



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Dayan Ferreira Dantas

**Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para definição de premissas
fundamentais para um projeto FTTH em uma rede óptica passiva**

MOSSORÓ

2024

Dayan Ferreira Dantas

**Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para definição de premissas
fundamentais para um projeto FTTH em uma rede óptica passiva**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado.

Orientador: Humberto Dionísio de Andrade,
Prof. Dr.

Co-orientador: André Pedro Fernandes Neto,
Prof. Dr.

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D192d Dantas, Dayan Ferreira.
Desenvolvimento de uma ferramenta
computacional para definição de premissas
fundamentais para um projeto FTTH em uma rede
óptica passiva / Dayan Ferreira Dantas. - 2024.
83 f. : il.

Orientador: Humberto Dionísio de Andrade.
Coorientador: André Pedro Fernandes Neto.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Engenharia Elétrica, 2024.

1. Redes ópticas. 2. Projetos ópticos. 3.
Tecnologia FTTH. 4. Redes ópticas passivas. I.
Andrade, Humberto Dionísio de, orient. II.
Fernandes Neto, André Pedro, co-orient. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Dayan Ferreira Dantas

Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para definição de premissas fundamentais para um projeto FTTH em uma rede óptica passiva

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado.

Defendida em: 24 /01/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Humberto Dionísio de Andrade Presidente da Banca e orientador (UFERSA) ANDRE PEDRO FERNANDES NETO:67306721453	gov.br Documento assinado digitalmente HUMBERTO DIONÍSIO DE ANDRADE Data: 15/04/2024 18:33:41-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Prof. Dr. André Pedro Fernandes Neto Coorientador e membro interno (UFERSA)	gov.br Documento assinado digitalmente IDALMIR DE SOUZA QUEIROZ JUNIOR Data: 28/01/2024 13:54:37-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior Membro interno (UFERSA)	gov.br Documento assinado digitalmente GUTEMBERGUE SOARES DA SILVA Data: 01/05/2024 17:16:26-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Prof. Dr. Gutemberg Soares da Silva Membro externo (UFRN) DAYAN FERREIRA DANTAS:03464160432	gov.br Documento assinado digitalmente GUTEMBERGUE SOARES DA SILVA Data: 01/05/2024 17:16:26-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Dayan Ferreira Dantas (discente)	

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois ele nos guia para todas as coisas boas que ocorrem em nossas vidas.

A minha esposa Tatiana que tem sido minha companheira e apoiadora em todas as ações e projetos de vida.

Aos meus filhos Dayan Junior e Maria Vitória, que são sem dúvidas as maiores fontes de motivação para que eu busque evoluir de forma contínua.

Aos meus pais que plantaram a semente do conhecimento desde cedo e sempre nos incentivaram a buscar aprendizado.

A minha irmã e meu irmão que sempre acreditaram e apoiaram para que eu buscasse o conhecimento e me acolheram em questões familiares necessárias para a obtenção de qualquer êxito.

A toda equipe do trabalho que entenderam que para que eu fizesse o mestrado eles precisariam entregar mais e se doar mais para suprir as minhas ausências.

Ao meu orientador Humberto Dionísio de Andrade pela orientação, confiança, paciência e disponibilidade durante o desenvolvimento desta pesquisa, que além de professor foi um grande amigo e aliado nesse projeto, sem ele realmente eu não conseguiria iniciar e terminar esse projeto.

Ao coorientador André Pedro Fernandes Neto por toda receptividade e disponibilidade em todos os momentos.

Ao professor Isaac Barros, por toda a paciência e entendimento de atender um aluno que necessitava de uma transição da linguagem do mercado de trabalho para uma linguagem acadêmica.

A professora Samanta Mesquita de Holanda pela sagacidade e sabedoria em me guiar na execução dos textos com um viés acadêmico, sem dúvida sua contribuição foi singular.

Ao professor Idalmir de Souza Queiroz Junior, que com toda sua calma e dedicação atua de forma única e natural no aprendizado inspirando e movimentando gerações de estudantes.

A todos os companheiros de turma, equipe da UFERSA e demais envolvidos que participaram desse projeto.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento”.

Albert Einstein

RESUMO

Atualmente, a sociedade vivencia um momento no mercado de telecomunicações, onde a fibra óptica vem se consolidando como o principal meio físico para transmissões em alta velocidade, tanto para clientes residenciais, como para clientes empresariais, além da utilização da fibra como principal meio de interligação de estações de rádio base e corporações estratégicas. Dentro desse cenário, ao realizar uma análise do mercado, desde grandes operadoras até os pequenos provedores de internet, foram identificadas oportunidades de melhoria relacionado a padronização nas ferramentas de projetos de redes ópticas, que possam gerar premissas fundamentais para auxiliar o corpo diretivo das empresas em análise de projetos técnicos de redes ópticas. Assim, esta dissertação tem o objetivo de analisar os parâmetros de entrada mais comuns de um projeto de rede óptica. Onde será feito um estudo de caso que teve como objeto de análise, uma rede FTTH, na tecnologia GPON. Essa tecnologia predomina as aplicações em redes ópticas para atendimentos a clientes residenciais, pequenas e médias empresas. A sequência do trabalho aborda uma análise de um referencial teórico que possa esclarecer e direcionar o objetivo principal do trabalho, seguido de uma análise do ambiente de estudo selecionado. A partir disso, todo o detalhamento dos materiais e métodos utilizados foram realizados, como um dos fatores críticos do sucesso do projeto a análise e escolha do software para a elaboração da ferramenta. Após todas as fases transcorridas, será obtida uma ferramenta computacional que irá sugerir premissas fundamentais de projeto que guiem as empresas e instituições a obter subsídios básicos da rede de fibra óptica FTTH.

Palavras-chave: Redes ópticas; projetos ópticos; tecnologia FTTH; redes ópticas passivas.

ABSTRACT

Currently, society is experiencing a moment in the telecommunications market, where fiber optics has been consolidating itself as the main physical means for high-speed progress, both for residential and business customers, in addition to the use of fiber as the main means of interconnection. of base radio stations and strategic corporations. Within this scenario, when carrying out a market analysis, from large operators to small internet providers, opportunities for improvement related to standardization in optical network design tools were identified, which can generate fundamental goals to assist the management body of companies in analysis of technical projects for optical networks. Thus, this dissertation aims to analyze the most common input parameters of an optical network project. Where a case study will be carried out that had as its object of analysis, an FTTH network, using GPON technology. This technology predominates in applications in optical networks to serve residential customers, small and medium-sized companies. The work sequence addresses an analysis of a theoretical framework that can clarify and direct the main objective of the work, followed by an analysis of the selected study environment. From this, all the details of the materials and methods used will be carried out, as one of the critical factors for the success of the project, the analysis and choice of software for creating the tool. After all phases have been completed, a computational tool will be obtained that will suggest fundamental design assumptions that will guide companies and institutions to obtain basic subsidies for the FTTH fiber optic network.

Keywords: optical networks; optical projects; FTTH technology; passive optical networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de Acessos por Tecnologia	18
Figura 2 - Linha do Tempo Marcos Regulatórios	25
Figura 3 - Tecnologias de Acesso por meio físico	25
Figura 4 - Backhaul em Bandalarga.....	26
Figura 5 - Backbone e Backhaul com lastmile.....	26
Figura 6 - Distribuição Completa de Redes Ópticas	28
Figura 7 - Exemplo de Conexão DSL	29
Figura 8 – Rede PLC (Power Line Communication).....	30
Figura 9 - Bandas ISM	31
Figura 10 – Interligação redes móveis - Backhaul.....	32
Figura 11 - Evolução de Dados Telefonia Móvel	32
Figura 12 - 4G x 5G	33
Figura 13 - Conexão via satélite entre estações	34
Figura 14 - Fibra óptica.....	35
Figura 15 - Diagrama de blocos de um sistema de transmissão óptico.....	36
Figura 16 - Reflexão Interna na Fibra Óptica	36
Figura 17 - Os três principais tipos de fibras. Índice degrau, índice gradual e monomodo.....	37
Figura 18 - Abertura Numérica	39
Figura 19 - Abertura numérica para uma fibra óptica	41
Figura 20 - Atenuação de fibra óptica x comprimento de onda	42
Figura 21 - Curva de atenuação fibra zero water peak.....	44
Figura 22 - Categorias de Cabos Ópticos.....	45
Figura 23 - Estrutura de cabos ópticos loose e tight	46
Figura 24 - OLT	48
Figura 25 - Distribuidor interno óptico	48
Figura 26 - Splitter óptico 1x8	49
Figura 27 - Caixa de emenda óptica.....	49
Figura 28 - Caixa de Terminação óptica	50
Figura 29 - Exemplos de ferragens redes ópticas.....	51
Figura 30 - Topologia em Barra.....	52
Figura 31 - Topologia em estrela	52
Figura 32 - Topologia Anel.....	53
Figura 33 - Topologia árvore	53

Figura 34 - Arquiteturas FTTx	55
Figura 35 - Sequência de projeto de rede óptica FTTH	55
Figura 36 - Fluxograma com as etapas da pesquisa	56
Figura 37 - Exemplo Diagrama unifilar rede óptica FTTH	58
Figura 38 - Portas SFP da OLT	60
Figura 39 - Caixa de Emenda Óptica	60
Figura 40 - Entradas e Saídas da ferramenta	61
Figura 41 - Fachada provedor Multcon Bairro Nordeste	62
Figura 42 - Distribuição de rede Multcon Telecomunicações Bairro Nordeste.....	62
Figura 43 - Sala de Equipamentos Provedor Multcon Telecomunicações.....	63
Figura 44 - Exemplo de tela de medição do OTDR	65
Figura 45 - OTDR utilizado nos testes.....	65
Figura 46 - Power meter realizando medição em uma CTO	66
Figura 47 - Layout da Ferramenta.....	70
Figura 48 - Testes de Validação da Ferramenta.....	71
Figura 49 - Teste fibra 01 provedor Multcon Telecomunicações	72
Figura 50 - Teste fibra 02 provedor Multcon Telecomunicações	72
Figura 51 - Teste fibra 03 provedor Multcon Telecomunicações	73
Figura 52 - Entrada de dados na ferramenta	73
Figura 53 - Saída 01 da Ferramenta	74
Figura 54 - Saída 02 da Ferramenta	75
Figura 55 - Saída 03 da Ferramenta	75
Figura 56 - Comparativo Real x Ferramenta.....	76
Figura 57 - Simulação 02 Portas e 06 Fibras com Porta B+	77
Figura 58 - Simulação 04 Portas e 12 Fibras com Porta C+	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atenuação típicas fibras zero Water Park	44
Tabela 2 – Potência Portas SFP	57
Tabela 3 – Perdas Estimadas por Elemento Projetado	57
Tabela 4 – Cálculo da Perda Projetada.....	59
Tabela 5 – Inventário de Rede Multcon Telecomunicações	63
Tabela 6 – Comparativo entre Linguagens de Programação.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GPON	<i>Gigabit Passive Optical Network</i>
FTTH	<i>Fiber to the Home</i>
LGT	Lei Geral das Telecomunicações
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
SCM	Serviço de Comunicação Multimídia
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
PLC	Power Line Communication
LWC	Low Water Peak
ZWC	Zero Water Peak
OLT	Optical Line Terminal
DIO	Distribuidor Interno Óptico
POS	Passive Optical Splitter
SVA	Serviço de Valor Adicionado
BPS	Bits por Segundo
BPL	Broadband Over Powerline
ISP	Internet Service Provider
ISM	Instrumentation, Scientific and Medical
U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure
IP	Internet Protocol
DTH	Direct to Home
LD	Laser Diode
LED	Light Emitting Diode
TE	Transversal Elétrico
TM	Transversal Magnético
SFP	Small Form Pluggable
CTO	Caixa de Terminação Óptica
CEO	Caixa de Emenda Óptica
FTTX	Fiber to the X
PON	Passive Optical Network
FTTN	Fiber to the Node
FTTC	Fiber to the Curb
FTTB	Fiber to the Building
FTTD	Fiber to the Desktop
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector
GUI	Graphical User Interface

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Objetivo geral	17
1.2	Objetivos específicos	17
1.3	Justificativas	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Histórico regulatório das Telecomunicações no Brasil.....	19
2.1.1	Marcos legais e regulatórios.....	20
2.2	Resolução ANATEL nº 614	20
2.3	Lei nº 12.695 – Marco Civil da Internet	23
2.4	Evolução das Tecnologias de Acesso de Redes de Telecomunicações	25
2.4.1	Tecnologias de Redes de Acesso	28
2.5	Fibra Óptica.....	34
2.5.1	Sistema de Transmissão Óptico	35
2.5.2	Princípio básico de funcionamento da fibra óptica	35
2.5.3	Tipos de fibra óptica.....	37
2.5.4	Distorção e atenuação em fibras ópticas	38
2.5.5	Abertura numérica.....	38
2.5.6	Número de modos de propagação em uma fibra óptica	40
2.5.7	Janelas de transmissão.....	42
2.5.8	Tecnologias de fibra óptica monomodo	42
2.5.9	Fibras ópticas Low Water Peak (LWP).....	43
2.5.10	Fibras ópticas Zero Water Peak (ZWP)	43
2.6	Projetos de redes ópticas	44
2.6.1	Cabos ópticos	44
2.7	Equipamentos de redes ópticas	47
2.7.1	OLT (<i>Optical Line Terminal</i>).....	47
2.7.2	Portas SFP	48
2.7.3	DIO (Distribuidor Interno Óptico)	48
2.7.4	POS (<i>Passive Optical Splitter</i>).....	49
2.7.5	Caixa de emenda óptica.....	49
2.7.6	Caixa de terminação óptica	50
2.7.7	Ferragens de cabos ópticos.....	50

2.8	Topologias de redes ópticas	51
2.8.1	Topologia barra	52
2.8.2	Topologia anel.....	52
2.8.3	Topologia árvore	53
2.9	Tecnologia FTTx e suas variações	54
2.9.1	Arquiteturas FTTx.....	54
2.10	Dimensionamento da rede FTTH	55
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	56
3.1	Parâmetros de entrada	56
3.2	Potência de saída da OLT na porta SFP.....	56
3.3	Quantidade de portas SFP da OLT	60
3.4	Quantidade de fibras ópticas primárias.....	60
3.5	Parâmetros de entrada versus saída.....	61
3.6	Definição do ambiente de estudo	61
3.6.1	Sala de Equipamentos Ambiente de Estudo.....	62
3.6.2	Inventário de Rede do Ambiente de Estudo.....	63
3.7	Instrumentos de medição.....	64
3.7.1	OTDR – Reflectômetro Óptico no domínio do tempo.....	64
3.7.2	<i>Power Meter</i>	65
3.8	Levantamento dos <i>softwares</i> para construção da ferramenta.....	66
3.8.1	Python	66
3.8.2	C#	67
3.8.3	C++.....	67
3.8.4	Javascript.....	68
3.8.5	PHP	69
3.9	Comparativos entre linguagens de programação.....	69
3.10	Escolha do <i>Software</i>.....	70
3.11	Realização de Testes da ferramenta	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
4.1	Resultados Preliminares	72
4.2	Comparação Ambiente Real x Saídas da Ferramenta.....	76
4.3	Resultados Adicionais	77
5	CONCLUSÕES	79
5.1	Recomendação para trabalhos futuros	79

REFERÊNCIAS 80

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos cinco anos, o mercado de telecomunicações está crescendo de maneira exponencial, em relação ao atendimento de banda larga para o cliente final, através de fibra óptica. Talvez, no Brasil, esse crescimento não esteja acontecendo de forma tão acelerada. Assim, demonstrar-se-á que 68% dos acessos de banda larga fixa para o cliente residencial no Brasil já são atendidos por meio da fibra óptica. Ainda navegando nesses dados, foram constatados que o atendimento através de fibra óptica aumentou mais de 1200% nos últimos 5 anos (ANATEL, 2022).

Com a realização desta pesquisa foram identificados que, mesmo com essa larga aplicação, ainda existe uma carência em relação a padronização de regras de projeto de redes ópticas FTTH, fazendo com que cada operadora tenha seus próprios critérios de dimensionamento de projetos (Araujo, 2019). Outro ponto crítico é que essas regras, não raramente ficam sob a ótica dos especialistas, na maioria das vezes, os projetistas com formação técnica ficam responsável pela realização do serviço. Com isso, percebe-se que as redes ópticas não acompanham as estratégias de crescimento das empresas, além de gerar uma relação custo-benefício que tendem a onerar o negócio e os demais estágios da cadeia produtiva (Barbosa, 2020).

Diante deste cenário, entende-se que é necessário envolver a alta administração das companhias, sejam grandes operadoras ou provedores de internet, na tomada de decisão na ampliação das redes, para tal faz-se necessário a concepção de uma ferramenta computacional que estabeleça premissas e que permita, de forma ágil, a dimensão dos projetos de redes ópticos e estabeleça indicadores estratégicos e prévios de projetos de redes ópticas.

Assim, neste trabalho foi realizado um panorama sobre o ambiente regulatório no Brasil, trazendo conceitos básicos teóricos das redes de telecomunicações, desde outros meios de acesso até a chegada da fibra óptica. Neste caso, foram mais bem abordados, as questões físicas, suas variações e sua inserção e pertinência no projeto de rede óptica. Assim, foi escolhido um ambiente de estudo para validar as hipóteses de análise, bem como a realização do detalhamento dos parâmetros de entrada escolhidos para a ferramenta computacional, bem como uma análise detalhada de qual linguagem de programação foi escolhida e como essa escolha foi feita.

A expectativa do trabalho, é que o objetivo geral e específicos sejam devidamente atendidos de forma plena. Assim, será obtido, como produto, uma ferramenta que irá impactar na rotina de trabalho do mercado de telecomunicações de forma assertiva e ágil, agregando valor ao negócio e na prestação de serviços de telecomunicações.

1.1 Objetivo geral

Esta dissertação teve o objetivo de desenvolver uma ferramenta computacional que tenha como parâmetro de entrada os dados dos equipamentos de iluminação de rede óptica. Essa ferramenta deverá fornecer premissas para definições dos custos e viabilidade do projeto, assim como atuar de forma propositiva na definição de premissas fundamentais para os recursos de projetos e equipamentos da rede óptica.

1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- i) Fazer um estudo e levantamento sobre os assuntos relacionados com a área da pesquisa proposta no trabalho;
- ii) Definir critérios de seleção de equipamentos e componentes de projetos de redes ópticas para atendimento de internet banda larga;
- iii) Fornecer premissas fundamentais para o orçamento de projetos de redes ópticas;
- iv) Possibilitar a criação indicadores de performance para projetos de redes ópticas;
- v) Comparar equipamentos de iluminação de rede ópticas;
- vi) Auditar a eficiência e assertividade de projetos existentes.

1.3 Justificativas

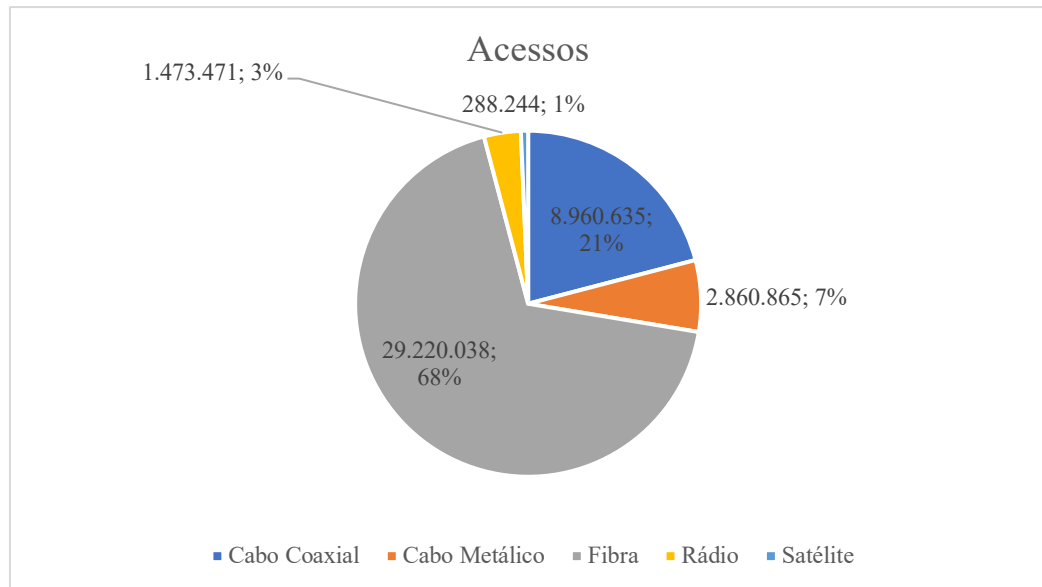
A justificativa para esta dissertação é dada pelos seguintes fatores:

- i) Tecnologia amplamente aplicada no mercado: 68% dos clientes atendidos em banda larga pela tecnologia fibra óptica, conforme dados da ANATEL (figura 1);
- ii) Fornecer premissas básicas para suportar a tomada decisão de projetos ópticos;
- iii) Baixo nível de padronização nos projetos de redes ópticas.

