fixa”. Estas por sua vez, são subdivididas em pequenos blocos denominados “células” (PINHEIRO, 2017).

Recomenda-se realizar uma análise de mercado na área escolhida para que a rede construída possa atender toda a demanda (ARAÚJO, 2019). A análise feita de modo errada ou não realizada pode fazer com que a quantidade de fibras projetada não consiga suprir o que é realmente necessário para a rede de distribuição (PINHEIRO, 2017).

Tendo em vista que este trabalho possui o objetivo de ser um material didático, os critérios utilizados para a escolha do local da área de cobertura foram simetria e facilidade de operação, o que contribui para um melhor entendimento por parte do leitor dos passos que serão descritos adiante. A quadra 1304 Sul de Palmas - TO foi, portanto, escolhida para a elaboração do projeto. Ela possui 444 residências. A Figura 31 apresenta o local escolhido. O *software* utilizado para desenhar a rede foi o *Google Earth Pro*.

Figura 31 - Cobertura da rede óptica



Fonte: Google Earth (2023).

5.2 Escolha da topologia

A definição do tipo de topologia de rede é influenciada pelo seu tamanho e pelas características do tráfego (PINHEIRO, 2017). Como o local escolhido é relativamente pequeno, a decisão foi pela topologia árvore.

5.2.1 Taxa de penetração da rede

Em todo tipo de empreendimento é necessário atingir certos níveis de satisfação para que se tenha sucesso. Com a rede PON não é diferente. A taxa de penetração do serviço, ou o percentual de usuários que podem ser atendidos por região e por célula, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$T_p(\%) = \frac{HP}{D} \quad (2)$$

onde HP representa o número de usuários da rede em determinada região e D, o número de instalações domiciliares habitadas atendidas (PINHEIRO, 2017).

Ela também pode ser utilizada para indicar o percentual de usuários que se tornaram efetivamente assinantes do serviço (T_a) em relação ao número de HP potenciais. Neste caso, usa-se a seguinte equação:

$$T_a(\%) = \frac{HC}{HP} \quad (3)$$

onde HC representa o número de usuários que se tornaram assinantes. A primeira taxa é importante para a execução do projeto e o segundo, para o gerenciamento (PINHEIRO, 2017).

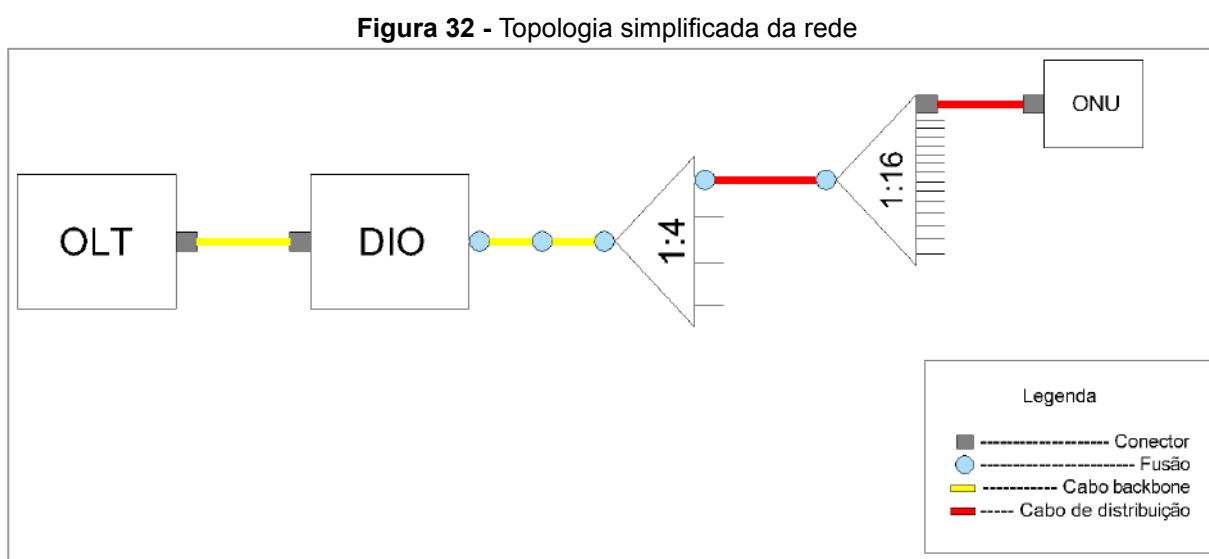
Normalmente, os provedores definem que a taxa de penetração seja de 30 a 40% e esse intervalo é obtido de forma empírica. Para o projeto de exemplo, foi definido que a taxa de penetração será 40% e a taxa que indica o percentual de usuários que irão se tornar efetivamente assinantes do serviço será 70%.