A Figura 1 apresenta a distribuição de acessos por tecnologia, destacando a presença significativa da fibra óptica em comparação com outras tecnologias, como cabo coaxial, cabo metálico e rádio via satélite. Essa distribuição reforça a importância de focar em estratégias que

possibilitem obter premissas fundamentais em projetos de redes ópticas, face sua ampla utilização.

Figura 1 - Distribuição de acessos por tecnologia



Fonte: Adaptado de Anatel (2022)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será apresentada a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do trabalho proposto. Primeiramente, foram vistas questões regulatórias sobre as redes de telecomunicações. Em seguida, foram tratados assuntos sobre as evoluções das redes de telecomunicações para o acesso em banda larga. Por fim, detalhados conceitos sobre a fibra óptica e suas aplicações em projetos de rede óptica.

2.1 Histórico regulatório das Telecomunicações no Brasil

2.1.1 Marcos legais e regulatórios

Pode-se afirmar que ocorreu uma mudança de paradigma no setor de telecomunicações a partir da edição da Lei Geral de Telecomunicações. A reestruturação das Telecomunicações brasileira foi a tornada factível por uma profunda reforma do aparato legal que regulava o setor. O traço fundamental da reestruturação foi a transformação do monopólio público, provedor de serviços de telecomunicações em um novo sistema de concessão pública e operadores privados, fundado na competição e orientado para o crescimento e universalização dos serviços (Ramos, 2006).

O primeiro passo foi a aprovação pelo Congresso Nacional da Emenda nº 8 à Constituição Federal em 8 de agosto de 1995. A emenda teve por principal objetivo permitir ao Governo Federal outorgar concessões para exploração de serviços de telecomunicações ao setor privado. Em seguida foi aprovada a Lei nº 9.295/96, de 19 de julho de 1996, que permitiu a licitação de concessões de Serviço Móvel Celular da banda “B” (Ramos, 2006).

Em julho de 1997 o Congresso Nacional aprovou a Lei Geral das Telecomunicações (Lei nº 9.472), a base regulatória para o setor, que também continha as diretrizes para privatização do Sistema Telebrás (Brasil, 1997). A privatização do Sistema Telebrás ocorreu no dia 29 de julho de 1998 através de 12 leilões consecutivos na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro – BVRJ, onde foi vendida parte do sistema brasileiro de telecomunicações, constituídas por três holdings de telefonia fixa, uma de longa distância e oito de telefonia celular, configurando-se a maior operação de privatização de um bloco de controle já realizada no mundo (Ramos, 2006).

Além desses marcos de extrema relevância, neste trabalho será detalhado a resolução da ANATEL nº 614 de 28 de maio de 2013, o Marco Civil da Internet: Lei nº 12.965 de 23 de

abril de 2014, as Normas Gerais para Implantação e Compartilhamento de Infraestrutura de Telecomunicações: Lei nº 13.166 de 20 de abril de 2015.

2.1.1.1 Lei Geral das Telecomunicações

A Lei Geral de Telecomunicações (LGT) define como serviço de telecomunicações o conjunto de atividades que possibilita a oferta como transmissão, emissão ou recepção, por diferentes processos. De acordo com a Lei 9.472, a União é responsável por organizar e explorar os serviços de telecomunicações através de reguladores instituídos pelos poderes Executivo e Legislativo (Kilmar, 2018).

Entre os princípios fundamentais, de acordo com Kilmar (2018), a LGT estabelece que compete à União o disciplinamento e a fiscalização da execução, comercialização e uso dos serviços, a implantação e funcionamento de redes de telecomunicações e a utilização dos recursos de órbita e espectro de radiofrequências.

Com a legislação, foi normatizado o dever do Poder Público de garantir, a toda a população, o acesso às telecomunicações, tarifas e condições, o estímulo à expansão e medidas que promovam a competição e diversidade dos serviços, fortalecendo o papel regulador do Estado, além de criar oportunidades de investimento e estimular o desenvolvimento. Outro ponto importante estabelecido pela Lei foi a criação de condições para ampliação da conectividade e da inclusão digital, priorizando a cobertura de estabelecimentos públicos de ensino (Kilmar, 2018).

A LGT também garantiu direitos e deveres do usuário. Entre eles está o acesso aos serviços com padrões de qualidade e regularidade, liberdade de escolha de prestadoras, informação adequada sobre as condições, tarifas e preços, respeito à privacidade na utilização dos dados pessoais e resposta às reclamações.

2.2 Resolução ANATEL nº 614

Esta resolução tem por objetivo disciplinar as condições de prestação e fruição do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM).

A prestação do SCM é regida pela Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997 (Lei Geral de Telecomunicações - LGT), pela Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990 (Código de Defesa do Consumidor), pelo Decreto nº 6.523, de 31 de julho de 2008, pelo Regulamento dos Serviços de Telecomunicações, aprovado pela Resolução nº 73, de 25 de novembro de 1998, por outros

regulamentos, normas e planos aplicáveis ao serviço, pelos termos de autorização celebrados entre as Prestadoras e a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e, especialmente, por este Regulamento (ANATEL, 2013).

O SCM é um serviço fixo de telecomunicações de interesse coletivo, prestado em âmbito nacional e internacional, no regime privado, que possibilita a oferta de capacidade de transmissão, emissão e recepção de informações multimídia, permitindo inclusive o provimento de conexão à internet, utilizando quaisquer meios, a Assinantes dentro de uma Área de Prestação de Serviço (Inexo, 2013).

Conforme o Regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia, estabelecido pela Resolução nº 614, da ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações, aplicam-se as seguintes definições:

- I - Acesso em Serviço: acesso que está ativado e prestando serviço ao usuário;
- II - Área de Prestação de Serviço: área geográfica de âmbito nacional onde o SCM pode ser explorado conforme condições preestabelecidas pela Anatel;
- III - Assinante: pessoa natural ou jurídica que possui vínculo contratual com a Prestadora para fruição do SCM;
- IV - Centro de Atendimento: órgão da Prestadora de SCM responsável por recebimento de reclamações, solicitações de informações e de serviços ou de atendimento ao Assinante;
- V - Conexão à Internet: habilitação de um terminal para envio e recebimento de pacotes de dados pela Internet, mediante a atribuição ou autenticação de um endereço IP;
- VI - Grupo: Prestadora de Serviços de Telecomunicações individual ou conjunto de Prestadoras de Serviços de Telecomunicações que possuam relação de controle, como controladoras, controladas ou coligadas, aplicando-se os conceitos do Regulamento para Apuração de Controle e de Transferência de Controle em Empresas Prestadoras de Serviços de Telecomunicações, aprovado pela Resolução nº 101, de 4 de fevereiro de 1999;
- VII - Informação Multimídia: sinais de áudio, vídeo, dados, voz e outros sons, imagens, textos e outras informações de qualquer natureza.
- VIII - Início da operação comercial do serviço: oferecimento regular do serviço com pelo menos um contrato de prestação assinado;
- IX - Interconexão: ligação entre redes de telecomunicações funcionalmente compatíveis, de modo que os usuários de serviços de uma das redes possam se comunicar com usuários de serviço de outra ou acessar serviços nelas disponíveis;
- X - Licença para Funcionamento de Estação: ato administrativo que autoriza o início do funcionamento de estação individual, em nome da concessionária, permissionária e autorizada de serviços de telecomunicações e de uso de radiofrequência.
- XI - Oferta Conjunta de Serviços de Telecomunicações: prestação de diferentes serviços de telecomunicações pela mesma empresa ou por meio de parceria entre prestadoras, cuja fruição se dá simultaneamente e em condições comerciais diversas daquelas existentes para a oferta individual de cada serviço;
- XII - Plano de Serviço: documento que descreve as condições de prestação do serviço quanto às suas características, ao seu acesso, manutenção do direito de uso, utilização e serviços eventuais e suplementares a ele inerentes, preços associados, seus valores e as regras e critérios de sua aplicação;
- XIII - Prestadora: pessoa jurídica que mediante autorização presta o SCM;
- XIV - Prestadora de Pequeno Porte: Prestadora de SCM com até cinquenta mil Acessos em Serviço;
- XV - Projeto Técnico: conjunto de documentos que descreve as principais características do serviço e da rede propostas, servindo de referência para emissão da autorização;

XVI - Recursos de Numeração: conjunto de caracteres numéricos ou alfanuméricos utilizados para permitir o estabelecimento de conexões entre diferentes terminações de rede, possibilitando a fruição de serviços de telecomunicações;

XVII - Registro de Conexão: conjunto de informações referentes à data e hora de início e término de uma conexão à Internet, sua duração e o endereço IP utilizado pelo terminal para o envio e recebimento de pacotes de dados, entre outras que permitam identificar o terminal de acesso utilizado;

XVIII - Serviço de Valor Adicionado (SVA): atividade que acrescenta, a um serviço de telecomunicações que lhe dá suporte e com o qual não se confunde, novas utilidades relacionadas ao acesso, armazenamento, apresentação, movimentação ou recuperação de informações;

XIX - Setor de Atendimento: estabelecimento que pode ser mantido pela Prestadora, no qual o Assinante tem acesso ao atendimento presencial prestado por pessoa devidamente qualificada para receber, orientar, esclarecer e solucionar qualquer solicitação efetuada;

XX - Terminação de Rede: ponto de acesso individualizado de uma dada rede de telecomunicações; e, XXI - Velocidade: capacidade de transmissão da informação multimídia expressa em bits por segundo (bps), medida conforme critérios estabelecidos em regulamentação específica.

XXI - Velocidade: capacidade de transmissão da informação multimídia expressa em bits por segundo (bps), medida conforme critérios estabelecidos em regulamentação específica (ANATEL, 2013).

O principal objetivo desta resolução é regulamentar os direitos e deveres das prestadoras e dos assinantes que se pode listar abaixo:

Art. 36. A Prestadora é responsável, perante o Assinante e a Anatel, pela exploração e execução do serviço.

§ 1º A Prestadora é integralmente responsável pela exploração e execução do serviço perante o Assinante, inclusive quanto ao correto funcionamento da rede de suporte ao serviço, mesmo que esta seja de propriedade de terceiros, sendo-lhe garantido, neste caso, direito de regresso.

§ 2º A responsabilidade da Prestadora perante a Agência compreende igualmente o correto funcionamento da rede de suporte à prestação do serviço, inclusive nos casos em que esta seja de propriedade de terceiros.

Art. 37. O SCM pode ser prestado a pessoas naturais e jurídicas.

Art. 38. O serviço deve ser prestado em condições não discriminatórias a todos os Assinantes localizados na área de prestação.

Art. 39. Deve constar do contrato de prestação do serviço com o Assinante:

I - a descrição do seu objeto;

II - os direitos e obrigações da Prestadora, constantes do Capítulo III deste Título;

III - os direitos e deveres dos Assinantes, constantes do Capítulo V deste Título;

IV - os encargos moratórios aplicáveis ao Assinante;

V - a descrição do sistema de atendimento ao Assinante e o modo de proceder em caso de solicitações ou reclamações;

VII - as hipóteses de rescisão do Contrato de Prestação do SCM e de suspensão dos serviços a pedido ou por inadimplência do Assinante;

VIII - a descrição do procedimento de contestação de débitos;

IX - os critérios para reajuste de preços, cuja periodicidade não pode ser inferior a doze meses, a menos que a lei venha regular a matéria de modo diverso;

X - os prazos para instalação e reparo;

XI - o endereço da Anatel, bem como o endereço eletrônico de sua biblioteca, onde as pessoas poderão encontrar cópia integral deste Regulamento; e,

XII - o telefone da Central de Atendimento da Anatel.

Parágrafo único. Os prazos mencionados no inciso X podem ser alterados mediante solicitação ou conveniência do Assinante.

São parâmetros de qualidade para o SCM, sem prejuízo de outros que venham a ser definidos pela Anatel:

I - Fornecimento de sinais respeitando as características estabelecidas na regulamentação;

- II - Disponibilidade do serviço nos índices contratados;
- III - emissão de sinais eletromagnéticos nos níveis estabelecidos em regulamentação;
- IV - Divulgação de informações aos seus Assinantes, de forma inequívoca, ampla e com antecedência razoável, quanto a alterações de preços e condições de fruição do serviço;
- V - Rapidez no atendimento às solicitações e reclamações dos Assinantes;
- VI - Número de reclamações contra a Prestadora; e,
- VII - fornecimento das informações necessárias à obtenção dos indicadores de qualidade do serviço, de planta, bem como os econômico-financeiros, de forma a possibilitar a avaliação da qualidade na prestação do serviço (ANATEL, 2013).

Pode-se verificar que essa resolução se limita a questão de atendimento, sendo mais direcionada a uma visão comercial do negócio, não estabelecendo parâmetros técnicos limitantes para as companhias que exploram o serviço deixando ainda mais propenso o mercado a despadronização.

2.3 Lei nº 12.695 – Marco Civil da Internet

A Lei 12.965/14 é o responsável por regularizar o uso da internet no Brasil. Com isso, seu objetivo é estabelecer direitos, deveres e garantias no meio digital. Essa lei é encarregada por regulamentar os direitos, garantias e deveres no uso da internet. Assim, regendo o uso da internet no Brasil por meio de princípios que ajudam a tornar o ambiente digital mais seguro e democrático (Brasil, 2014).

Com isso, pode-se entender que um dos objetivos da sua criação era retirar a sensação de desregulamentação que o ambiente tecnológico trazia consigo. Afinal, antes do Marco Civil da Internet não se tinha legislação específica para tratar sobre o tema, até então dependendo apenas do art. 5 da Constituição Federal:

Art. 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes:
 XII – é inviolável o sigilo da correspondência e das comunicações telegráficas, de dados e das comunicações telefônicas, salvo, no último caso, por ordem judicial, nas hipóteses e na forma que a lei estabelecer para fins de investigação criminal ou instrução processual penal (Brasil, 1988).

Como funciona o marco civil da internet? Como já abordado no tópico anterior, a Lei 12.965/14 é responsável por regular o uso da internet no Brasil, mais especificamente tratando temas como:

- liberdade de expressão nos meios virtuais;
- proteção de dados pessoais dos usuários;
- direito ao acesso à internet;
- deveres dos provedores de internet;

- entre outros.

Vale ressaltar que, também na internet, se faz de suma importância a aplicação dos princípios da razoabilidade e proporcionalidade. Também dispondo acerca do princípio constitucional da privacidade, o art. 5, inciso XII (Brasil, 1988).

No sentido relativo ao direito da privacidade, o Marco Civil da Internet surge da necessidade de proteger os dados pessoais indevidamente usados por terceiros, uma vez que o simples fato de um dado ser exibido publicamente no meio digital ou encaminhado para terceiros não garante àquele a sua utilização ou exibição de forma não autorizada, conforme explicitado nos itens abaixo:

Art. 3º A disciplina do uso da internet no Brasil tem os seguintes princípios:
I – garantia da liberdade de expressão, comunicação e manifestação de pensamento, nos termos da Constituição Federal; II – proteção da privacidade (Brasil, 2014).

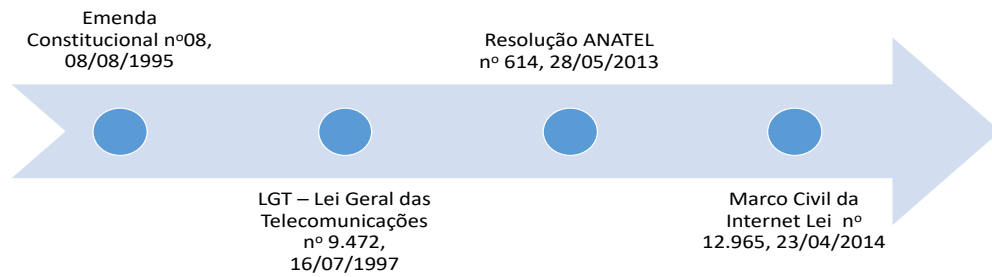
É seguindo esse raciocínio que o art. 7 da mesma lei traz a exigência de consentimento livre e expresse por parte do usuário, bem como dos direitos de inviolabilidade da intimidade e da vida privada.

Art. 7º O acesso à internet é essencial ao exercício da cidadania, e ao usuário são assegurados os seguintes direitos:
I – Inviolabilidade da intimidade e da vida privada, sua proteção e indenização pelo dano material ou moral decorrente de sua violação;
VII – não fornecimento a terceiros de seus dados pessoais, inclusive registros de conexão, e de acesso a aplicações de internet, salvo mediante consentimento livre, expresse e informado ou nas hipóteses previstas em lei (Brasil, 2014).

Outro ponto esclarecido pelo Marco Civil da Internet, nos termos do seu art. 19, diz respeito à relação existente entre o direito à liberdade de expressão e responsabilização subjetiva dos provedores de aplicação de internet:

Art. 19. Com o intuito de assegurar a liberdade de expressão e impedir a censura, o provedor de aplicações de internet somente poderá ser responsabilizado civilmente por danos decorrentes de conteúdo gerado por terceiros se, após ordem judicial específica, não tomar as providências para, no âmbito e nos limites técnicos do seu serviço e dentro do prazo assinalado, tornar indisponível o conteúdo apontado como infringente, ressalvadas as disposições legais em contrário (Brasil, 2014).

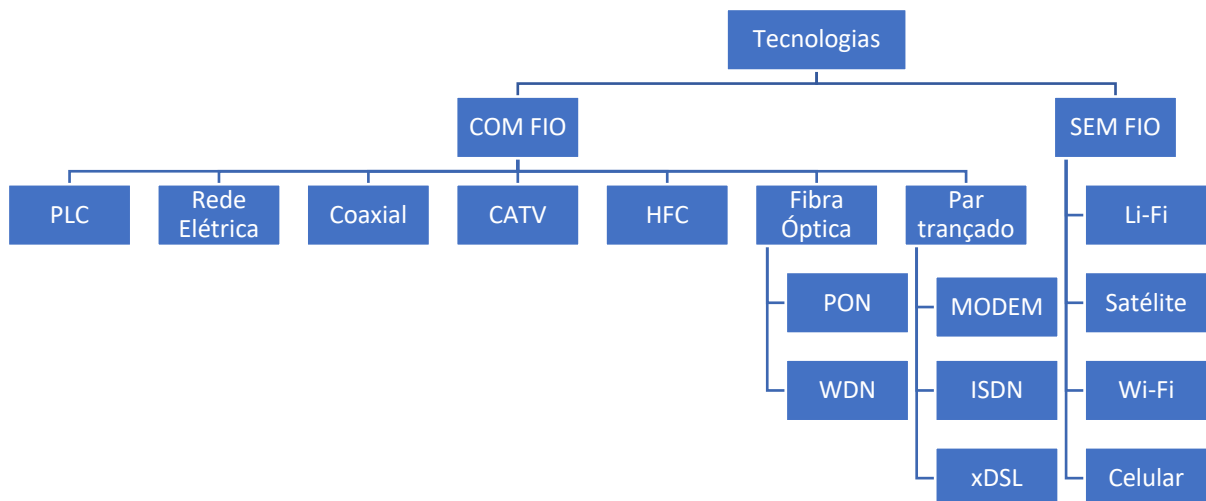
Assim, pode-se concluir que o Marco Civil da Internet surge da necessidade das relações envolvendo direitos já protegidos pelo ordenamento jurídico, que mereciam atenção e efetividade também na internet, pois, esse é um ambiente em que as lesões aos direitos tendem a se multiplicar ainda mais gravemente que no contexto fora da internet (CGI, 2014). Com isso, partindo do pressuposto que a internet não é terra sem lei e sem sanções, tornando esse um lugar mais seguro e democrático. A seguir a Figura 2, ilustra os principais marcos regulatórios nas telecomunicações.

Figura 2 – Linha do tempo marcos regulatórios

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

2.4 Evolução das Tecnologias de Acesso de Redes de Telecomunicações

Nesta seção foram detalhadas a evolução das redes de telecomunicações com destaque para os meios físicos associados as tecnologias empregadas e os benefícios e impactos trazidos para o seu cotidiano (Pinheiro, 2016). A Figura 3 ilustra o mapeamento das tecnologias associadas aos meios físicos de forma a simplificar o entendimento.

Figura 3 - Tecnologias de Acesso por meio físico

Fonte: Adaptado de Pinheiro (2016)

Existe um número significativo de tecnologias para o acesso em banda larga que pode ser dividido em dois grandes grupos: o primeiro grupo refere-se às tecnologias baseadas em infraestrutura física ou fixa (cabos metálicos, cabos coaxiais, cabos de fibra óptica e rede

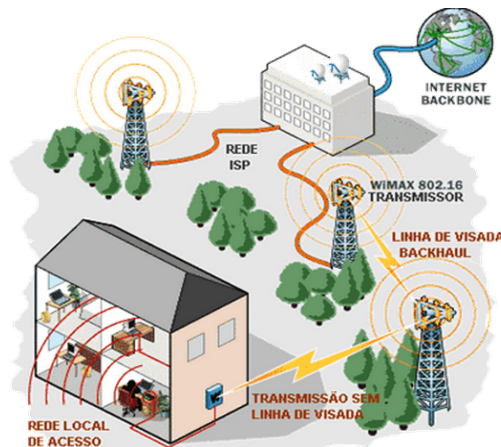
elétrica), e o segundo grupo diz respeito àquelas baseadas em infraestrutura sem fios (rádios, micro-ondas, Wi-Fi, Satélite, 3G, 4G, 5G etc.) (Santos, 2020; Pinheiro, 2016), conforme ilustra a Figura 3.

As tecnologias de acesso em banda larga, ainda que distintas em vários aspectos, e cada uma com sua peculiaridade, apresentam vantagens e desvantagens, embora apontem para uma mesma finalidade: possibilitar ao usuário o acesso em alta velocidade, com maior número de opções de conectividade e melhor qualidade dos serviços (Santos, 2020).

As tecnologias fixas, principalmente aquelas que utilizam as fibras ópticas, são mais estáveis, propiciam maior capacidade de tráfego de dados e, por isso, são usadas como partes integrantes da infraestrutura para os *backbones* e *backhails* de telecomunicações (Santos, 2020).

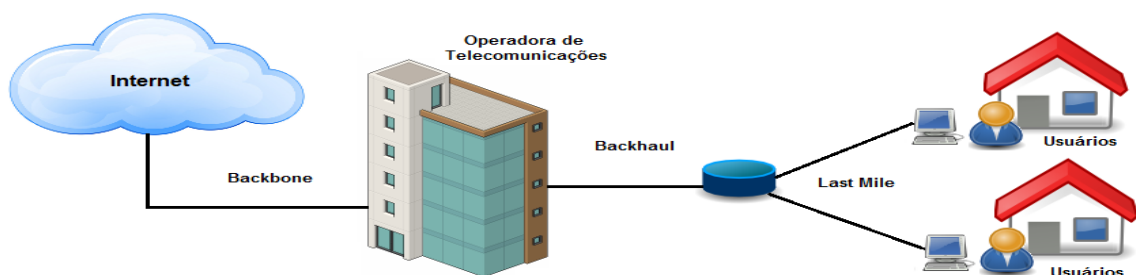
Já as tecnologias sem fio são mais suscetíveis a oscilações e interferências externas, notadamente interferências eletromagnéticas (EMI), sendo geralmente empregadas na conexão da última milha (*last mile*) nas redes de acesso ou em situações em que não há, momentaneamente, viabilidade técnica para a passagem de algum tipo de cabeamento (Santos, 2020), conforme ilustrado na Figura 4 e 5.

Figura 4 - Backhaul em Bandalarga



Fonte: Santos (2020)

Figura 5 - Backbone e backhaul com lastmile



Fonte: Pinheiro (2016)

Fica evidente que a existência de redes capazes de lidar com grande volume de tráfego de informações é uma condição necessária para garantir que os *backbones* e *backhauls* dos provedores de serviços de telecomunicações possam dar vazão ao grande volume de dados que circula na atualidade, destacadamente a Internet (Pinheiro, 2016).

No Brasil, no início dos anos 1990, as redes de telecomunicações utilizavam em quase sua totalidade cabos metálicos nas redes de *backbone* e de acesso aos clientes. Uma das aplicações pioneiras das fibras ópticas em sistemas de telecomunicações corresponde aos sistemas de telefonia fixa comutada. Esses sistemas exigem estruturas de transmissão de grande capacidade, envolvendo distâncias que vão, tipicamente, desde algumas dezenas até centenas de quilômetros e, eventualmente, em países com dimensões continentais, até milhares de quilômetros. Atualmente, cabos ópticos são utilizados nas mais diferentes topologias, desde os *backbones* estaduais, nacionais e internacionais, até a conexão do cliente final nas redes de acesso (Pinheiro, 2016).

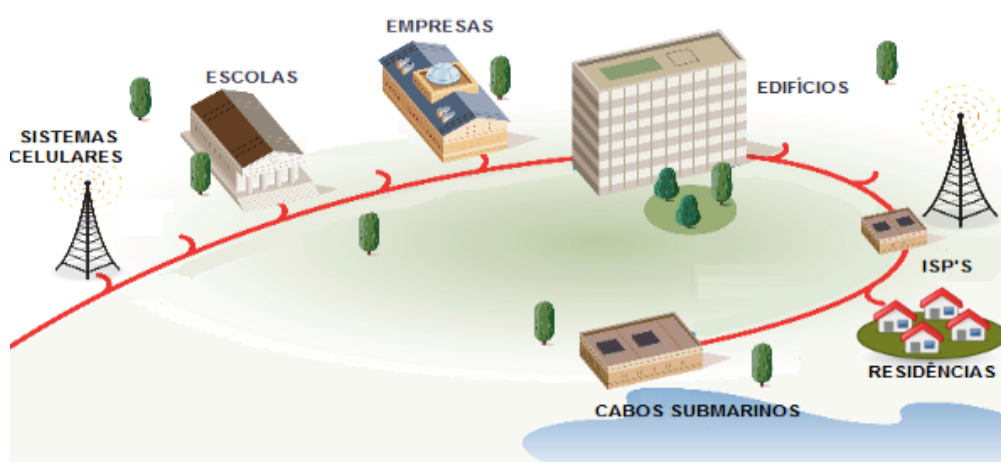
O uso de redes com fibras ópticas cresceu consideravelmente graças ao barateamento de equipamentos eletrônicos, cabos e demais itens utilizados na construção das redes e também devido ao próprio aumento da demanda por meios de comunicação que possibilitassem alta velocidade e grande capacidade para a transmissão de sinais em diversos formatos (voz, dados, imagens etc.). Entre os principais motivadores do crescimento das redes ópticas estão as expansões dos sistemas de telefonia fixa e telefonia celular, TV a cabo, sistemas de aplicações em tempo real (videoconferência, telemedicina etc.), o crescimento das redes de computadores e redes industriais e, principalmente, o crescimento no uso da Internet (Pinheiro, 2016).

Assim, as fibras ópticas se apresentaram como a alternativa bastante viável para as redes em banda larga, substituindo os cabos metálicos e aumentando a capacidade e a confiabilidade dos sistemas de comunicação existentes. As redes de comunicação com fibras ópticas passam então a oferecer maiores velocidades, melhor largura de banda, mais confiabilidade e segurança no tráfego das informações.

Como a tecnologia aplicada na construção das redes ópticas tem apresentado grande evolução ao longo dos anos, obtêm-se como resultado, infraestruturas com custos reduzidos e com maior nível de eficiência. Entretanto, fatores como os custos de uso do solo e de posteamento, assim como os custos dos projetos e das respectivas licenças em áreas urbanas e rurais ainda são um fator limitante na sua utilização. Instalar a fibra óptica até o local de acesso do cliente traz inúmeras vantagens, como largura de banda praticamente ilimitada e provimento de serviços que necessitam de altas bandas de transmissão (Pinheiro, 2016).

Os projetos com fibras ópticas se aplicam nas redes externas (alimentação, distribuição e acesso) e de longa distância, principalmente para utilização pelas concessionárias de serviços de telecomunicações, operadoras de TV a cabo (CATV) e provedores de serviços de Internet (ISPs). A fibra óptica também pode ser utilizada em ambientes sujeitos a ruídos eletromagnéticos (galpões industriais, subestações de energia elétrica, entre outros) ou com restrições para o meio metálico (depósitos de combustíveis e gases inflamáveis, oleodutos, gasodutos etc.), bem como atender distâncias superiores aos padrões exigidos para o cabeamento metálico, como se pode perceber na Figura 6 (Pinheiro, 2016).

Figura 6 - Distribuição Completa de Redes Ópticas



Fonte: Pinheiro (2016).

2.4.1 Tecnologias de Redes de Acesso

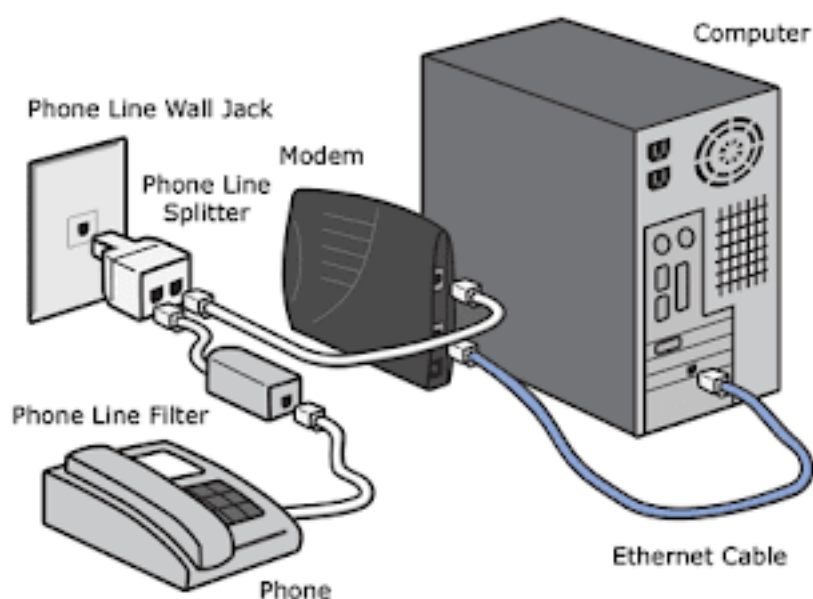
Para uma compreensão aprimorada dos meios de transmissão atualmente utilizados nos *backbones*, *backhauls* e na última milha, foram brevemente apresentadas neste subtópico, algumas das tecnologias em uso. Essa exposição incluirá suas características fundamentais, benefícios e restrições, proporcionando um panorama mais claro sobre o tema.

2.4.1.1 DSL

Foi uma das primeiras tecnologias de banda larga a ganhar escala e uma das mais utilizadas no mundo. A principal razão de sua grande utilização, e uma das suas principais vantagens, é a utilização da infraestrutura da rede legada de telefonia fixa.

Apesar de ter um custo de implantação relativamente baixo quando comparada com outras tecnologias mais recentes que exigiriam o projeto de uma rede totalmente nova, essa tecnologia requer um número razoável de centrais de equipamentos para compensar as deficiências e distâncias envolvidas na rede fixa. Na Figura 7 abaixo pode-se ver uma ilustração com o exemplo de uma conexão DSL.

Figura 7 - Exemplo de conexão DSL



Fonte: Adilson (2015)

2.4.1.2 Modem a cabo (Cable Modem)

A tecnologia de modem a cabo também está incluída entre as primeiras adaptadas para os serviços de banda larga. Utiliza as redes de transmissão de TV por assinatura através de canais físicos (cabos metálicos e coaxiais) entre o provedor do serviço e a residência do usuário.

A estrutura da rede de cabos coaxiais serve como meio por onde o sinal trafega até ser decodificado por um modem na ponta do processo. Por esse motivo, a tecnologia é mais conhecida como Cable Modem.

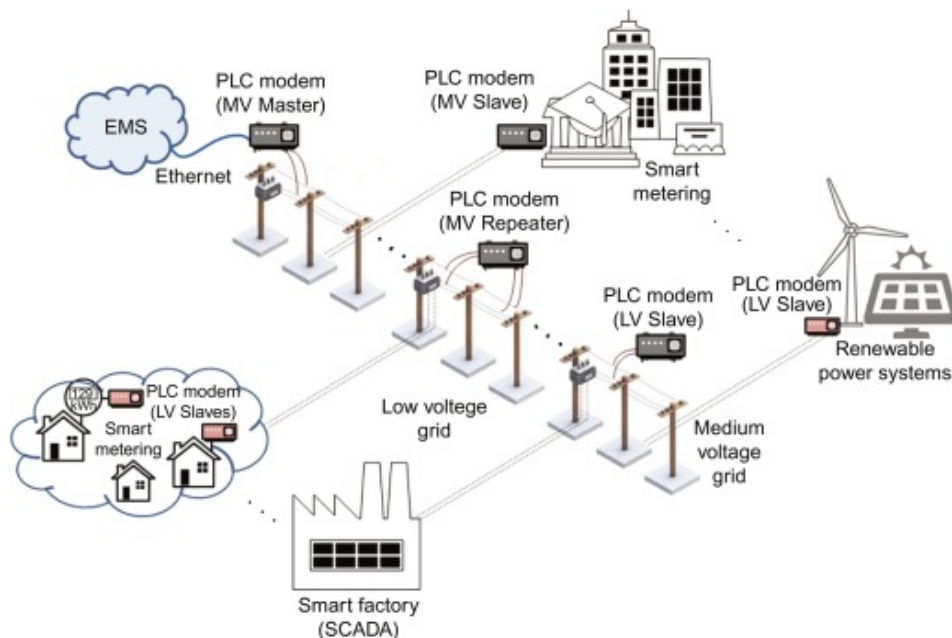
Assim como o DSL, também tem a vantagem de utilizar infraestrutura de telefonia fixa ou do provedor de TV a cabo. A principal desvantagem deste meio para a conexão em banda larga está na sua limitação quanto ao controle e fluxo de dados.

2.4.1.3 PLC

A Tecnologia PLC (*Power Line Communication*), também conhecida como BPL (*Broadband over Powerline*) ou banda larga sobre a rede elétrica, é uma tecnologia baseada no conceito de aproveitamento da rede elétrica para transmitir sinais de dados e voz, permitindo ainda aplicações como telefonia IP (VoIP), TV por assinatura, transmissão de vídeo e áudio sob demanda, telemetria e outras, atingindo velocidades de dezenas de megabits por segundo.

A ideia básica, conforme pode-se perceber na Figura 8, é utilizar o sistema de distribuição de energia em baixa e média tensão, existente em praticamente todas as cidades, como meio de transporte dos sinais de telecomunicações.

Figura 8 – Rede PLC (Power Line Communication)



Fonte: Saad (2020)

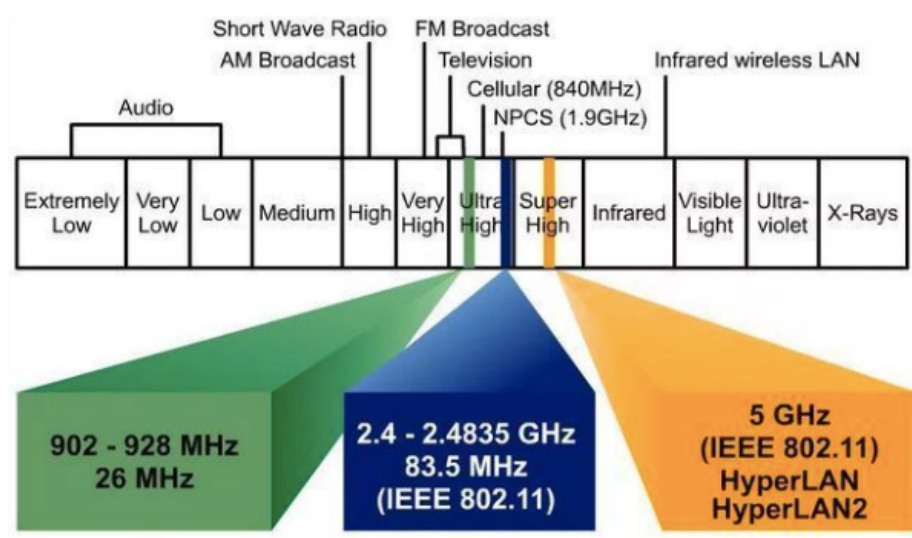
2.4.1.4 Wireless

A maioria das conexões de banda larga sem fio (Wireless) se dá por sinais de radiofrequência. Os sistemas funcionam mediante a instalação de antenas repetidoras em pontos estratégicos, que devem propiciar a cobertura até o aparelho do usuário final. Pode-se agrupar as formas de conexão em dois segmentos: a conexão em frequências licenciadas e a conexão com frequências não licenciadas.

A primeira forma opera em faixas específicas de frequências previamente estipuladas pelo órgão regulador de telecomunicações, a ANATEL (Agência Nacional de

Telecomunicações), no caso do Brasil. A segunda diz respeito a transmissão de sinais que utilizam faixas livres do espectro de radiofrequência, que não requerem licenciamento prévio, conhecidas como bandas ISM (Instrumentation, Scientific and Medical), ilustrada na Figura 9 abaixo, que compreendem três segmentos do espectro: 902 MHz a 928 MHz, 2.400 MHz a 2.483,5 MHz a 5.725 MHz, a banda U-NII (*Unlicensed National Information Infrastructure*), que contém as faixas de frequências entre 5.150 MHz a 5.825 MHz, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Bandas ISM



Fonte: Goconqr (2020)

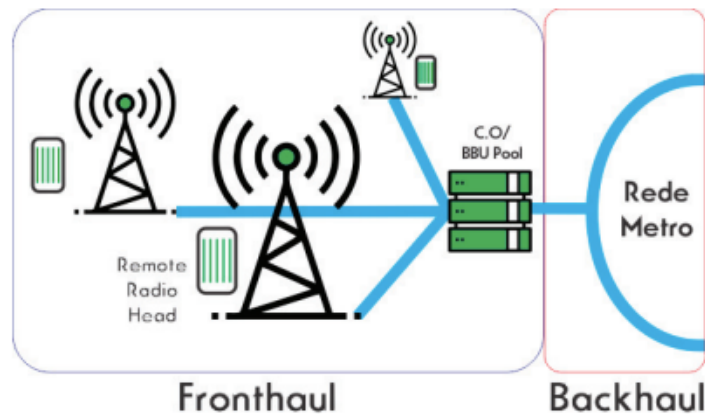
2.4.1.5 Tecnologias Móveis: 2G, 3G, 4G e 5G

Estas tecnologias de rede também utilizam o espectro de radiofrequência, especificamente as faixas destinadas à telefonia celular. As denominações 2G, 3G, 4G e 5G, remetem a geração, respectivamente: segunda, terceira, quarta e quinta geração. A característica que define e norteia a principal diferença entre as gerações está na faixa de frequência utilizada por cada uma (Coelho, 2009).

A principal característica do serviço móvel celular é oferecer uma cobertura onipresente e contínua, logicamente dependendo da infraestrutura instalada por cada operadora. Cada estação pode oferecer suporte a um número limitado de usuários na sua área de cobertura até alguns quilômetros de distância (Coelho, 2009).

As torres de celulares são ligadas umas às outras por uma rede de *backhaul* que também fornece ao usuário interligação com a rede fixa de telefonia, serviço de dados e internet (Coelho, 2009), como pode-se perceber na Figura 10 abaixo.

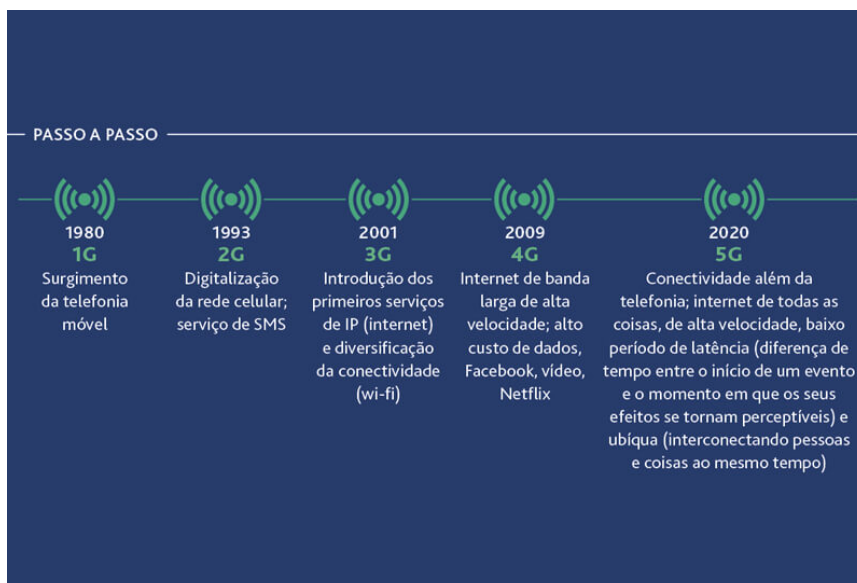
Figura 10 – Interligação redes móveis – Backhaul



Fonte: Souza e Daniel (2017)

A quarta geração trouxe um expressivo aumento da velocidade de transmissão de dados, sendo projetada para integração com sistemas baseados em protocolos nativos da internet, já a quinta geração promete gerar uma revolução no nosso cotidiano viabiliza muitos conceitos da IoT (*Internet of Things*, traduzindo: Internet das coisas) e *smart cities* (cidades inteligentes) (Santos, 2020). Pode-se verificar as principais diferenças entre as gerações de tecnologias móveis para comunicação de dados na Figura 11.

Figura 11 - Evolução de dados telefonia móvel



Fonte: Souza e Daniel (2017)

Pode-se observar que, a partir da Terceira geração que realmente a telefonia móvel entrou no mundo da internet, pois teve-se os primeiros serviços de IP (*Internet Protocol*), mas foi no 4G que a experiência do usuário realmente aumentou de forma mais concreta, o 5G que foi lançado mundialmente em 2020, mas apenas em 2022 no Brasil, promete realmente revolucionar a internet por dispositivos móveis, para visualizarmos este ponto (Santos, 2020), demonstrou-se alguns dados técnicos na Figura 12.