5.2.2 Cálculo de perdas e orçamento de potência

A razão de divisão da rede, que é um indicador, permite descobrir quantos assinantes é possível atender com uma única fibra óptica que sai da OLT. A sensibilidade da ONU de detectar o sinal e a quantidade máxima de divisão de uma

porta da OLT são dois fatores que têm grande influência no cálculo da razão de divisão da rede. Para que a ONU consiga detectar o sinal é preciso que haja uma atenuação. Isso pode ser obtido ao utilizar *splitters*, já que eles geram perdas no sinal. No entanto, sempre deve-se respeitar o limite de sensibilidade da ONU a depender do laser utilizado, conforme detalhado na Tabela 2. A definição de como será a topologia deve levar em conta esses fatores.

Decidiu-se utilizar a razão de 1/64 por porta da OLT com tecnologia GPON, ou seja, 64 usuários por porta, permitindo assim um compartilhamento maior de banda simultânea. Dessa forma, foi definida uma topologia balanceada em que foram utilizadas três portas da OLT. Através do DIO, cada fibra foi conectada em uma CEO com um *splitter* 1:4 e estes por sua vez em uma CTO com um *splitter* 1:16. A Figura 32 apresenta de forma simplificada a topologia das conexões desde a OLT até a ONU mais distante da central, para fins de representar as perdas do sinal durante o trajeto.



Para calcular todas as perdas acumuladas desde a OLT até o cliente devem ser consideradas as perdas na Tabela 4:

Tabela 4 - Tipos de perdas

Tipo de perda	Perda
Perda por conector	-0,5 dB
Perda por fusão	-0,1 dB
Perda por propagação do sinal	-0,35 dB/km
Perda do <i>splitter</i> 1:4	6,8 dB
Perda do <i>splitter</i> 1:16	13,6 dB

Fonte: Araújo (Adaptado, 2019).

Ao analisar a Figura 32 é possível perceber que há 4 conectores, 5 fusões e 2 *splitters* cascadeados, um com a razão de 1:4 e outro de 1:16. A perda por propagação será de -0,21 dB, já que a distância entre a OLT e o cliente mais distante é de 0,6 km. Assim, a perda total desde a OLT até o cliente mais distante é de aproximadamente -23,11 dB.

É uma boa prática estipular uma margem de segurança de 3 dBm por causa de perdas causadas por intempéries (ARAÚJO, 2019). Com base na Tabela 2, o SFP escolhido para realização do projeto será o de classe B+ com potência de transmissão de +5 dBm. Dessa forma, será considerado uma potência mínima de -21,11 dBm chegando na ONU.

5.3 Coleta dos Postes

É nessa fase que a coleta de características e a localização de cada poste acontece. Apesar de que as localizações dos postes possam ser colhidas pelo *Google Earth*, é recomendável utilizar em conjunto um GPS e um reconhecimento em campo para uma melhor exatidão (ARAÚJO, 2019). O aplicativo “OZsurvey” é um exemplo de um aplicativo que pode auxiliar no reconhecimento em campo.

Tendo em vista que a cidade de Palmas dispõe do site “GeoPalmas”, no qual estão registrados os mapas de todas as quadras da cidade, e que também um documento MUB¹⁰ da Energisa referente à quadra 1304 Sul estava disponível, não foi necessário fazer um reconhecimento em campo.

¹⁰ O Mapeamento Urbano Básico (MUB) é um documento que trata da relação dos postes da rede de distribuição da concessionária e é disponibilizado mediante solicitação.

Após o levantamento dos postes e o término do projeto de redes, é necessário enviar o projeto e os postes que serão utilizados para a concessionária. Mais informações sobre os procedimentos necessários estão disponíveis na seção 5.12. A Figura 33 mostra as localizações dos postes.

Figura 33 - Coletas dos postes para o projeto FTTH



Fonte: Google Earth (2023).