Figura 12 - 4G x 5G



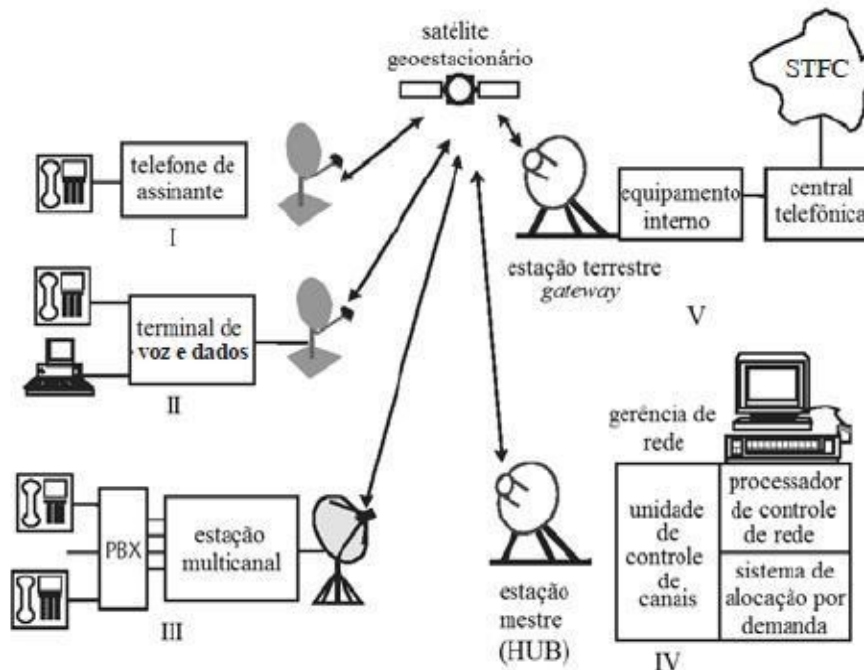
Fonte: Citisystems (2022)

2.4.1.6 Satélite

Trata-se de um serviço em banda larga sem fio que também se dá por espectro eletromagnético, porém utilizando a triangulação entre satélites geoestacionários (no espaço) e receptores (na Terra).

A conexão via satélite é uma opção para usuários localizados em áreas remotas, rurais ou montanhosas, onde não há infraestrutura física de acesso a rede de telecomunicações. Também permite o serviço remoto a navios, trens, veículos e outros meios de transporte. A desvantagem mais latente nessa tecnologia é que não consegue alcançar capacidades de transmissão de dados tão grandes quando comparadas com outras tecnologias (Coelho, 2009).

Apesar da redução nos custos operacionais, o serviço via satélite ainda é caro e demanda a alocação de transponders nos satélites. Nessa categoria, pode-se incluir o serviço DTH (*Direct to Home*), tecnologia que utiliza satélites para prestar serviços de TV por assinatura e que também possibilita o acesso à internet (Coelho, 2009), como pode-se perceber na Figura 13.

Figura 13 - Conexão via satélite entre estações

Fonte: Elbert (2004)

Outra desvantagem inconveniente em relação a esta tecnologia é que na sua aplicação é apresentada uma latência (atraso de tempo entre o momento da transmissão e o momento que os efeitos da transmissão se iniciam) bastante alta em relação a outras tecnologias, além de ocorrerem problemas de interferências atmosféricas e climática na transmissão em regiões tropicais.

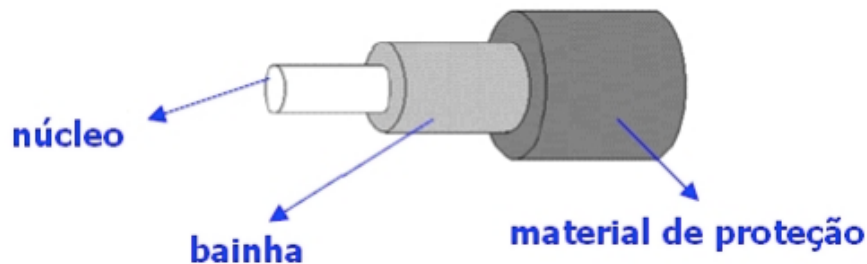
A alta latência das redes via satélite se refere ao tempo transcorrido desde a transmissão, a partir de uma estação terrena, até o satélite e deste para outra estação terrena. A distância entre o satélite, que está a cerca de 35.000 Km no espaço, em órbita geoestacionária, e as estações terrenas adiciona ida e volta, entre 1 e 2 segundos e faz com que aplicações sensíveis a latência, tais como vídeo conferências, jogos online, sofram em termos de usabilidade.

2.5 Fibra Óptica

A fibra óptica consiste em um guia de onda cilíndrico, conforme ilustra a Figura 14, formado por núcleo de material dielétrico (em geral vidro de alta pureza), e por uma casca também de material dielétrico (vidro ou plástico) com índice de refração ligeiramente inferior ao núcleo, empregados como meio de transmissão para sinais ópticos. Podem também estar

presentes, para proteger fisicamente a fibra, uma ou várias camadas de material amortecedor de impacto e resistente à tensão mecânica (Morellato, 2019).

Figura 14 - Fibra óptica



Fonte: Elbert (2004)

2.5.1 Sistema de Transmissão Óptico

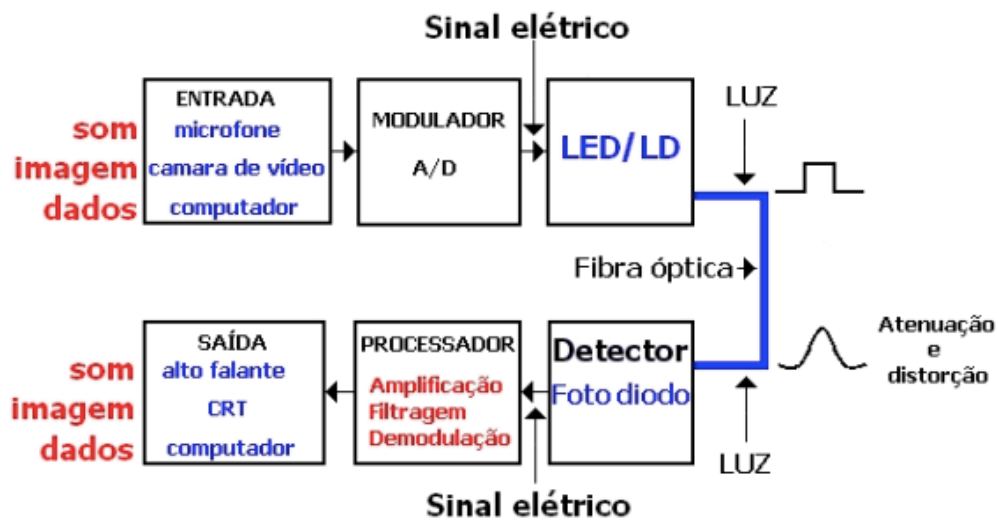
Um sistema de transmissão óptico, conforme Figura 15 é constituído de três componentes: Fonte de luz, meio de transmissão e o receptor. A fonte de energia geralmente é um LD (*Laser Diode*) ou um LED (*Light Emitting Diode*), ou seja, dispositivos que tenham a capacidade de emitir luz. O meio de transmissão é uma fibra óptica, onde o feixe luminoso se propaga. O detector é um fotodiodo, que é capaz de gerar um pulso elétrico quando iluminado por um feixe de luz (Amazonas, 2005).

Em uma aplicação desse sistema, a informação que é transmitida pode ser um sinal de voz proveniente de um telefone, sinais de vídeo ou dados digitais de um computador. Tanto os sinais de telefonia quanto os de vídeo são codificados numa sequência binária de zeros e uns, e são multiplexados para transmissão num único pacote de taxa de dados elevada (Amazonas, 2005).

2.5.2 Princípio básico de funcionamento da fibra óptica

De acordo com Keiser (2014), o princípio básico que faz com esse meio de transmissão transporte a luz é o princípio óptico da reflexão interna total. A lei de Snell, Equação 1, que relaciona os ângulos de incidência, ϕ_i , e refração, ϕ_R , com os índices de refração, dos meios materiais envolvidos, é empregada para explicar o processo de reflexão interna total, conforme ilustra Figura 15.

Figura 15 - Diagrama de blocos de um sistema de transmissão óptico



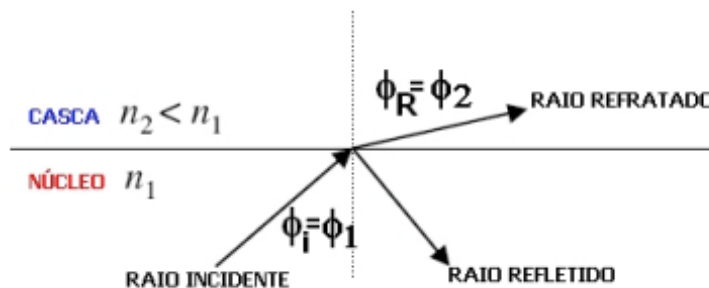
Fonte: Adaptado de Keiser (2014)

A equação 1 possui a fórmula da Lei de Snell.

$$\eta_1 \sin \varphi_1 = \eta_2 \sin \varphi_2, \quad (1)$$

em que: η_1 e η_2 , são, respectivamente, os índices de refração da região 1 e região 2. O índice de refração relaciona a velocidade de propagação da onda eletromagnética com o tipo de meio, isto é, $\eta_1 = \frac{c}{v_1}$, sendo c a velocidade da luz no vácuo e v_1 a velocidade da luz no meio 1. Índice de refração relativo é definido por $\eta_{12} = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{v_2}{v_1}$.

Figura 16 - Reflexão Interna na Fibra Óptica



Fonte: Adaptado de Keiser (2014)

Na Figura 16, se $\eta_1 > \eta_2$, se tem a possibilidade de o raio refratado se aproximar do eixo horizontal, isto é, $\varphi_R = 90^\circ$, ângulo limite para que ocorra a refração. Nesse caso, $\varphi_i = \varphi_c$,

denominado ângulo crítico. Acima desse ângulo, $\varphi_i > \varphi_c$, se tem reflexão interna total (Keiser, 2014).

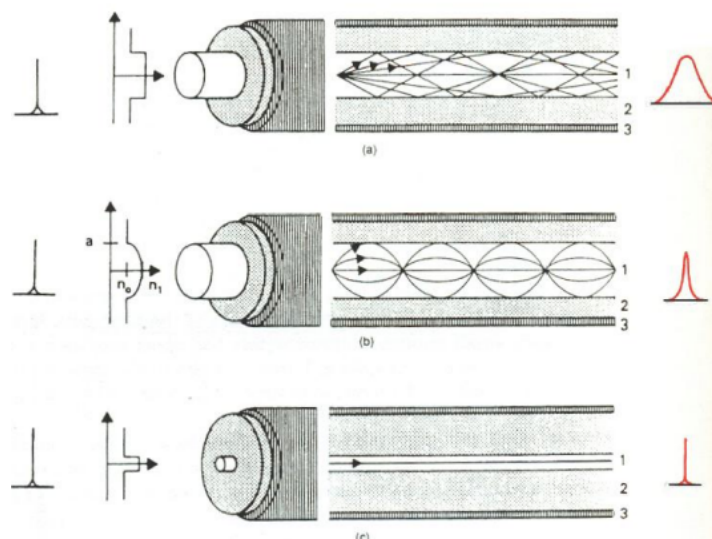
É importante observar que um feixe de luz pode ser composto por vários comprimentos de onda, assim em um meio material, para cada comprimento de onda tem-se um índice de refração diferente (prisma). Portanto, para um feixe de luz se tem velocidades de fase diferentes e uma velocidade de grupo para a frente de onda (Keiser, 2014).

2.5.3 Tipos de fibra óptica

Existem duas classes principais de fibras ópticas: as monomodo e as multimodo. As fibras monomodo de dimensões menores e maior capacidade de transmissão, possuem um único modo de propagação, transmitindo apenas o raio axial. Esse tipo de fibra possui um núcleo e uma blindagem de diâmetros reduzidos, além de a diferença entre seus índices de refração também ser bem pequena, possibilitando que a luz se propague em linha reta ao longo do cabo (Keiser, 2014), conforme ilustra a Figura 17.

As fibras multimodo possuem um núcleo composto de um material de índice de refração constante e superior ao da sua casca. Possuem vários modos de propagação, a luz pode viajar por diversos caminhos diferentes. De acordo com o perfil da variação de índices de refração da casca com relação ao do núcleo, classificam-se em: índice degrau, índice gradual (Keiser, 2014), como mostra na Figura 17. As fibras de índice gradual apresentam desempenho superior à de índice degrau.

Figura 17 - Os três principais tipos de fibras. Índice degrau, índice gradual e monomodo



Fonte: Adaptado de Keiser (2014)

2.5.4 Distorção e atenuação em fibras ópticas

Basicamente, há dois fatores que influenciam na distância máxima que uma fibra pode transmitir informação: a atenuação e a distorção. A atenuação é causada pela absorção do material (estrutura atômica), emendas e conectores (falhas e defeitos de fábrica). A distorção em fibras ópticas é denominada dispersão (Keiser, 2014). São considerados os seguintes tipos de dispersão:

- Dispersão modal: para fibras do tipo multimodo, o diâmetro do núcleo é muito maior que o comprimento de onda de luz. Isso permite a geração de uma grande quantidade de ondas individuais ou modos. Esses modos diferem na sua velocidade de propagação. Um pulso de luz que ao entrar na fibra óptica gere vários modos ao mesmo tempo será dividido em vários pulsos parciais que chegam ao fim da fibra em instantes de tempo diferentes. O pulso ficará mais largo que o de entrada correspondente. Nas fibras monomodo a dispersão modal praticamente não existe possibilitando a propagação apenas de um tipo de onda.
- Dispersão do material: Depende da composição do material da fibra e da largura espectral da fonte luminosa. Em razão do tipo do material a propagação do núcleo não é a mesma para todos os comprimentos de onda, fazendo com que os diversos componentes do espectro da fonte luminosa se propaguem com velocidades diferentes, causando o alargamento do pulso.
- Dispersão de guia de onda: é uma medida da dependência da velocidade de grupo dos modos individuais, das dimensões do núcleo e do comprimento de onda da luz. Uma vez que as dimensões da fibra óptica são constantes a relação entre comprimento de onda e as dimensões do guia de onda só mudam se o comprimento de onda muda. Como o fator de fase do guia de onda, $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$, sofre alterações em razão do comprimento de onda, a velocidade de propagação, $v_p = \frac{\omega}{\beta}$, associada a cada comprimento de onda muda, mudando a forma do sinal na saída. Esse efeito pode ser importante em fibras monomodo para compensar a dispersão material.

2.5.5 Abertura numérica

Existe um ângulo de incidência limite, conforme ilustra a Figura 18, para os raios penetrando no núcleo de uma fibra óptica, acima do qual os raios não satisfazem as condições

de reflexão interna total e, portanto, não são transmitidos. Esse ângulo é conhecido como ângulo de aceitação da fibra óptica e é deduzido aplicando-se a lei de Snell (Keiser, 2014).

De acordo com a Figura 18, η_{ar} é o índice de refração do meio onde a fibra está imersa, η_1 é o índice de refração do núcleo e η_2 da casca da fibra óptica. θ_A é ângulo de incidência na interface ar-núcleo, esse ângulo, em razão da mudança do índice de refração, é alterado no núcleo da fibra para β , que é o ângulo entre a luz incidente e o eixo axial no núcleo da fibra óptica. Altera-se, portanto, o ângulo de incidência, θ_1 entre núcleo e casca, sendo θ_2 o ângulo de refração (Keiser, 2014). Para que se tenha reflexão interna total $\theta_1 > \theta_2$, então abertura numérica (NA) de uma fibra óptica é expressa por $NA = \sin(\theta_A)$:

Para a interface ar-núcleo da fibra óptica, a lei de Snell fica:

$$\begin{aligned}\eta_{ar} \cdot \sin(\theta_A) &= \eta_1 \cdot \sin(\beta) \\ 1 \cdot \sin(\theta_A) &= \eta_1 \cdot \sin(\beta) \\ \sin(\theta_A) &= \eta_1 \cdot \sin(\beta)\end{aligned}\tag{2}$$

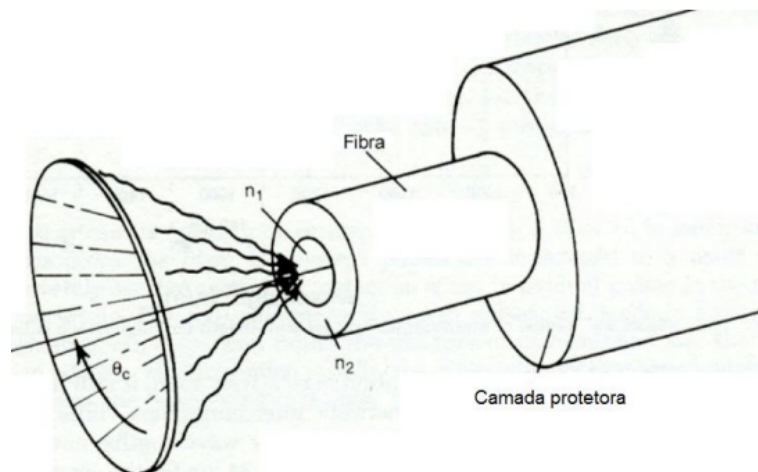
Para a interface núcleo-casca da fibra óptica, a lei de Snell fica considerando a condição de ângulo crítico para θ_1 , isto é, $\theta_2 = 90^\circ$:

$$\begin{aligned}\eta_1 \cdot \sin(\theta_1) &= \eta_2 \cdot \sin(\theta_2) \\ \sin(\theta_1) &= \frac{\eta_2}{\eta_1}\end{aligned}\tag{3}$$

Uma vez que $\cos(\beta) = \sin(\theta_1)$ então:

$$\begin{aligned}\cos(\beta) &= \frac{\eta_2}{\eta_1} \\ \sin(\beta) &= \sqrt{1 - \left(\frac{\eta_2}{\eta_1}\right)^2}\end{aligned}\tag{4}$$

Figura 18 - Abertura Numérica



Fonte: Adaptado de Keiser (2014)

Assim, a abertura numérica, $NA = \sin(\theta_A)$, pode ser expressa por:

$$\begin{aligned}\sin(\theta_A) &= \eta_1 \cdot \sin(\beta) \\ \sin(\theta_A) &= \eta_1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\eta_2}{\eta_1}\right)^2} \\ \sin(\theta_A) &= \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}\end{aligned}\tag{5}$$

A abertura numérica determina um ângulo de aceitação para os raios luminosos que atingem a face de entrada da fibra óptica, caracterizando a capacidade de captação de energia luminosa pela fibra óptica bem como a eficiência de acoplamento entre fibra e fonte luminosa (Keiser, 2014).

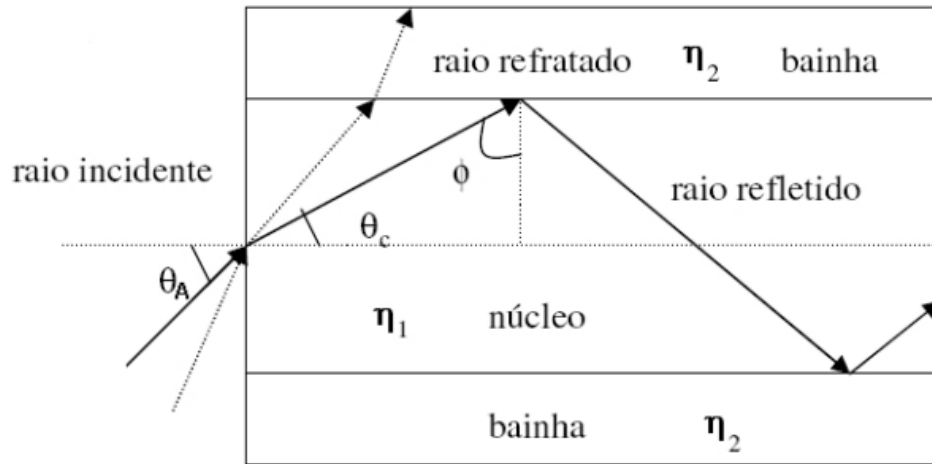
2.5.6 Número de modos de propagação em uma fibra óptica

Em relação a posição entre campo elétrico e magnético com relação a direção de propagação da onda eletromagnética. Os modos de propagação estão associados a teoria de propagação eletromagnética, são determinados pelas equações de Maxwell considerando, nesse caso, as condições de contorno impostas pelos materiais que compõem a fibra óptica. Um exemplo de modo de propagação é o modo TE (transversal elétrico) onde se tem, supondo propagação na direção z , $H_z \neq 0$ e $E_z = 0$. Um outro exemplo é o modo TM (transversal de magnética) em que $H_z = 0$ e $E_z \neq 0$. Em óptica geométrica cada modo corresponde a diferentes trajetórias de propagação na fibra óptica (Keiser, 2014).

Os diferentes modos de propagação podem ser formados pela incidência de luz gerada por uma fonte não direcional com superfície emissora de diâmetro igual ao do núcleo. Essa luz pode ser formada por mais de um comprimento de onda que acabam incidindo sob diferentes ângulos no núcleo da fibra óptica, gerando diferentes trajetórias, modos de propagação (Keiser, 2014).