5.4 Tamanho e definição das células

Cada célula atende uma quantidade de usuários. Para definir a quantidade de células que o projeto terá, pode-se usar a seguinte equação (ALBUQUERQUE, 2018):

$$TC = \frac{\text{Ordem de divisão de splitter} \times 100\%}{\text{Taxa de penetração (\%)}} \quad (4)$$

Considerando que o *splitter* escolhido para ser usado nas CTO's é da ordem de 1:16 e a taxa de penetração obtida foi 40%, teremos 11 células de tamanho 40 (40 residências) distribuídas pela quadra. Como a taxa de penetração escolhida foi 40%, para cada célula serão atendidos 16 clientes. A Figura 34 mostra o mapeamento de todas as células.

Figura 34 - Células do projeto FTTH



Fonte: Google Earth (2023).

5.5 Quantidade de CTO's e localização

Sabendo o tamanho de cada célula e o número de residências é possível encontrar o número de CTO's através da razão entre eles, como pode ser visto na equação 5:

$$N^{\circ} \text{ de CTO} = \frac{N^{\circ} \text{ de residências}}{\text{Tamanho da célula}} \quad (5)$$

Para cada célula existe uma CTO, que também pode ser chamada como caixa de atendimento. Para minimizar o gasto com cabos, é recomendado que as CTO's fiquem o mais próximo possível de zonas com o maior volume de usuários (ALBUQUERQUE, 2018). Já Meneses Filho (2018) recomenda que as CTO's estejam localizadas nas esquinas de quarteirões com formatos quadriculados e ao meio da rua em quarteirões com formatos retangulares. Assim, o número de CTO's do projeto de acordo com a equação será aproximadamente: 11. A Figura 35 ilustra como ficou a distribuição de CTO's.

Figura 35 - Distribuição das CTO's do projeto FTTH



Fonte: Google Earth (2023).

5.6 Número de Ramais ou CEO's e localização

A quantidade de CEO pode ser alcançada através da razão entre o número de CTO's e a ordem de divisão do *splitter*. A ordem dos *splitter* escolhidos para serem usados nas CEO's é da ordem de 1:4. Como o número de ramais é igual ao número de CEO, esse valor pode ser encontrado pela equação 6:

$$N^{\circ} \text{ de Ramais} = \frac{N^{\circ} \text{ de CTO's}}{\text{Ordem de divisão}} \quad (6)$$

que aplicado no projeto resultará em 3 CEO's ou ramais. É recomendado que cada CEO fique em um local que facilite a ativação das 11 CTO's (ALBUQUERQUE, 2018). A localização das CEO's está ilustrada na Figura 36.

Figura 36 - Distribuição das CEO's do projeto FTTH

Fonte: Google Earth (2023).

5.7 Quantitativo das relações

A Tabela 5 mostra o resumo do quantitativo das relações calculadas acima.

Tabela 5 - Quantitativo das relações

Relações	Valores
Número de residências	444
Número de possíveis clientes	178
Tamanho da célula	40
Número de CTO's	11
Número de CEO's	3

Fonte: Autores (2023).

5.8 Demarcação do Backbone

A rota principal de alimentação, também chamada de backbone, é a rota que interliga as caixas de emenda com a OLT. Como essa rota é ligada diretamente com a OLT, ela se torna um elemento muito importante, pois qualquer falha pode acabar comprometendo toda a rede (ARAÚJO, 2019). Também tem que se atentar que ao projetar a rota dessa rede é preciso fazer uma análise, pois mal projetada pode gerar custos adicionais que o projetista deverá calcular no projeto da rede óptica (MENESES FILHO, 2018). A Figura 37 mostra como foi projetada a rota do backbone.

Figura 37 - Rota backbone do projeto FTTH



Fonte: Google Earth (2023).

5.9 Rede de Distribuição

Essa rede transporta o sinal desde a CEO até cada uma das CTO's (ARAÚJO, 2019). Se a rota primária estiver bem projetada, a rede de distribuição (rede secundária) não deverá sofrer com custos desnecessários. Ela deve ser o mais otimizada possível com o intuito de reduzir o tamanho de cabos de fibra óptica

destinados a atender determinados locais. Ela permite que haja ampliações sem gastos desnecessários (MENESES FILHO, 2018). A Figura 38 mostra como ficou desenhada a rede de distribuição.

Figura 38 - Rede de distribuição do projeto FTTH



Fonte: Google Earth (2023).

5.10 Rede de Atendimento

A interligação entre as caixas de terminação e as ONU's, instaladas dentro das casas dos clientes, é realizada pela rede de atendimento que é a última ramificação do projeto (ARAÚJO, 2019).