O pulso guiado resultante é obtido pela soma da interferência construtiva e destrutiva desses modos. Em razão disto, nem todos os ângulos com os quais a luz incide no núcleo da fibra óptica poderão originar uma distribuição possível de campo elétrico e magnético. Quanto maior a abertura numérica mais modos de propagação terão condições de propagação na fibra óptica e melhor o acoplamento com a fonte de luz (Keiser, 2014), como pode-se perceber na Figura 19.

Figura 19 - Abertura numérica para uma fibra óptica



Fonte: Keiser (2014)

Decompor o campo guiado em ondas planas correspondentes a um modo de propagação forma um conjunto coerente de raios com um mesmo ângulo em relação ao eixo da fibra. Campos diferentes se propagando na mesma direção. A diferença de fase entre esses campos determina se a interferência é destrutiva ou construtiva, permitindo uma irradiância (energia de fluxo luminoso incidente em uma superfície) maior ou menor. Quando a diferença de fase é constante não importando a distância, diz que há coerência entre sinais (Keiser, 2014).

O número de modos de propagação para uma fibra de índice: O número de modos de propagação (N) em uma fibra óptica do tipo degrau pode ser obtido por:

$$N = \frac{V^2}{2} \quad (6)$$

E para fibras ópticas do tipo gradual:

$$N = V^2 \frac{g}{g+2} \quad (7)$$

em que g é denominado expoente de relação entre a distância radial “ r ” e o raio do núcleo “ a ”, $\left(\frac{r}{a}\right)^g$. O índice de refração para uma fibra óptica gradual muda de acordo com a relação entre “ r ” e “ a ”. A lei de variação dessa relação é dada pelo expoente g (Keiser, 2014).

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} NA \quad (8)$$

V é a frequência normalizada ou diâmetro normalizado, λ é o comprimento de onda em metros e “ a ” o raio do núcleo também em metros. Para $V < 2,405$ a fibra óptica com índice em degrau é classificada como monomodo. A fibra multimodo exige $V > 2,405$.

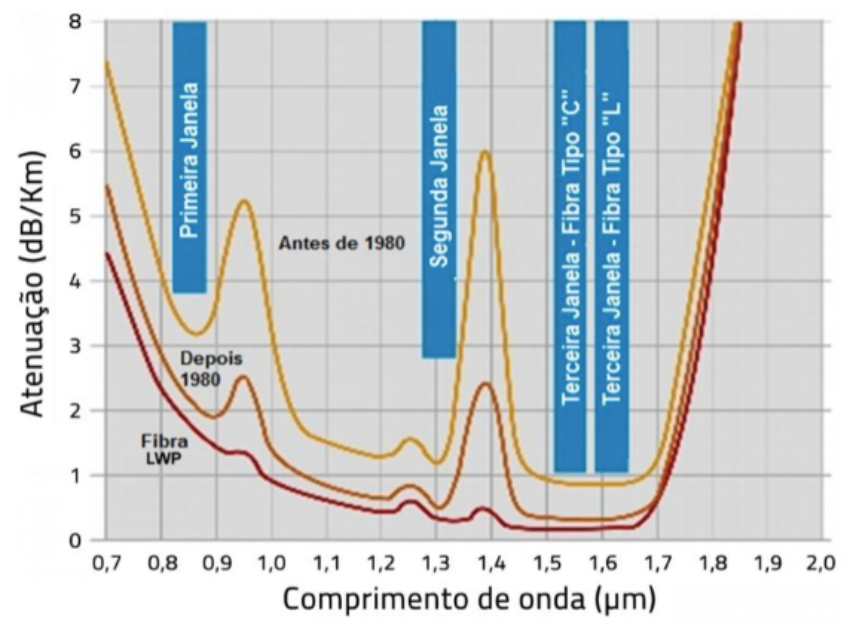
2.5.7 Janelas de transmissão

A sílica, material empregado para confecção de fibras ópticas, sofre dopagens para reduzir atenuações (absorção de energia pelas impurezas do vidro) e permitir a transmissão de informação a longas distâncias. Esta dopagem permite o controle do índice de refração e da qualidade de transmissão (Morellato, 2019). As menores atenuações ocorrem nas janelas de:

1. 820 nanômetros – atenuação de 2,5 dB/Km;
2. 1300 nanômetros – atenuação de 0,5 dB/Km;
3. 1550 nanômetros – atenuação de 0,3 dB/Km.

Conforme o gráfico da Figura 20, pode-se perceber a atenuação ocorrida em uma fibra óptica em função do comprimento de onda com as janelas de operação.

Figura 20 - Atenuação de fibra óptica x comprimento de onda



Fonte: Morellato (2019)

É possível observar três curvas: a amarela indica a atenuação em dB/Km de fibras anteriores aos anos 80; as curvas abaixo da alaranjada expressam a atenuação da fibra óptica com tecnologia posterior aos anos 80; e a curva avermelhada representa a atenuação ocorrida com fibras ópticas construídas com tecnologia de Baixo Pico D'água (*Low Water Peak*) (Morellato, 2019).

2.5.8 Tecnologias de fibra óptica monomodo

Inicialmente, convém mencionar que este modelo atualmente está caindo em desuso. Trata de características físicas, mecânicas e de transmissão com valor de dispersão nulo em 1310nm. Possuem limitações quando usadas, por exemplo, em sistemas WDM com maior concentração de comprimentos de ondas. Isso porque apresentam elevado fator de dispersão cromática. Para compensar essa limitação torna-se necessário o uso de segmentos de fibras especiais para correção da dispersão cromática (DCU) (Araujo, 2019).

Usadas normalmente em redes EPON ou GPON. Na atualidade sendo totalmente substituídas por modelos baixo pico d'água. Constituída basicamente por um núcleo de sílica dopada com germânio. Apresenta um núcleo com diâmetro entre 5 μm e 8 μm e casca de sílica com 125 μm de diâmetro. A atenuação típica desta fibra está na faixa de 0,4 dB/km em 1310nm e 0,35 dB/km em 1550nm (Ferraudo, 2019).

2.5.9 Fibras ópticas Low Water Peak (LWP)

Foram desenvolvidas quando sistemas optoeletrônicos passaram a exigir uso em novos comprimentos de onda, como 1383nm e 1625nm. Por consequência apresentam atenuação em 1383nm, menor que 0,4 dB/km sendo denominadas fibras de “baixo pico d'água” ou *Low Water Peak* (LWP) (Amazonas, 2005).

Tipo de fibra onde os processos industriais de produção permitem a diminuição ou eliminação do efeito “pico d'água”. Como resultado isso otimiza o uso de equipamentos que atuam em toda a faixa, desde 1310nm até 1625nm. São usadas em redes de telecomunicações com taxas de transmissão entre 10Gbps e 40Gbps (Amazonas, 2005).

A saber, o termo “pico d'água” refere-se à proximidade da fórmula química da hidroxila ou também chamada oxidrila (OH). Porque estes íons surgem na construção da fibra óptica onde tem-se a água H₂O presente no processo como uma impureza indesejada (Amazonas, 2005).

2.5.10 Fibras ópticas Zero Water Peak (ZWP)

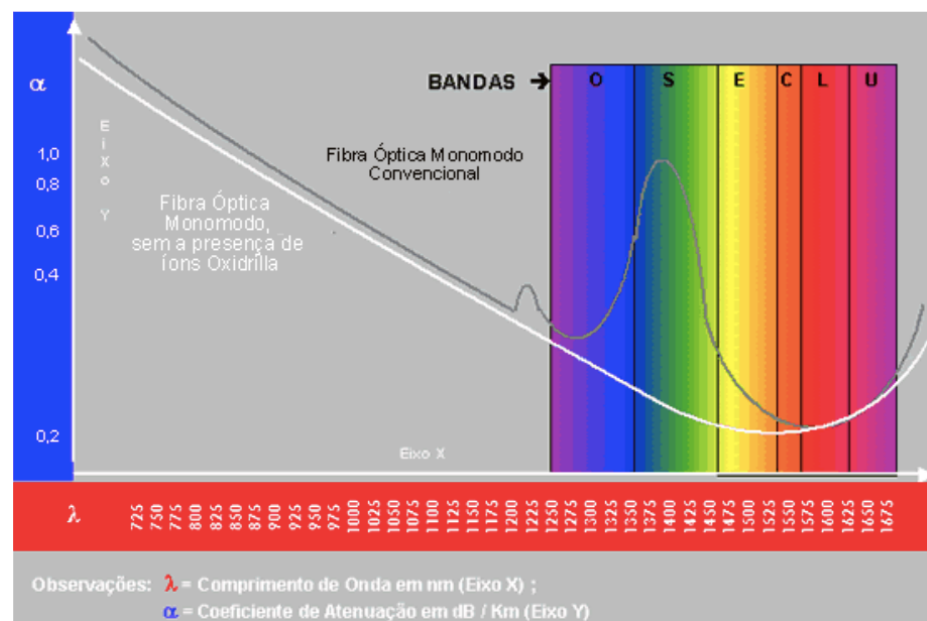
Fibras ópticas monomodo *AllWave – Zero Water Peak* (ZWP) foram desenvolvidas para sistemas ópticos que operam em *full-spectrum* de 1.260nm a 1.625nm. Dessa maneira as atenuações ocorridas nos picos d'água são inexistentes (Morellato, 2019). Veja a seguir uma tabela com atenuações típicas dessa fibra:

Tabela 1 - Atenuação típicas fibras zero *Water Peak*

Comprimento de onda (nm)	Atenuação Típica (dB/Km)
1.310	0,32
1.383	0,28
1.490	0,21
1.550	0,19
1.625	0,20

Fonte: Morellato (2019)

A curva de atenuação referente à fibra ZWP é mostrada na Figura 21 a seguir:

Figura 21 - Curva de atenuação fibra zero *water peak*

Fonte: Pereira (2008)

2.6 Projetos de redes ópticas

Nesta seção, será abordado sobre os itens principais dos projetos de redes ópticas.

2.6.1 Cabos ópticos

A reunião e várias fibras ópticas individuais, revestidas de materiais que proporcionam resistência mecânica e proteção contra intempéries, denomina-se cabo óptico. Trata-se de

estruturas com encapsulamento que têm como função básica proteger e prover facilidades de manuseio às fibras ópticas. O encapsulamento protege a fibra óptica contra esforços mecânicos e condições ambientais durante a instalação e operação da rede óptica de comunicação (Silva; Lima, 2020).

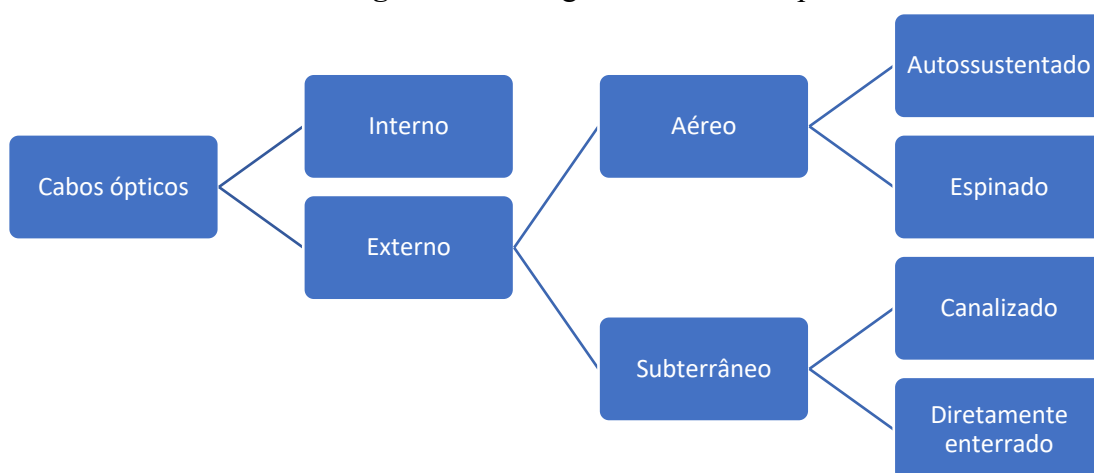
Nas redes de telecomunicações, os cabos ópticos devem apresentar resistência mecânica suficiente para evitar danos às fibras em seu interior, originados pelo puxamento durante os procedimentos de instalação aérea ou subterrânea. Também devem prover a rigidez necessária a fim de prevenir curvaturas excessivas que poderão danificar fisicamente as fibras ou atenuar o sinal óptico. Os cabos ainda devem proteger as fibras nos casos de operação em condições de temperaturas extremas (cabos aéreos) ou se sujeitos à penetração de água e outros solventes (cabos subterrâneos). (Silva; Lima, 2020).

2.6.1.1 Construção de cabos ópticos

Com uma capacidade de transmissão muito mais elevadas do que qualquer cabo metálico ou sistema sem fios, os cabos de fibras ópticas são a base para o crescimento das novas redes de comunicação, principalmente devido a sua durabilidade (algo em torno de 20 anos, ou mais) e por não estarem sujeitos às interferências comuns que afetam demais meios de comunicação (Silva; Lima, 2020).

Os cabos ópticos são categorizados pelo ambiente (cabos para uso interno ou externo), pelo tipo de acondicionamento e pela função a que se destinam. Além disso, os cabos ópticos proporcionam uma maior facilidade de manuseio na instalação, sem o risco de danificar as fibras, conforme mostrado na figura Figura 22.

Figura 22 - Categorias de Cabos Ópticos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A construção de cabos ópticos se dá em várias etapas, com a reunião de diversos elementos, aplicação de capas protetoras, enchimentos, encordoamentos, tudo executado com a utilização de equipamentos em processos industriais, efetuando-se a amarração das fibras em torno de elementos de apoio e tração.

2.6.1.2 Estrutura dos cabos ópticos

Para garantir a durabilidade do cabo óptico, é necessário não submeter as fibras a tensões mecânicas fora de suas especificações. Com esse fim, são utilizados na fabricação elementos tensores e tubos que absorvem as solicitações mecânicas aplicadas ao cabo. Esses elementos são muito importantes na construção do cabo óptico, assegurando sua estabilidade, e também servem para permitir uma fácil identificação das fibras no seu interior (Pereira, 2008).

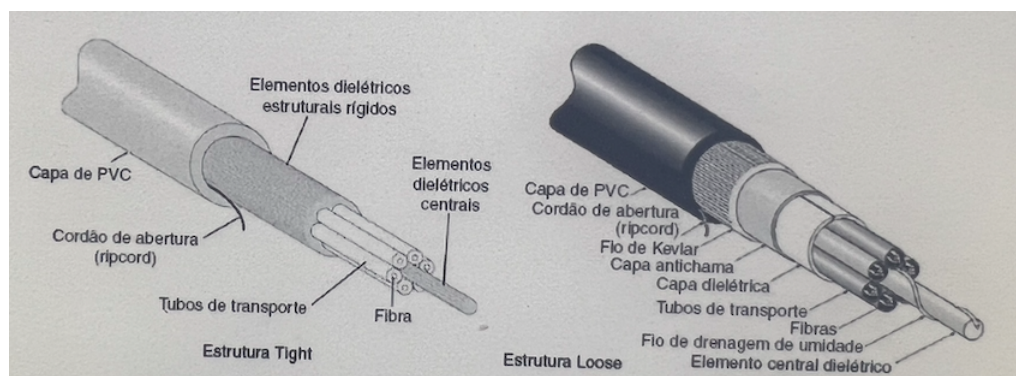
A fibra óptica, durante o processo de fabricação, é revestida por uma camada plástica de proteção adequada ao tipo de serviço. Os cabos devem ter essa constituição para garantir a proteção das fibras durante e após a instalação, e para assegurar uma transmissão sem perdas de suas propriedades, enquanto durar a vida útil do sistema (Pereira, 2008).

Nas aplicações em redes externas, é necessário oferecer à fibra óptica uma proteção adicional por meio de um processo construtivo conhecido como *buffering*.

O processo de *buffering* pode ocorrer de duas formas (Figura 23):

- Solto (ou *loose*) – Para uso externo e algumas aplicações internas;
- Compacto (ou *tight*) – Para uso interno e subterrâneo.

Figura 23 - Estrutura de cabos ópticos *loose* e *tight*



Fonte: Pereira (2008)

Os cabos mais utilizados em redes externas de telecomunicações apresentam a seguinte constituição física, do interior para o exterior (Pereira, 2008):

- Elemento central – Em aço revestido com plástico ou, mais modernamente, com poliéster reforçado (aramida), que suporta a estrutura do cabo e serve de elemento tensor nas fases de fabricação e instalação.
- Tubos de proteção – Sobre o elemento central são posicionadas as fibras (dentro dos tubos de proteção) e os elementos de enchimento (se necessários). Sobre esse conjunto, pode ou não ser aplicada uma barreira contra a unidade constituída por uma fita de polietileno/ alumínio/ polietileno ou geleia de petróleo.
- Elemento de preenchimento – Sob o conjunto, os espaços vazios são totalmente ocupados pela introdução de geleias sintéticas, evitando a entrada de umidade no cabo.
- Revestimento – O revestimento final é feito com material plástico por extrusão (normalmente PVC).
- Proteção adicional – Como proteção extra, pode ser incluído um elemento de reforço mecânico, tal como armadura convencional de duas fitas de aço aplicadas em formato helicoidal, ou de uma só fita de aço longitudinal e corrugada (cabos em aplicações diretamente enterradas), ou ainda tensor exterior (metálico ou não), se o cabo se destina à instalação aérea.

É possível resumir a estrutura básica de um cabo óptico como composto de:

- Núcleo (correspondente à fibra óptica);
- Casca (envolve o núcleo da fibra);
- Cobertura da casca (revestimento de acrilato colorido);
- Tubo de proteção (tubo de transporte ou tubete);
- Elemento de tração (bastão de kevlar);
- Capa externa de polímero (PVC e outros).

2.7 Equipamentos de redes ópticas

Além dos cabos ópticos, os projetos de redes ópticas têm uma série de equipamentos que fazem parte do dimensionamento dos projetos ópticos.

2.7.1 OLT (*Optical Line Terminal*)

A OLT (*Optical Line Terminal*) é o equipamento responsável por gerir e distribuir o acesso aos serviços de dados e streaming. Saber o que é uma OLT (Figura 24) é um

conhecimento que todo provedor de internet ou integrador precisa ter, visto que ela tem um papel fundamental quando se fala de infraestrutura de projetos de rede (Pereira, 2008).

Figura 24 - OLT



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

2.7.2 Portas SFP

SFP (da sigla em inglês *Small Form Pluggable*), também é chamado de mini-Gbic ou em algumas vezes chamado erradamente de apenas "GBIC", é um transceptor óptico que foi desenvolvido para serem usados em aplicações de comunicação de dados principalmente em redes Ethernet de 100Mbps (*Fast Ethernet*) e 1000Mbps / 1.25Gbps (*Giga Ethernet*), SONET e *Fibre Channel* (até 4.25Gbps) (Pereira, 2008).

2.7.3 DIO (Distribuidor Interno Óptico)

Os Distribuidores Internos Ópticos (Figura 25), também conhecidos como DIO, servem para acomodar e proteger as fusões feitas entre os cabos ópticos e as extensões ópticas permitindo organizar e armazenar o cabeamento, evitando o rompimento dos cabos e os mantendo livres de qualquer interferência externa. Sendo assim, investir em um DIO é aumentar ainda mais a capacidade organizacional da sua rede (Silva; Lima, 2020).

Figura 25 - Distribuidor interno óptico



Fonte: Fibracem (2020)

2.7.4 POS (*Passive Optical Splitter*)

O *splitter*, como mostrado na Figura 26, é um componente passivo de uma rede óptica que tem a função de distribuir o sinal óptico de uma fibra para várias outras, aumentando assim a ramificação da rede e deixando-a com mais capilaridade (Silva; Lima, 2020).

Figura 26 - Splitter óptico 1x8



Fonte: Fibramérica (2020)

2.7.5 Caixa de emenda óptica

A Caixa de Emenda Óptica, como se pode perceber na Figura 27, também conhecida como CEO, exerce na rede o papel de acomodar e abrigar as emendas onde dois ou mais cabos ópticos foram unidos ocorridas por término de cabos ou conexão com outros cabos ópticos da rede (Conectwi, 2021).

Figura 27 - Caixa de emenda óptica



Fonte: Cross do Brasil (2022)

2.7.6 Caixa de terminação óptica

A Caixa de Terminação Óptica ou CTO (Figura 28), é um equipamento de rede óptico, utilizado para melhor acomodação dos *splitters* e fibras ópticas. Esse equipamento atende de 8 a 16 clientes com suporte a adaptadores ópticos, devendo ser instalado em postes, segue abaixo algumas características deste equipamento (Conectwi, 2021):

- Apresenta suporte para acomodar adaptadores ópticos – os adaptadores, por sua vez, receberão as portas do *splitter* em uma extremidade. Na outra, os cabos dos assinantes;
- Não exige abertura para retirada da tampa, que é destravada como se fosse uma porta de armário;
- Fechamento dos cabos de modo multifuncional ou via *grommet* individual. Na primeira situação, a caixa prensa o cabo entre a tampa e a parte traseira ao se fechar. Já na segunda, há a necessidade de que o cabo seja inserido em uma peça emborrachada (o *grommet*), que fará a vedação na caixa.