5.11 Elaboração do Plano de Fusão

Depois que o projeto é finalizado, tudo deve ser documentado para que permita futuras manutenções ou ampliações. Para isso, é utilizado o plano de fusões, que é um documento com um roteiro de como as fusões e as emendas do

projeto devem ser realizadas na prática pelos técnicos (ARAÚJO, 2019). Foi utilizado o *software AutoCad*. O plano está disponível no Apêndice A.

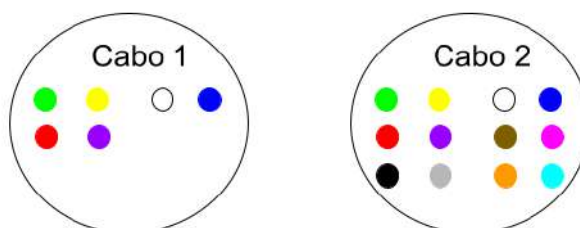
Os cabos de fibra óptica no Brasil devem seguir o padrão definido pela norma ABNT NBR 14771 (Cabo óptico interno – Especificação), quanto à organização interna do cabo. Em outros países, geralmente é utilizado EIA598-A. O padrão define que as fibras ópticas devem ser organizadas por cores e números (ALBUQUERQUE, 2018). A Figura 39 ilustra como é o padrão de cores definido pela ABNT e que será o utilizado neste projeto. Já a Figura 40 mostra a organização de 6 e 12 fibras ópticas em um cabo.

Figura 39 - Padrão de cores utilizado para organização das fibras ópticas de acordo com a ABNT

Fibra	Cor – Padrão ABNT
1	Verde
2	Amarelo
3	Branco
4	Azul
5	Vermelho
6	Violeta
7	Marrom
8	Rosa
9	Preto
10	Cinza
11	Laranja
12	Aqua

Fonte: Couto (Adaptado, s.d.).

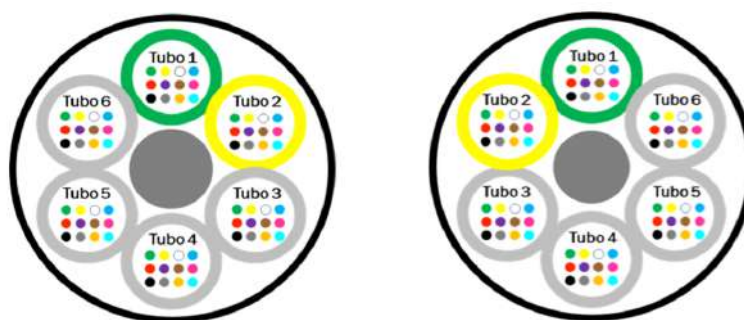
Figura 40 - Organização dos cabos de seis e doze fibras ópticas



Fonte: Albuquerque (Adaptado, 2018).

De acordo com Couto (s.d.), a norma ABNT NBR 14106 (Cordão óptico – Especificação) definiu que apenas o tubo 1 e 2 serão coloridos. O primeiro de verde e o segundo de amarelo. Os demais tubos ficarão com a cor branca ou natural. E em um cabo de 72 fibras, em que há 6 tubos, poderá haver uma maior dificuldade para a identificação de uma determinada fibra. Então, pode-se utilizar o seguinte critério: o tubo 1, conhecido como piloto, sempre será verde e o tubo 2, conhecido como direcional, sempre será o amarelo. Esse tubo é responsável de determinar se os demais tubos serão contados no sentido horário ou anti-horário, como pode ser observado na Figura 41.

Figura 41 - Representação de “piloto” e “direcional”



Fonte: Couto (s.d.).

5.12 Elaboração de Projetos Uso Mútuo

Para compartilhar a infraestrutura em rede de distribuição aérea de energia elétrica nas áreas de concessão da Energisa Tocantins é necessário observar o que está determinado na Orientação Técnica Distribuição (OTD) número 04 e também na Norma de Distribuição Unificada (NDU) número 09. Tais documentos estabelecem os critérios e os procedimentos básicos para elaborar um projeto que compartilha a infraestrutura da concessionária com as operadoras de serviço de telecomunicações e as demais ocupantes (ENERGISA, 2020).