Figura 28 - Caixa de Terminação óptica



Fonte: Ponto ISP (2022).

2.7.6 Ferragens de cabos ópticos

No projeto de rede óptica a utilização de ferragens para amarração, acomodação e ancoragem de rede ópticas, também é extremamente importante para o bom funcionamento e operação dos parâmetros projetos, como a fibra óptica necessita estar bem instalada e o ângulo de curvatura da passagem e ancoragem da fibra pode afetar a atenuação do sinal, listou-se abaixo as principais ferragens para cabos ópticos (Amazonas, 2005):

- Abraçadeira ajustável BAP;

- Conjunto de Sustentação DM;
- Olhal;
- Alça pré-formada de aço ou alumínio;
- Anel AGF;
- Fecho para fita de Aço Inox;
- Cruzeta reserva técnica;
- Fita de aço Inox;
- Cordoalha de Aço galvanizada;
- Cordoalha dielétrica;
- Raquete para reserva técnica (Optilooop);
- Alça plástica para Drop;
- Fio de Espinar;
- Esticador plástico;

Figura 29 - Exemplos de ferragens redes ópticas



Fonte: RS fiber (2022)

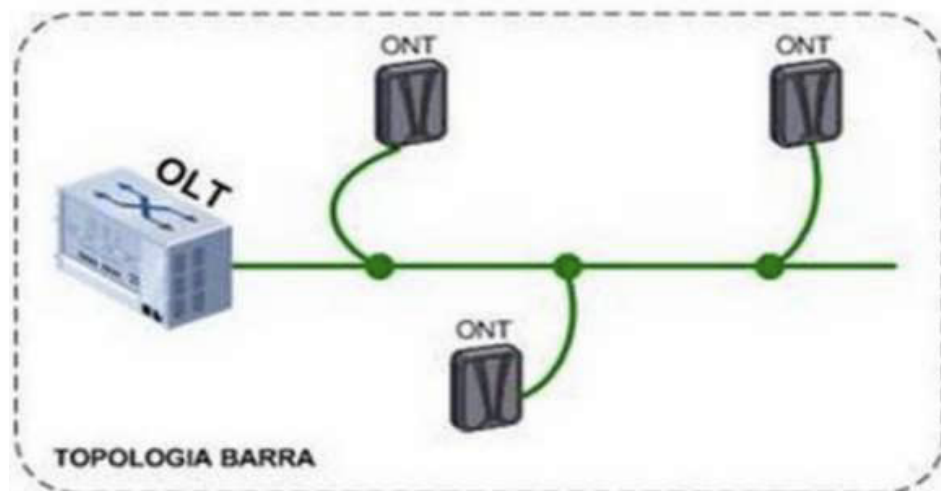
2.8 Topologias de redes ópticas

Existem algumas variações nas topologias de redes ópticas, dentre as principais pode-se citar:

2.8.1 Topologia barra

A topologia em barra, mostrada na Figura 30, é aquela que possibilita conectividade ponto-multiponto entre OLT e ONT, porém quando houver uma falha no enlace principal ocasiona a desconexão dos usuários (Oliveira, 2010).

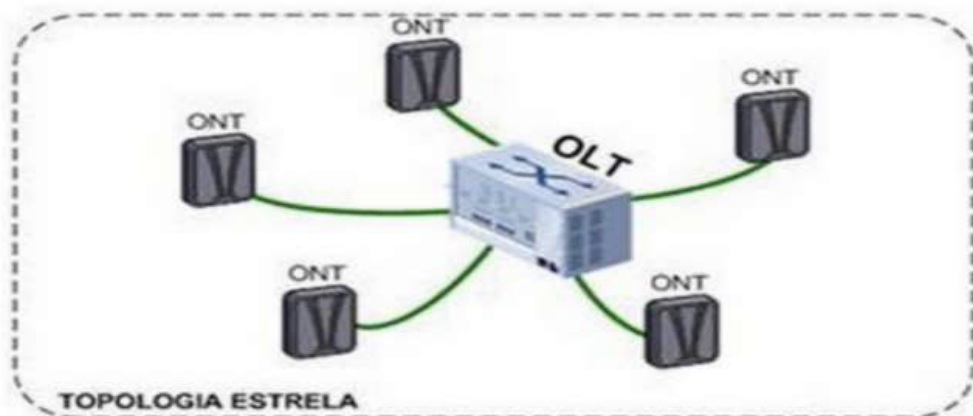
Figura 30 - Topologia em Barra



Fonte: Oliveira (2010)

A topologia em estrela, representada na Figura 31, é aquela que possibilita conectividade ponto a ponto entre OLT e ONT, esta topologia proporciona a entrega de banda dedicada de altas taxas aos usuários finais e possui baixo custo de operação, manutenção e administração (Oliveira, 2010).

Figura 31 - Topologia em estrela

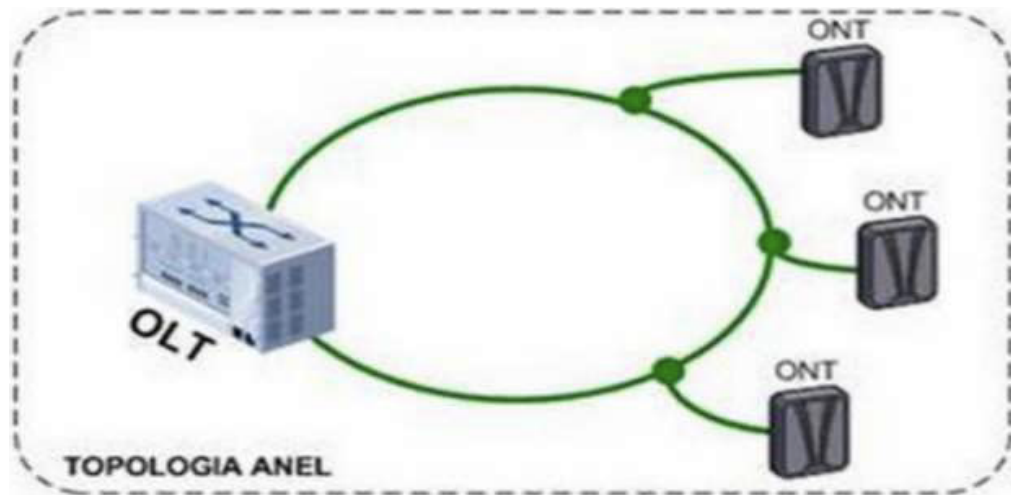


Fonte: Oliveira (2010)

2.8.2 Topologia anel

A topologia em anel é aquela que possibilita a vantagem de ponto-multiponto da OLT para a ONT. Permitindo, a instalação de mecanismos de proteção de enlace com redundância em contrapartida possui dificuldades para administração e manutenção (Oliveira, 2010). Representada a seguir na Figura 32.

Figura 32 - Topologia Anel

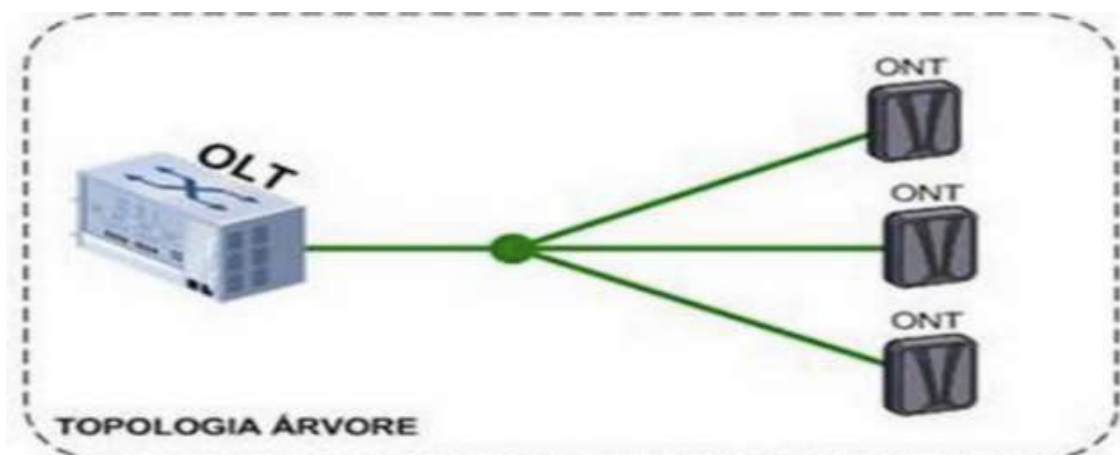


Fonte: Oliveira (2010)

2.8.3 Topologia árvore

A topologia em árvore (Figura 33), é aquela que possibilita a vantagem de infraestrutura compartilhada entre todos os usuários, havendo uma redução de custo de implementação e manutenção na sua rede de acesso (Oliveira, 2010). Esta arquitetura é a que será utilizada no trabalho.

Figura 33 - Topologia árvore



Fonte: Oliveira (2010)

2.9 Tecnologia FTTx e suas variações

FTTx, ou “Fiber to the x” é um termo genérico para uma arquitetura de rede de banda larga através de fibra óptica para substituir por completo ou parte do lance local de cabeamento metálico ou coaxial habitualmente utilizado para telecomunicações (Margaret, 2014).

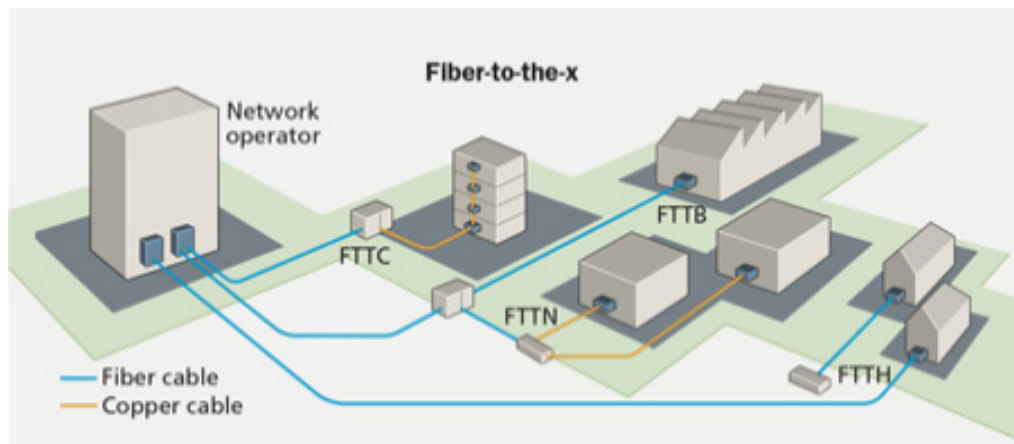
Uma rede óptica passiva (PON – *Passive Optical Network*) é uma rede ponto-multiponto onde a fibra chega até a rede do usuário final. É composta de divisores ópticos passivos que são utilizados para permitir que uma única fibra óptica atenda diversos usuários finais, variando entre 32 e 128. Uma configuração PON reduz a quantidade de fibra e equipamentos na central quando comparadas com as arquiteturas ponto a ponto (Margaret, 2014).

Todas as aplicações finais que compartilham uma fibra recebem os sinais transmitidos pela central. Para os sinais que retornam dos pontos de acessos, eles são combinados usando protocolo de múltiplo acesso (Margaret, 2014).

2.9.1 Arquiteturas FTTx

Segundo Margaret (2014) e Silva (2018), uma rede FTTx, como ilustrado na Figura 34, pode apresentar várias arquiteturas:

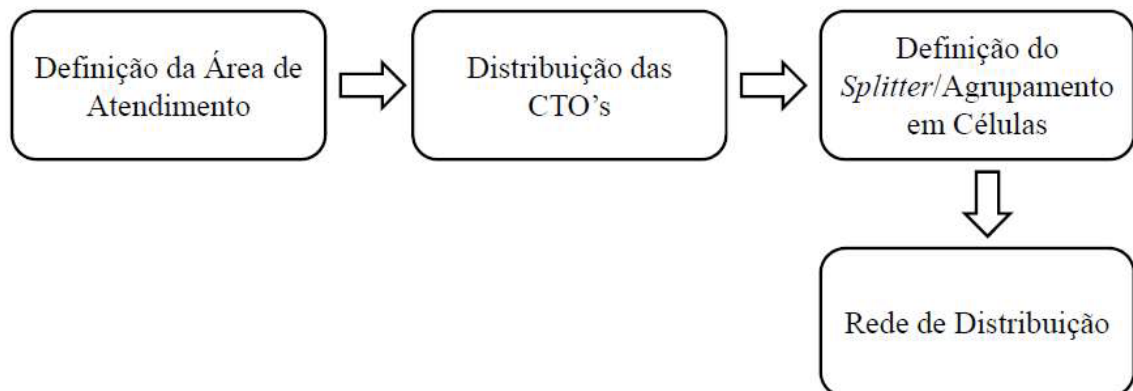
- *Fiber to the node* (FTTN) – *Fizer-to-the-node* – ao sair da central, essa conexão liga-se à um armário de rua *street cabinet* com a conexão final ao cliente sendo de cobre.
- *Fiber to the curb* (FTTC) – aonde a fibra vai até um armário na rua e a distribuição para os assinantes naquela vizinhança, tendo como meio o cabo coaxial ou o par de cobre.
- *Fiber to the home* (FTTH), ou fibra até a residência do usuário final. A rede de acesso atinge primordialmente os usuários finais (Residências, Prédios, ERBs etc.) Sua velocidade supera 100Mbps (megabits por segundo).
- *Fiber to the building* (FTTB), aonde a fibra vai até o prédio e a distribuição para os assinantes são feitas através de uma rede Ethernet tendo como meio o cabo coaxial ou o par de cobre.
- *Fiber to the desktop* (FTTD), onde a conexão de fibra é instalada a partir da principal sala de informática a um terminal ou fibra conversor de mídia perto da mesa do usuário.

Figura 34 - Arquiteturas FTTx

Fonte: Silva (2018)

2.10 Dimensionamento da rede FTTH

Todo projeto de FTTH deve seguir o fluxo do dimensionamento da rede que consiste em etapas para a garantia do melhor resultado de forma prática e rápida, apresentado na Figura 35. Nesta seção será descrito como executar cada uma das etapas. Esse processo pode ser feito com a utilização da ferramenta Google Earth Pro, plataforma gratuita e com várias funcionalidades aplicada ao plano de FTTH (Araujo, 2019).

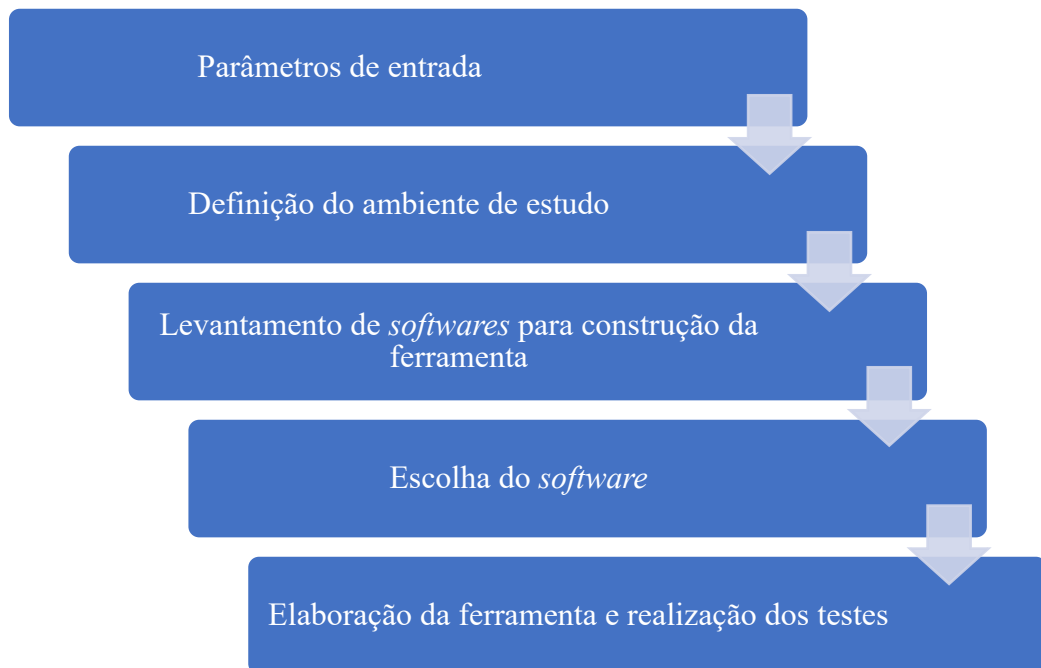
Figura 35 - Sequência de projeto de rede óptica FTTH

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção foram apresentados os materiais e métodos empregados para o desenvolvimento do trabalho proposto. A Figura 36 ilustra o fluxograma com as etapas seguidas para a execução da pesquisa.

Figura 36 - Fluxograma com as etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.1 Parâmetros de entrada

Esta dissertação tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que defina premissas de um projeto de rede óptica na tecnologia FTTH, para isso faz-se necessário estabelecer quais são os parâmetros de entrada desta ferramenta.

3.2 Potência de saída da OLT na porta SFP

A potência de saída da OLT na porta SFP é definida pelas regras da ITU-T (*Telecommunication Standardization Sector*), conforme abaixo:

Tabela 2 – Potência Porta SFP

TIPO DE PORTA	POTÊNCIA DE SAÍDA (DB)
B+	1,5
C+	3,0
C++	6,0

Fonte: ITU-T na recomendação G.984.2 (2003)

A ITU-T, define além dos limites de potência das portas SFP, os limites de perdas admissíveis para os elementos passivos de rede e demais perdas que irão determinar os critérios e fatores de distribuição da rede GPON (Dinis; Pacífico, 2020). Para efeito deste trabalho, utilizou-se os limites mínimos como premissas a serem carregadas na ferramenta onde eles estão elencados na Tabela 3, demonstrada a seguir:

Tabela 3 – Perdas Estimadas por Elemento Projetado

	Unidade	Perda Unitária (dB)
Conectores	un.	0,30
Emendas por Fusão	un.	0,03
Emendas Mecânicas	un.	0,30
<i>Splitter</i>	1x2	3,70
<i>Splitter</i>	1x4	7,30
<i>Splitter</i>	1x8	10,50
<i>Splitter</i>	1x16	13,70
<i>Splitter</i>	1x32	17,10
<i>Splitter</i>	1x64	20,50
Distância	1310nm (Km)	0,35
	1490nm (Km)	0,25

Fonte: ITU-T na recomendação G.984.2 (2003)

Importante ressaltar que foi considerado a premissa de distância entre CTO's igual a 0,1 Km ou 100 m, estabelecendo como premissa a distância entre CTO's englobará dois postes de concreto da concessionária de energia elétrica e mais uma sobra técnica a ser acomodada na CTO. Com essas premissas estabelecidas é possível obter a potência do sinal óptico de cada CTO (CIANET, 2021).

A seguir demonstrou-se um exemplo de um cálculo de Potência de sinal óptico de uma CTO, este cálculo será feito de forma automatizada na ferramenta contemplando todas as

situações possíveis e fornecendo ao usuário a melhor combinação de elementos para se obter o maior aproveitamento da combinação equipamentos x rede óptica, de forma a se buscar o projeto mais viável economicamente, com o menor prejuízo possível de recursos (Barbosa, 2020).

Sabe-se que a potência óptica de saída na porta PON da OLT será atenuada pelas perdas que o sinal encontrará até a CTO, esta então pode ser calculada como sendo:

$$Pot_{CTO} = Pot_{OLT} - P_{proj} \quad (9)$$

Onde: Pot_{CTO} = Potência medida na CTO

Pot_{OLT} = Potência na saída da porta PON da OLT

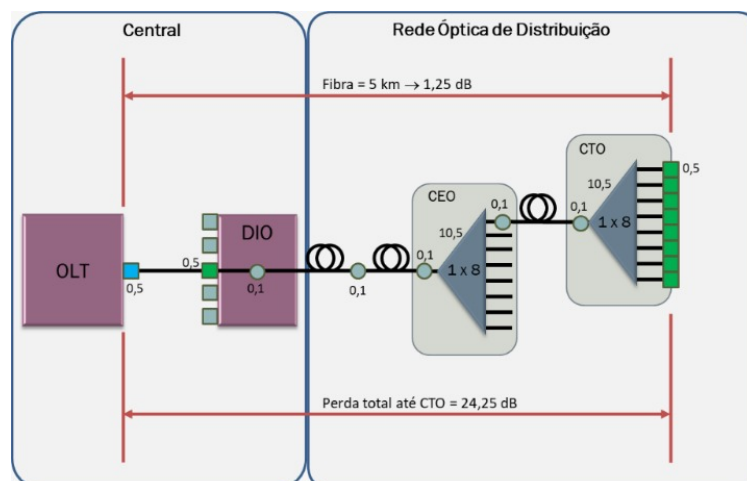
P_{proj} = Perda projetada até a CTO

Desta forma, para determinarmos qual é a potência medida nas CTO's primeiramente é necessário conhecer qual é a potência de saída da porta PON da OLT.