Um dos pontos importantes é que cada prestadora de serviço só pode usar um ponto de fixação em cada poste, salvo quando houver inviabilidade técnica para utilização de apenas um ponto de fixação, cabendo à ANATEL decidir acerca da solicitação. Um outro ponto é que há um limite de 300 postes por projeto (ENERGISA, 2020).

Quando o projeto em AutoCad for apresentado, deve-se atentar que ele precisa estar na versão CAD 2010 ou inferior, e informar as ID's, alturas e cargas nominais existentes nos postes existentes. E o desenho da guia da rua deverá ser em relação aos postes existentes, não podendo ser ao contrário (ENERGISA, 2020).

Os documentos que deverão ser preparados também são: a carta de solicitação de compartilhamento de infraestrutura, a certidão de registro e quitação profissional, certidão negativa de débitos municipais, cronograma de execução de obras, licença Anatel e termo de liberação de equipe – SESMT (Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho). E todo projeto deve conter ART/TRT (Anotação de Responsabilidade Técnica / Termo de Responsabilidade Técnica) de projeto e execução emitido e assinado pelo profissional habilitado (ENERGISA, 2020).

5.13 Materiais utilizados

Os materiais que deverão ser utilizados para a execução do projeto estão listados na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantitativo dos materiais utilizados

Material	Medida	Quantidade
OLT GPON	Unid.	1
DIO 12 Fibras	Unid.	1
Splitter balanceado 1:4	Unid.	3
Splitter balanceado 1:16	Unid.	11
Cabo de 12 fibras	m	465
Cabo de 6 Fibras	km	1,07
Caixa de emenda óptica (CEO)	Unid.	3
Caixa de terminação óptica (CTO)	Unid.	11
SFP classe B+	Unid.	1

Fonte: Autores (2023).

Não foram especificadas marcas dos equipamentos devido à variedade existente no mercado, cabendo, portanto, ao profissional escolher o equipamento de sua preferência desde que siga os requisitos informados na Tabela 6.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foram apresentados o referencial teórico, conceitos, recursos e a metodologia necessários para a elaboração de um projeto de fornecimento de *internet* residencial de tecnologia GPON. Tendo em vista a abrangência da área de Telecomunicações na sociedade, esse documento proporciona um material técnico compilado de forma didática para a elaboração de projetos FTTH, o que contribui para o acervo de estudos da área.

O atual trabalho de conclusão de curso permitirá auxiliar profissionais e egressos dos cursos de Engenharia Elétrica que desejam atuar na área de telecomunicações, mais especificamente na elaboração de projetos FTTH. A partir deste manual, pode-se obter conhecimento sobre o funcionamento da fibra óptica e as características de uma rede PON com foco na arquitetura FTTH. Tendo como base uma quadra na região sul de Palmas, foi realizado um projeto com o intuito de exemplificar, de forma prática, todos os passos necessários para a sua elaboração.

Por fim, esse trabalho proporciona uma conexão direta da academia com o mercado de trabalho atual, tendo em vista que o projeto FTTH é amplamente utilizado por provedores de *Internet*, e antecede os projetos de uso mútuo das concessionárias de energia elétrica.

Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se os seguintes tópicos:

- **Análise de Desempenho de Redes PON:** Estudar e analisar o desempenho de diferentes tipos de redes PON, como EPON e GPON, em termos de largura de banda, latência, eficiência energética e outros parâmetros relevantes.
- **Otimização de Redes PON:** Desenvolver algoritmos e técnicas para otimizar a alocação de recursos, como largura de banda e energia, em redes PON.
- **Segurança em Redes PON:** Investigar possíveis vulnerabilidades e ameaças de segurança em redes PON e propor soluções para mitigá-las.

- **Integração de Redes PON com Tecnologias Sem Fio:** Explorar a integração de redes PON com tecnologias sem fio, como Wi-Fi, 5G, para fornecer conectividade sem fio de alta velocidade em áreas residenciais.
- **Aplicações de Redes PON em Cidades Inteligentes:** Estudar como as redes PON podem ser usadas para suportar várias aplicações em cidades inteligentes, como redes inteligentes, sistemas de transporte inteligentes, etc.
- **Redes PON e a Internet das Coisas (IoT):** Investigar o papel das redes PON na habilitação da IoT, especialmente em cenários de alta densidade de dispositivos.
- **Impacto Ambiental de Redes PON:** Avaliar o impacto ambiental de implantar e operar redes PON, incluindo o consumo de energia e a geração de resíduos eletrônicos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Adail Pereira. **Projeto e análise de uma rede GPON**. 2018. Trabalho de conclusão de curso — UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, Sobral - CE, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/41995>. Acesso em: 31 out. 2023.