É importante compreender que ao projetar a rede deve-se utilizar a menor potência informada pelo fabricante do transceptor óptico. No entanto, para o cálculo da potência que será medida na CTO é necessário conhecer a potência emitida em cada porta PON. Sabe-se que os lasers dos transceptores ópticos dos equipamentos GPON's, emitem luz no comprimento de onda de 1490nm (Dinis; Pacífico, 2020).

Assim, para efetuar corretamente a medida da potência óptica de cada porta, utiliza-se Power Meter com o cuidado de selecionar o comprimento de onda de 1490 nm. É importante também utilizar nesta medida um cordão óptico com conectores em bom estado de conservação, limpos e com padrão adequado à OLT e ao *Power Meter*. De posse dos valores de potência de cada porta PON, deve-se calcular a perda projetada até cada CTO onde desejar-se conhecer a potência que será medida na mesma (Dinis; Pacífico, 2020).

Figura 37 - Exemplo Diagrama unifilar rede óptica FTTH



Fonte: Infranews (2020)

Para este cálculo, parte-se do diagrama unifilar, foi utilizado no projeto para o cálculo do orçamento de potência (Araujo, 2019). Como ilustração, é necessário utilizar o diagrama unifilar da Figura 37 com as seguintes perdas:

- 5 conexões ópticas, neste exemplo será considerado 0,5 dB por conexão, que é o máximo permitido pela Anatel para homologar um conector.
- 5 emendas por fusão, neste exemplo será considerado 0,1 dB por emenda, que é o máximo permitido por norma EIA e é a especificação de várias máquinas de emendas que fazem alinhamento de fibras pela casca.
- *splitters* 1×8, neste exemplo será considerado 10,5 dB por *splitter*, que é a máxima perda por inserção permitida pelo Anatel para homologar um *splitter* 1×8.
- 5 km de fibra até a CTO, neste exemplo será considerado 0,25 dB por quilometro, que é a perda típica das fibras ópticas homologadas para o comprimento de onda de 1490nm.

Considerando o digrama unifilar utilizado, foram calculadas as seguintes perdas projetadas, conforme Tabela 4:

Tabela 4 – Cálculo de perda projetada

ITEM	Quantidades	Perda Unitária (dBm)	Perda acumulada (dBm)
CONEXÕES	3	0,5	1,5
EMENDAS	5	0,1	0,5
SPLITTERS	2	10,5	21
FIBRA	5	0,25	1,25
PERDA TOTAL PROJETADA			24,25

Fonte: Infranews (2020)

Para finalizar os cálculos, foram consideradas a potência de saída da OLT é de 3,0dBm, com isso pode-se calcular a potência projetada para a CTO:

$$Pot_{CTO} = Pot_{OLT} - P_{proj} = 24,25 - 3 = -19,25dBm$$

Como as ONU's do mercado operam em faixas de -13dBm a -28dBm, esta CTO está projetada conforme premissas e irá operar de forma devida para atendimento a clientes banda larga.

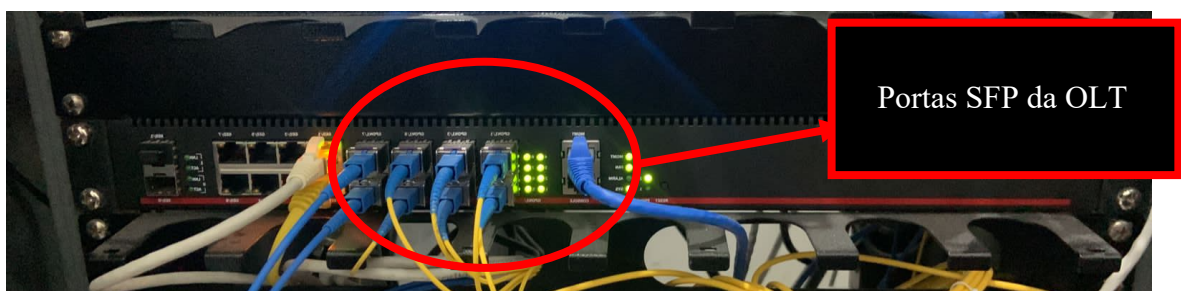
Apesar das ONU's operarem em sinais de até -28dBm, como entende-se que as redes estão sujeitas a degradações naturais, vandalismos e intervenções de terceiros. Na ferramenta

desenvolvida nesse trabalho considerou-se como limite técnico para obtenção das premissas de projeto o máximo sinal atenuado a no máximo -25dBm.

3.3 Quantidade de portas SFP da OLT

No item anterior, foram mencionados como será tratado a potência de saída da OLT e como se desenvolveu os impactos do projeto no atendimento desse quesito, mas as OLT's geralmente possuem várias portas SFP, como se pode perceber na Figura 38, e esse item também será uma entrada de dados para a ferramenta.

Figura 38 - Portas SFP da OLT

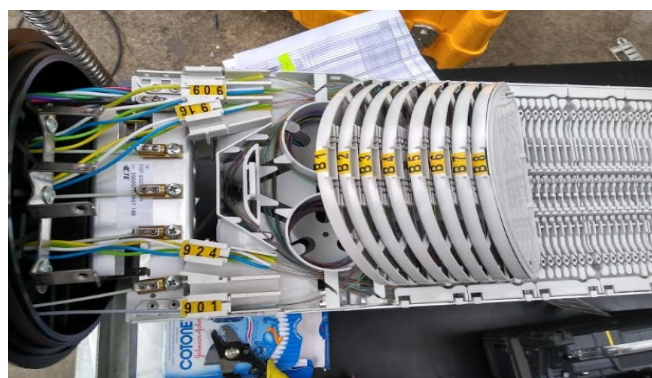


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.4 Quantidade de fibras ópticas primárias

Para que processar as premissas do projeto, também se fez necessário informar qual a quantidade de fibras (como no exemplo da Figura 39) ópticas que existirão no cabo primário, pois a partir dessa quantidade será calculado a relação de pontas PON para cada fibra. Como exemplo, se for utilizado um equipamento OLT com 8 portas PON e dois cabos primários de 12 fibras, totalizando 24 fibras primárias, será necessário a aplicação de *splitters* de 1x4 e 1x2, já na saída do cabo o que consequentemente impactará a atenuação do sinal e a definição das premissas do projeto da rede óptica FTTH (Araujo, 2019).

Figura 39 - Caixa de Emenda Óptica



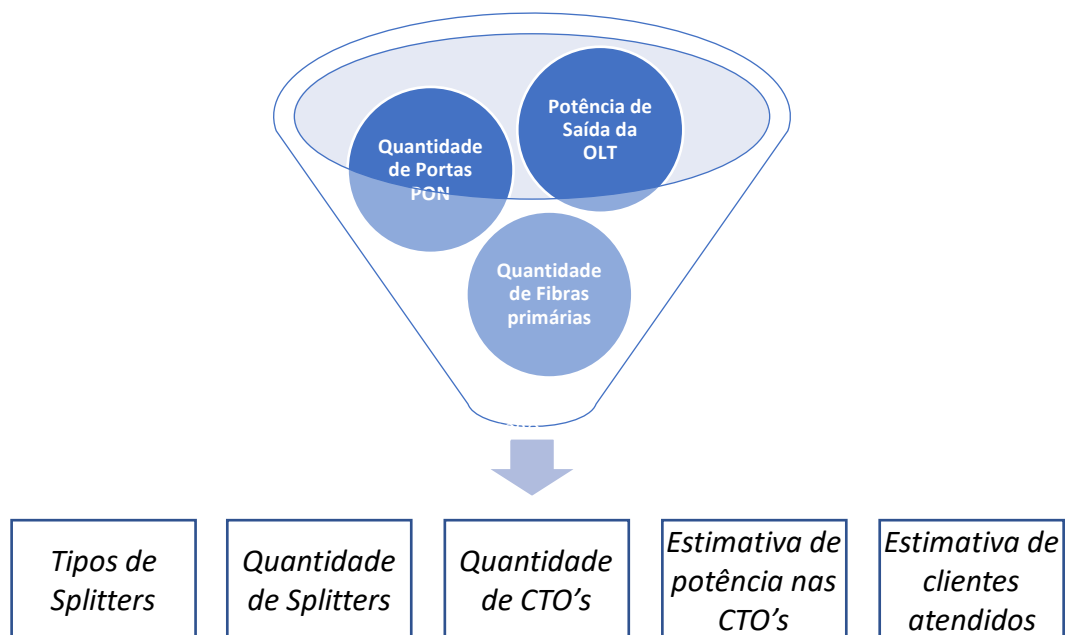
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.5 Parâmetros de entrada versus saída

Através da ferramenta computacional, como mostrado na Figura 40, desenvolvida por este trabalho espera-se a partir das três entradas citadas: Potência de saída da OLT, Quantidade de Portas PON da OLT, Quantidade de fibras ópticas primárias, obter as seguintes saídas, como premissas do projeto de rede óptica FTTH:

- Tipos de *Splitters*;
- Quantidade de *splitters*;
- Quantidade de CTO's;
- Estimativa de potência de saída nas CTO's;
- Estimativa de quantidade de clientes a serem atendidos pelo projeto

Figura 40 - Entradas e saídas da ferramenta

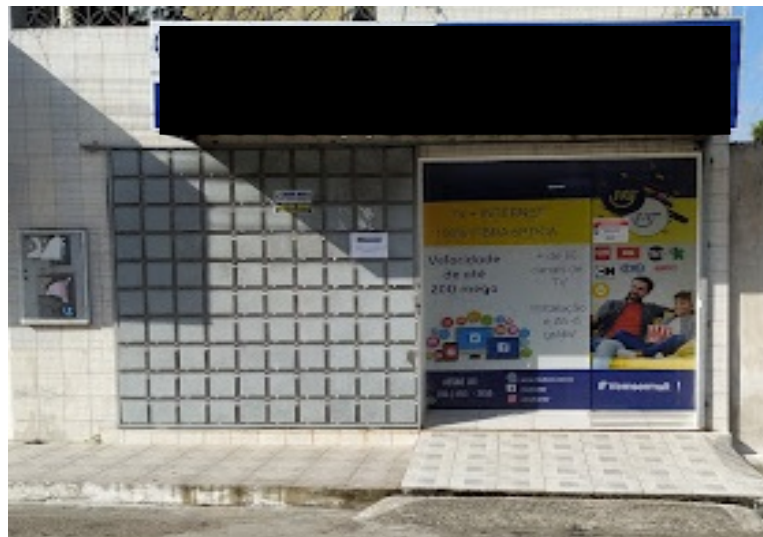


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.6 Definição do ambiente de estudo

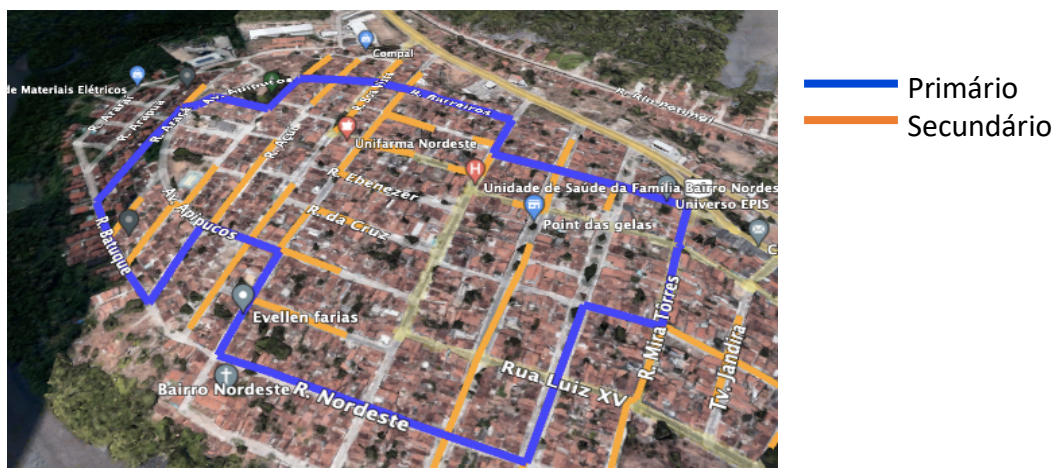
Para delimitar o ambiente de estudo, foi escolhido um provedor de internet, na sua estação que atende ao Bairro Nordeste na cidade de Natal/RN. A seguir temos as Figuras 41 e 42 que demonstram a localização e destruição da rede óptica do provedor respectivamente.

Figura 41 - Fachada provedor no Bairro Nordeste



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 42 - Distribuição de rede do provedor no Bairro Nordeste

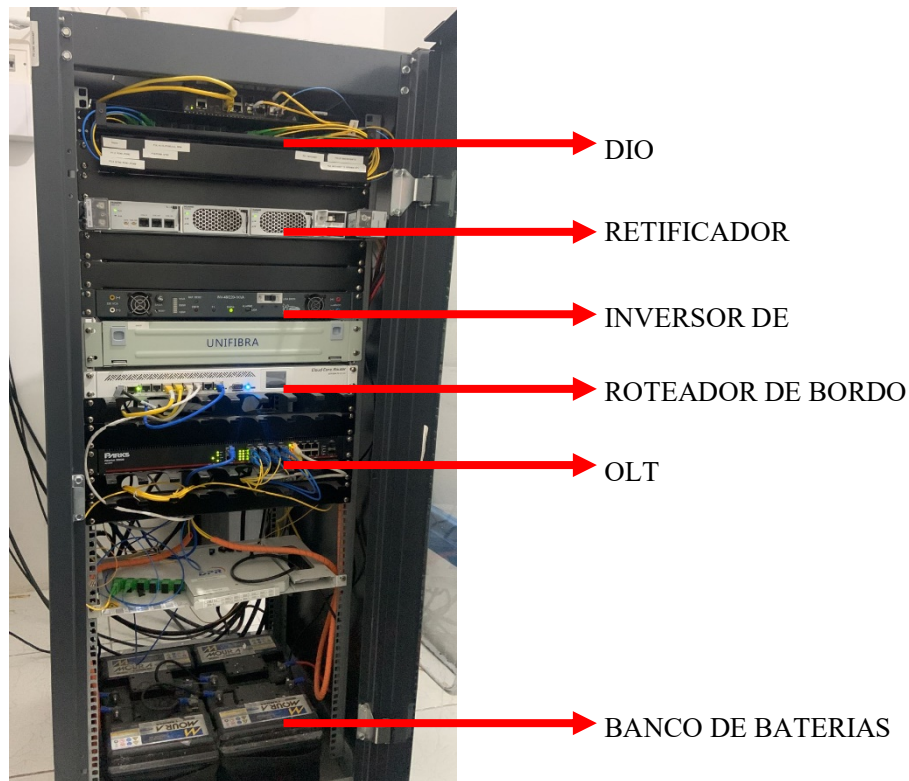


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.6.1 Sala de Equipamentos Ambiente de Estudo

Na sala de equipamentos, como mostrado na Figura 43, ficam todos os equipamentos responsáveis pelo correto funcionamento do provedor, em uma rede óptica FTTH, só se tem inteligência e processamento na estação e no cliente final, no nosso caso de estudo trata-se de uma rede PON (*Passive Optical Network*), como o nome remete os elementos da rede são passivos, atuando apenas na distribuição do sinal.

Figura 43 - Sala de Equipamentos Provedor do Ambiente de Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.6.2 Inventário de Rede do Ambiente de Estudo

De forma a utilizar esse ambiente de estudo como comparação e verificação de assertividade da ferramenta, foi realizado um inventário dos elementos de rede do provedor de Internet Multicon Telecomunicações do Bairro Nordeste em Natal/RN, onde este inventário fica registrado na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Inventário de Rede Multicon Telecomunicações

	Unidade	Quantidade
OLT PARKS 8 PORTAS SFP	un.	1
Splitter 1x2	un.	3
Splitter 1x16	un.	8
CTO 1x8	un.	117
CTO 1x16	un.	14
Cabo de 12 Fibras	m	18.094
Estimativa de clientes	un.	1.000

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.7 Instrumentos de medição

3.7.1 OTDR – Reflectômetro Óptico no domínio do tempo

O Reflectômetro Óptico no domínio do tempo, ou simplesmente OTDR, é um instrumento utilizado para avaliar as características de um enlace óptico. Além da identificação e localização de defeitos ou anomalias no enlace, o instrumento é capaz de determinar os valores de atenuação da fibra, comprimento, perdas nos conectores e emendas e níveis de reflectância de luz.

O OTDR é, basicamente, um radar óptico e seu funcionamento está baseado no retro espelhamento da luz que ocorre ao longo da fibra. Medindo um pulso de luz refletido (pulso de Fresnel) ao longo de uma fibra, é possível através dele encontrar a distância que ele se encontra da fonte de luz, no nosso caso a fonte de luz é a OLT.

O OTDR permite obter uma representação gráfica do desempenho do sinal óptico, chamado de traçado ou traço, ao longo da extensão da fibra, desde o ponto de conexão do equipamento até a extremidade oposta do enlace. São aplicações do OTDR:

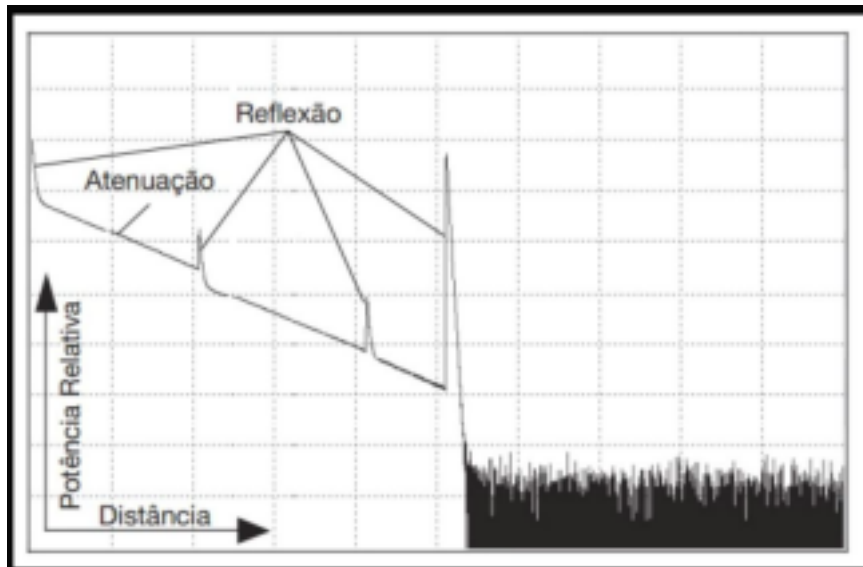
- Visualização gráfica detalhada do cabeamento, mapeamento da rede e registro da qualidade das terminações;
- Localização de falhas na fibra (dobras, trincas ou quebras);
- Diagnóstico avançado para isolar um ponto de falha que pode impedir o desempenho adequado da rede;
- Permitir a descoberta de problemas na extensão do comprimento do cabo que podem afetar a confiabilidade no longo prazo;
- Caracterizar recurso como a uniformidade e a taxa de atenuação da fibra, o comprimento dos segmentos, as perdas de conectores e emendas, entre outros;

O equipamento proporciona condições para diagnosticar eventuais defeitos devidos a atenuações localizadas, atenuação do cabo óptico, conectores com defeito ou com elevada atenuação e rompimento de fibras.

O funcionamento do OTDR baseia-se na emissão de pulsos de luz de curta duração com comprimentos de onda determinados (850nm, 1.300nm, 1.310nm, 1.330nm e 1.550nm). Basicamente, o OTDR proporciona uma curva atenuação x comprimento do enlace, conforme Figura 44, sendo os pulsos de luz gerados por um laser controlado por um gerador de pulsos e

o sinal refletido captado por um fotodetector que o transmite a um estágio que se encarregará de realizar sua análise. Na Figura 45 tem-se uma imagem do OTDR utilizado nos testes.

Figura 44 - Exemplo de tela de medição do OTDR



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 45 - OTDR utilizado nos testes



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.7.2 Power Meter

O *Power Meter* é um medidor de sinal óptico utilizado por provedores de internet, para calcular a potência e a perda relativa em redes de fibra óptica ponto a ponto ou ponto-

multiponto. A ferramenta garante alta precisão na medição de potência em pontos-chave da rede para verificar se estão adequados às especificações do projeto, recomendada para as atividades de instalação, manutenção e reparos de redes ópticas.

O equipamento é indispensável na rotina de um provedor de internet que se preocupa em oferecer uma infraestrutura com mais qualidade e velocidade aos assinantes. Isso porque o *Power Meter* possibilita medir a potência de OLT, ONT e conversores de mídia, como demonstrado na Figura 46.

Figura 46 - Power Meter realizando medição em uma CTO



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.8 Levantamento dos *softwares* para construção da ferramenta

Partindo do princípio de que o objetivo principal deste trabalho é a construção de uma ferramenta computacional faz-se necessário o levantamento de *softwares* possíveis para a elaboração desse produto que está associado ao cumprimento do target maior do trabalho, baseado nisto elencou-se os *softwares* a seguir para análise e posterior escolha: Python, C#, C++, Javascript e PHP (Lima, 2010).