ALECRIM, Emerson. **Tecnologia ISDN**. 2003. Disponível em: <https://www.infowester.com/isdn.php>. Acesso em: 27 dez. 2023.

ARAÚJO, Francisco Heitor Vasconcelos. **Projeto de uma rede gpon fttb implantada na cidade de santana do acaraú**. 2019. Trabalho de conclusão de curso — UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, Sobral - CE, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47527>. Acesso em: 4 jun. 2023.

CISCO annual internet report (2018–2023) white paper. 9 mar. 2020. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>. Acesso em: 4 jun. 2023.

COUTO, Ronaldo. **Código de cores em fibras ópticas**. Disponível em: <https://www.infranewstelecom.com.br/codigo-de-cores-em-fibras-opticas/>. Acesso em: 10 nov. 2023.

DATAKOM. **Alcance Físico x Alcance Lógico em redes GPON**. 2020. Disponível em: <https://www.datakom.com.br/pt/blog/40/alcance-fisico-x-alcance-logico-em-redes-gpon>. Acesso em: 19 nov. 2023.

ENERGISA. **ORIENTAÇÃO TÉCNICA DISTRIBUIÇÃO - Elaboração de Projetos Uso Mútuo**. 2020. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Documents/Normas%20t%C3%A9cnicas/OTD%2004%20-%20Elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20Projetos%20Uso%20M%C3%BAtuopdf>. Acesso em: 25 out. 2023.

ENERGISA. **Critérios para para Compartilhamento de Infraestrutura da Rede Elétrica de Distribuição - NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA**. 2022. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Documents/Normas%20t%C3%A9cnicas/NDU%20009%20-%20Crit%C3%A9rios%20para%20Compartilhamento%20de%20Infraestrutura%20da%20Rede%20El%C3%A9trica%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20%20Vers%C3%A3o%206.0.pdf>. Acesso em: 25 out. 2023.

ELER, E. D. O. Teleco. Modelo TMN: **Aplicação ao Gerenciamento de Redes de Telecomunicações**. 2015. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmodelotmn/pagina_3.asp. Acesso em: 05 jun. 2023.

FERRAUDO, Gabriel. **O que é a tecnologia GPON**. 21 jan. 2023. Disponível em: <https://www.cianet.com.br/infraestrutura-e-tecnologia/tecnologia-gpon/>. Acesso em: 4 jun. 2023.

MENESES FILHO, Esdras Antonio De. **Dimensionamento de uma rede de fibra óptica fttb pon**. 2018. Trabalho de conclusão de curso — UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, Caraúbas - RN, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/3035>. Acesso em: 4 jun. 2023.
INTELBRAS. **Glossário para provedores de internet**: o que significam os principais termos usados por ISPs. 2021. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/glossario-para-provedores/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

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

LATAM, Furukawa Electric. **GPON e FTTx**: como funcionam e qual é a relação? 13 jul. 2021. Disponível em: <https://www.furukawalatam.com/pt-br/conexao-furukawa-detalhes/gpon-e-fttx-como-funcionam-e-qual-e-a-relacao>. Acesso em: 4 jun. 2023.

LOPES, Sara Cristina Nelas. **Fibra óptica na rede de acesso**: cenários de evolução. 2012. Master's thesis — Universidade de Aveiro, [s. l.], 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10773/8619>. Acesso em: 6 jun. 2023.

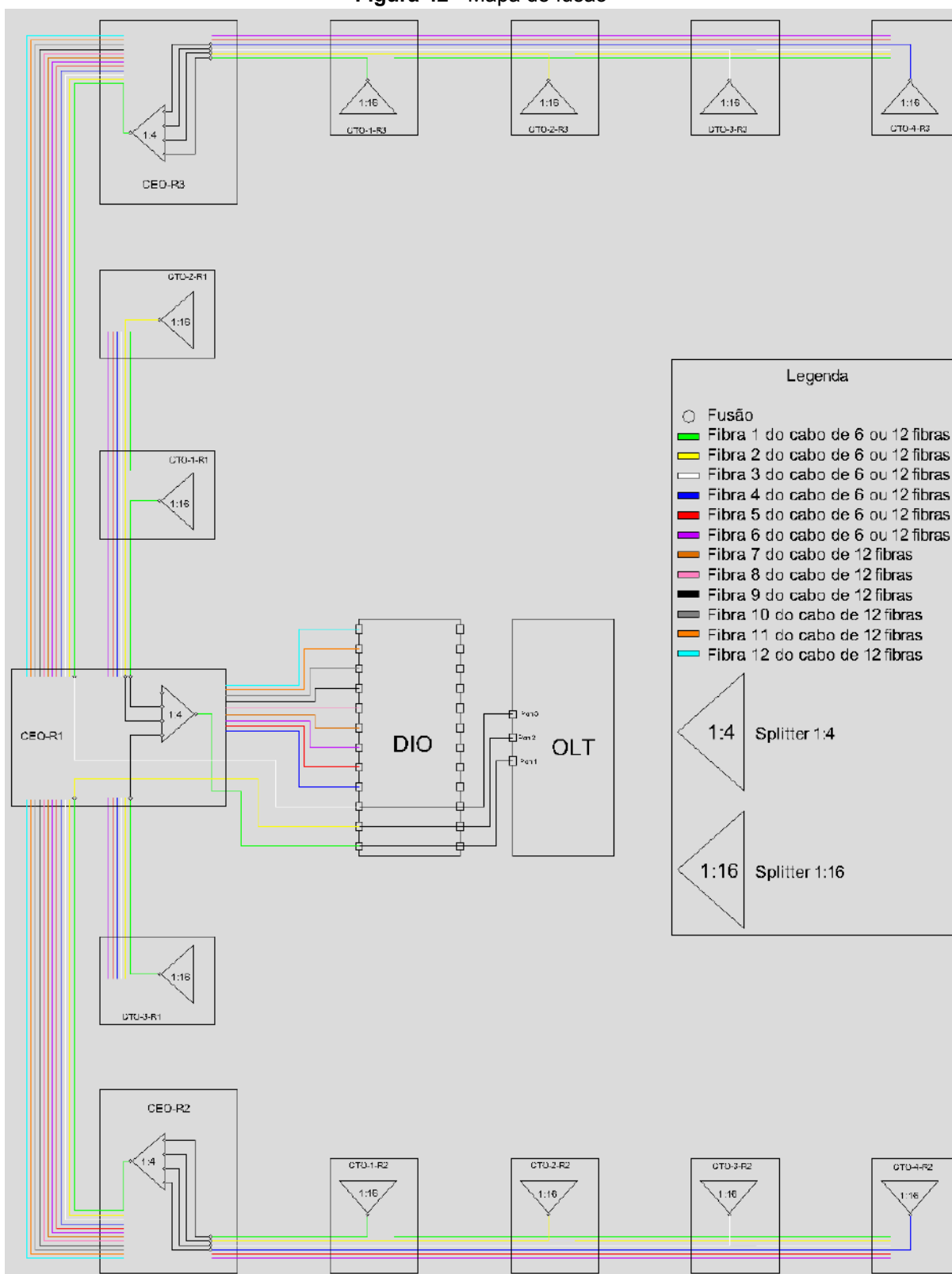
NOGUEIRA, Willian. **Você sabe a diferença entre dB x dBm?** Entenda agora. 1 abr. 2022. Disponível em: <https://www.whcengenharia.com.br/post/voc%C3%AA-sabe-a-diferen%C3%A7a-entre-db-x-dbm-entenda-agora>. Acesso em: 22 nov. 2023.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Redes ópticas de acesso em telecomunicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

APÊNDICE A – PLANO DE FUSÃO

Foram utilizadas três portas da OLT. Através do DIO, a fibra 1 (verde) faz fusão com a entrada do *splitter* 1:4 dentro da CEO-R1, as fibras 2 (amarela) e 3 (branca) fazem fusão com outras duas fibras verdes dentro da CEO-R1 e estas, por sua vez, deverão fazer fusão com a entrada do *splitter* 1:4 dentro das CEO-R2 e CEO-R3, respectivamente. Cada uma das saídas dos *splitters* 1:4 fazem fusão com as entradas dos *splitters* 1:16 dentro das CTO's, sendo que somente no *splitter* dentro da CEO-R1 que não serão usadas todas as saídas. O roteiro de como as fusões e as emendas do projeto devem ser realizadas pode ser observado no mapa de fusão, na Figura 42.

Figura 42 - Mapa de fusão



Fonte: Autores (2023).