3.8.1 Python

Python é uma linguagem de programação de alto nível e para propósitos diversos. Ela pode ser utilizada para múltiplas tarefas, desde a análise e visualização de dados até o desenvolvimento, prototipação e automação web (Lima, 2010).

A linguagem Python é muito popular entre desenvolvedores de *software*, pois funciona muito bem como uma linguagem de scripts. Adicionalmente, ela permite que seus usuários

utilizem diferentes paradigmas de programação, incluindo linguagens de programação funcionais, processuais, imperativas e orientadas a objetos (Lima, 2010).

Outra característica importante da linguagem Python é que ela é de código aberto, isto é, ela permite que os programadores modifiquem seu código-fonte para que se ajuste às suas necessidades.

Além de tudo isso, é mais simples aprender Python do que as outras linguagens de programação, graças à sua sintaxe, que é familiar à língua inglesa. Se você deseja começar sua carreira como um desenvolvedor de programas, aprender a programar em Python é um ótimo ponto de partida.

Para ajudar ainda mais, a demanda por desenvolvedores Python é crescente no mercado. É possível escolher entre várias linhas de trabalho, seja como cientista de dados, engenheiro de *softwares* e pesquisador de inteligência artificial (IA).

3.8.2 C#

C# é uma linguagem de programação orientada a objetos – um modelo que organiza o design de *software* ao redor de objetos. A linguagem de programação C# é uma das principais no mercado devido ao seu rápido desempenho e estabilidade melhorada. Essa linguagem de programação também é mais fácil de ser aprendida do que as suas antecessoras, como C e C++, pois possui uma sintaxe mais simples e uma hierarquia de classe bem definida (Lima, 2010).

Tendo começado como uma linguagem Microsoft para seu *framework* .NET, hoje em dia a linguagem de programação C# é compatível com Windows e Linux. Sendo assim, é a melhor linguagem de programação para aprender a desenvolver aplicações desktop baseadas em GUI (*graphical user interface*) (Lima, 2010).

Programadores também podem utilizar a linguagem C# em vários ambientes, incluindo *softwares* móveis e corporativos. Em outras palavras, desenvolvedores que utilizam C# podem criar aplicativos para Android e iOS, além de desenvolver jogos em 2D e 3D no Unity.

Profissionais com conhecimento em linguagem C# estão em alta demanda, já que muitas empresas de *software* estão buscando por programadores com essa especialidade. Alguns dos melhores empregos para desenvolvedores em C# incluem ser desenvolvedor de aplicativos móveis e engenheiro de *software*.

3.8.3 C++

A linguagem de programação C++ é uma versão melhorada da C, e uma das mais populares linguagens na área de ciências da computação. Além disso, sua versatilidade faz com que a C++ seja uma das linguagens de programação mais indicadas para se aprender. Sua natureza rápida e potente permite que desenvolvedores criem aplicações com excelente desempenho, como videogames, *softwares* gráficos e navegadores *web* (Lima, 2010).

A linguagem de programação C++ combina características de linguagens de baixo e alto níveis, fazendo com que ela seja ideal para programação de sistemas, ainda permitindo abstrações para projetos menores. Adicionalmente, a C++ é uma linguagem de programação multiparadigma, suportando programação imperativa, genérica e OOP. Vale notar que aprender C++ pode ser desafiador para iniciantes, pois ela possui uma sintaxe mais complexa do que outras linguagens de programação (Lima, 2010).

Em termos de oportunidades de trabalho, ter proficiência em C++ é necessário para muitos profissionais de TI, como desenvolvedores de *software* e arquitetos de programação. Atualmente, a demanda por desenvolvedores em C++ está em crescimento, já que se trata de uma das linguagens de programação mais difíceis de se aprender. Lembre-se de destacar suas habilidades e competências em linguagens de programação no seu currículo para atrair as melhores ofertas de emprego.

3.8.4 Javascript

JavaScript, juntamente com HTML e CSS, é a melhor linguagem de programação para aprender desenvolvimento web front-end. 97,8% de todos os sites no mundo utilizam JavaScript para seu desenvolvimento *client-side* (a interface que é visível para os visitantes). Isso faz com que essa seja a linguagem de programação mais popular para esses casos (Lima, 2010)

O JavaScript geralmente é utilizado para melhorar a interatividade de páginas na internet. Essa linguagem de programação permite que os desenvolvedores web adicionem elementos dinâmicos nas *landing pages*, como gráficos animados, botões clicáveis e efeitos que aparecem quando se passa o mouse sobre alguma sessão específica do site (Lima, 2010)

A linguagem JavaScript não é útil apenas para criação de sites, mas também é excelente para desenvolvimento de aplicações web, já que oferece um design muito intuitivo.

De modo geral, a JavaScript é uma linguagem de programação relativamente fácil de aprender, tornando esta a escolha perfeita para quem está planejando se tornar um

desenvolvedor web. Desenvolvedores JavaScript também podem se inserir no mercado de trabalho como designers UI/UX, desenvolvedores *full-stack* e engenheiros de *software*.

3.8.5 PHP

PHP é uma das primeiras linguagens de programação *back-end* que os desenvolvedores consideram ser essencial aprender. Além disso, o PHP é utilizado por 78,1% de todos os sites na internet, já que é a linguagem primária do WordPress. Comparada a outras linguagens de programação, o PHP é fácil de aprender. Além de ter um extenso conjunto de recursos disponíveis para iniciantes, a sintaxe PHP é elementar (Lima, 2010)

Adicionalmente, esta linguagem de programação oferece excelentes *frameworks* PHP para o desenvolvimento de sites e aplicações. Alguns dos melhores e mais conhecidos são Laravel, Symfony e CodeIgniter.

Em termos de oportunidades de trabalho, a linguagem de código aberto PHP segue em grande demanda, mesmo sendo uma das mais antigas do mercado. Programadores PHP podem utilizar esta linguagem para escrever scripts via linhas de comando, bem como scripts *server-side* (na interface do servidor), além de desenvolver aplicações desktop.

3.9 Comparativos entre linguagens de programação

Baseado nos itens abordados, resumiu-se na Tabela 6 os pontos para decisão da escolha da linguagem de programação.

Tabela 6 – Comparativo entre linguagens de programação

	Phyton	C#	C++	Java	PHP
Indicado para	Iniciantes	Intermediários	Experientes	Iniciantes	Iniciantes.
Conhecimento do pesquisador	Nenhum	Básico	Básico	Nenhum	Intermediário
Usos	Aplicações Desktop	Aplicações Web	Sistemas Operacionais	Front End	Desenvolvimento web.
	Ciência de Dados	Aplicações Móveis	Desenvolvimento de aplicações	Desenvolvimento de Jogos	Aplicações desktop.
	Aplicações de Deep Learning	Jogos e realidade virtual	Desenvolvimento de aplicações móveis	Aplicações Web	Programas de computador.
Prós	Código aberto	Compatibilidade com Windows	Código aberto	Código aberto	Bem estabelecida para desenvolvimento web.
	Altamente escalável	Tempo de compilação rápido	Segurança alta	Não exige compilação	Suporta OOP e programação funcional.
	Compatibilidade com Mac e Windows	Bom nível de segurança	Fácil transferência de competências para outras linguagens.	Funciona bem com outras linguagem de programação	Excelente suporte da comunidade – grande comunidade de desenvolvedores e muitos materiais de apoio.
Contras	Processamento lento	Curva de aprendizado alta	Alta complexidade	Problemas de segurança	Questões de segurança.
	Consumo alto de memória	Baixa compatibilidade com Mac	Baixa eficiência na estrutura orientada a objetos	Desempenho instável	Criar um site utilizando PHP é uma tarefa mais lenta do que utilizar outras linguagens de programação.
	Baixa adaptação para aplicações móveis	Não se traduz bem entre plataformas	Ausência de um sistema para gerenciamento de memória	Apresenta problemas de compatibilidade entre versões de navegadores.	Menos ferramentas de <i>debugging</i> (resolução de problemas).

Fonte: Adaptado de Hostinger (2020)

3.10 Escolha do *Software*

Diante das considerações abordadas nas análises das linguagens de *software*, a escolha da linguagem de programação recai sobre o PHP. Essa decisão é respaldada pelo fato de o PHP atender plenamente aos requisitos da solução proposta no estudo e, adicionalmente, pelo elevado nível de conhecimento nessa linguagem.

3.11 Realização de Testes da ferramenta

Após a conclusão de todo o processo de levantamento de dados e validação das hipóteses, como mostra na Figura 47, conseguiu-se concluir a ferramenta computacional, que se encontra disponível para acesso através do endereço: <https://198.27.96.89/teste>.

Figura 47 – Layout da Ferramenta

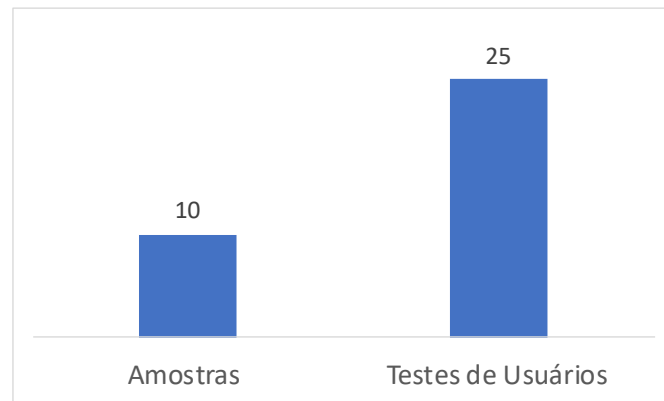
The image shows a web application titled "Rede Óptica". It features several input fields and a calculation button. The inputs are: "POTENCIA:" with a dropdown menu showing "B+", "QTD PORTAS:" with the value "NaN", and "QTD FIBRAS:" with the value "NaN". A blue "Calcular" button is to the right. Below these, there is a "Limite Técnico: -25" label and two more input fields: "QTD CTOs:" with "NaN" and "Clientes Atendidos:" with "NaN / NaN". At the bottom, there is a table with the following headers: "S1X64", "DISTANCIA", "FUSÕES", "CONECTORES", and "POTÊNCIA CTO". Under "POTÊNCIA CTO", there are sub-headers "1X8" and "1X16". The text "Diagrama Unifilar" is centered below the table.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Os testes da ferramenta foram realizados as seguintes técnicas:

- Amostragem: Foram comparados os resultados apresentados pela ferramenta com 10 amostras de cálculos de perdas projetadas, demonstrados nesse trabalho e foi verificado total aderência da ferramenta aos cálculos manuais.
- Testes de usuários: A ferramenta foi submetida ao teste de 25 usuários especialistas na elaboração de projetos de redes ópticas que após algumas rodadas de dúvidas e adequações. Validaram a funcionalidade da ferramenta, assim como avaliaram que a mesma é intuitiva e amigável para seu uso e operação.

Figura 48 - Testes de Validação da Ferramenta



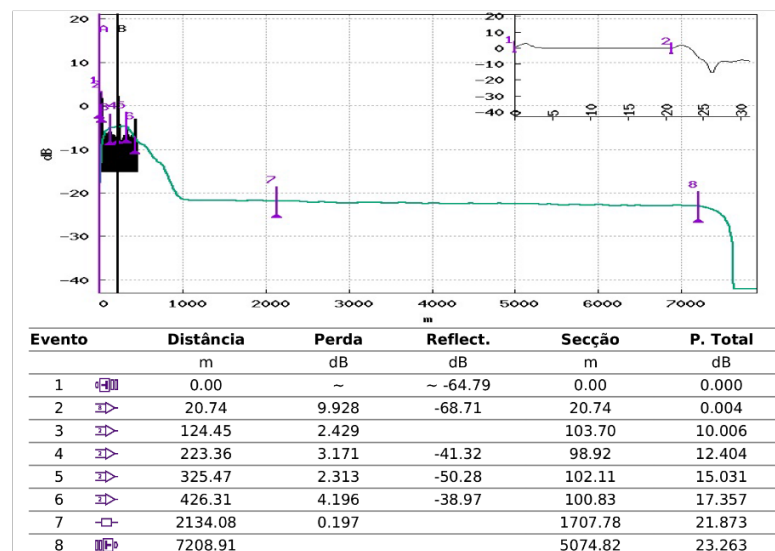
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados Preliminares

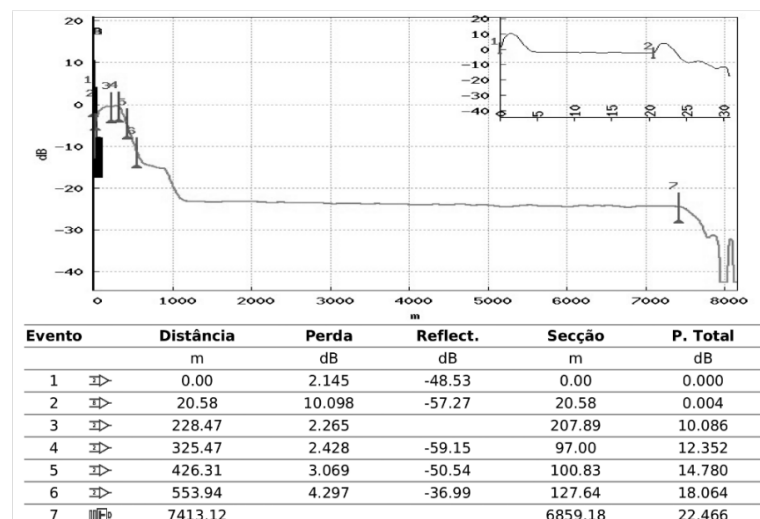
Buscando entender o ambiente selecionado para análise utilizando os instrumentos de medição detalhados na seção anterior foram realizadas algumas medições preliminares que possam viabilizar a compreensão dos problemas e gerar subsídios preliminares que guiem as hipóteses, para isto foram feitas medições em três fibras primárias na OLT do provedor Multcon Telecomunicações no bairro Nordeste. Na Figura 49, 50 e 51 abaixo, respectivamente, pode-se visualizar os dados sobre o teste de fibra 01, 02 e 03.

Figura 49 - Teste fibra 01 provedor Multcon Telecomunicações



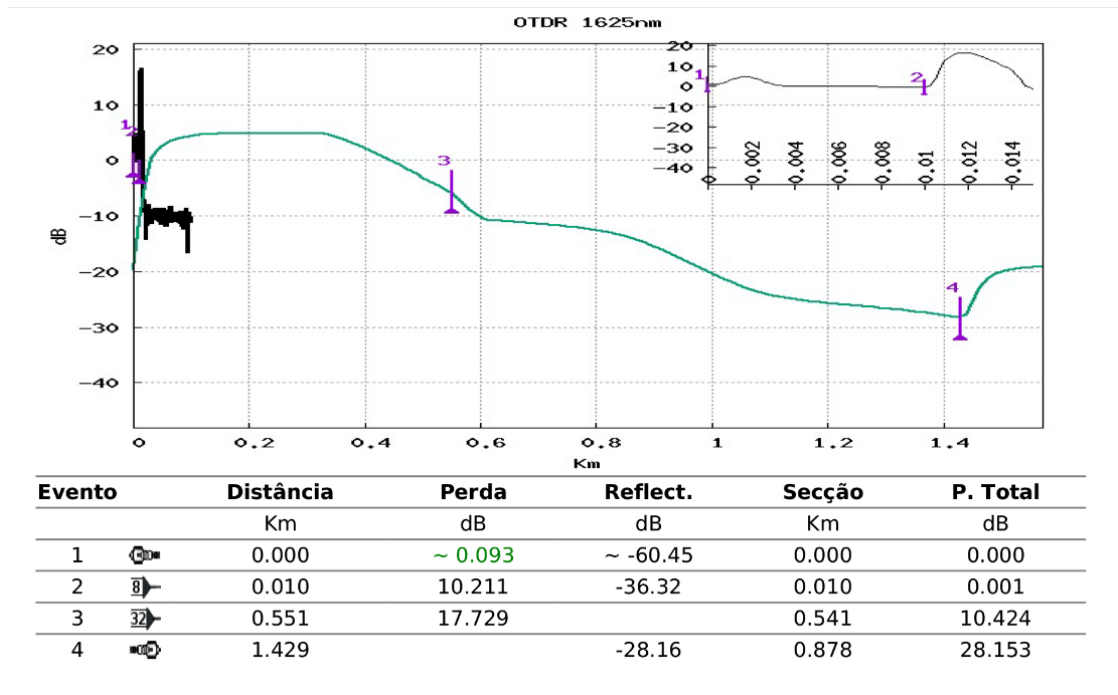
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 50 - Teste fibra 02 provedor Multcon Telecomunicações



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 51 - Teste fibra 03 provedor Multicon Telecomunicações



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Analisando os testes realizados com OTDR nas 3 fibras e, partindo do pressuposto que as premissas para o usuário final navegar com qualidade o sinal deve estar com atenuação entre -13 e -28dBm, verificou-se que se tem duas fibras dentro do parâmetro com uma folga, já a terceira fibra testada apresenta a última emenda acima dos parâmetros permitidos.

Analisando o ambiente de estudo, tem-se que o equipamento em análise apresenta 08 portas SFP C++ e a rede foi construída com cabo de 12 fibras, com isso pode-se simular na ferramenta e verificar quais são as premissas propostas pela ferramenta, conforme ilustrado na Figura 52 abaixo:

Figura 52 – Entrada de dados na ferramenta

Rede Óptica

POTENCIA: C++ QTD PORTAS: 8 QTD FIBRAS: 12

Calcular

Insere os parâmetros de entrada e seleciona: Calcular.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Após o fornecimento dos parâmetros de entrada, o sistema fornece as saídas abaixo. Inicialmente é fornecido a quantidade de CTO's, o potencial de clientes atendidos, conforme Figura 53 abaixo:

Figura 53 – Saída 01 da Ferramenta

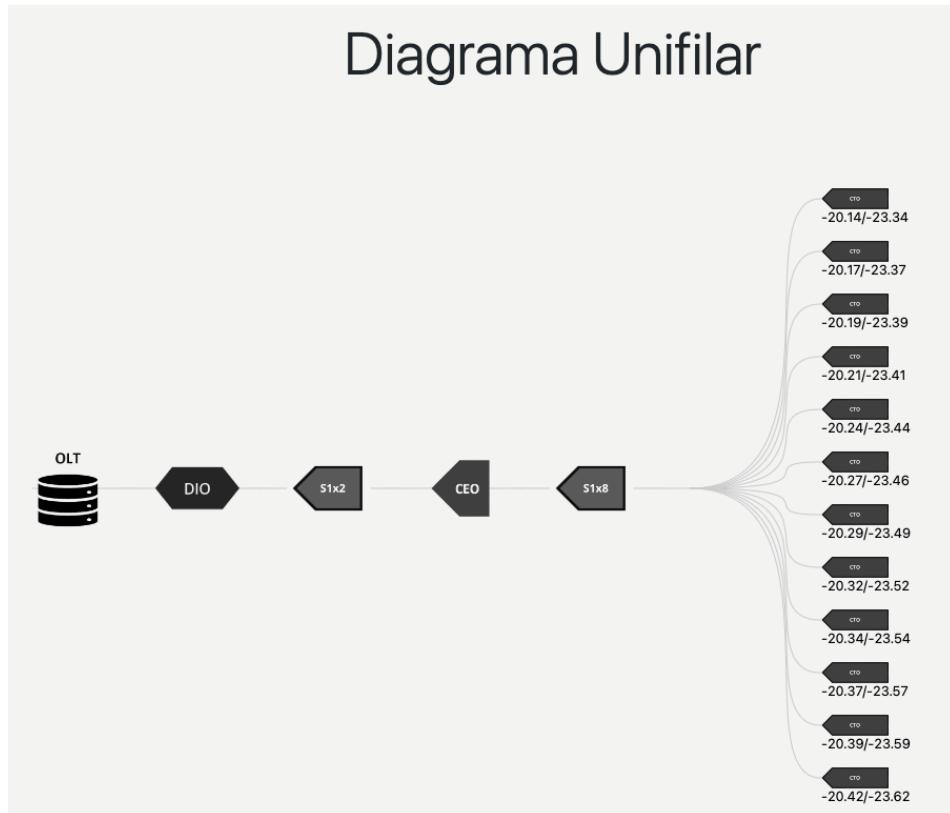
Limite Técnico: -25					
QTD CTOs: 192			Clientes Atendidos: 1536 / 3072		
S1X8	DISTANCIA	FUSÕES	CONECTORES	POTÊNCIA CTO	
				1X8	1X16
1° CTO	0.1	1	1	✓-20.14	✓-23.34
2° CTO	0.1	1	1	✓-20.17	✓-23.37
3° CTO	0.1	1	1	✓-20.19	✓-23.39
4° CTO	0.1	1	1	✓-20.21	✓-23.41
5° CTO	0.1	1	1	✓-20.24	✓-23.44
6° CTO	0.1	1	1	✓-20.27	✓-23.46
7° CTO	0.1	1	1	✓-20.29	✓-23.49
8° CTO	0.1	1	1	✓-20.32	✓-23.52
9° CTO	0.1	1	1	✓-20.34	✓-23.54
10° CTO	0.1	1	1	✓-20.37	✓-23.57
11° CTO	0.1	1	1	✓-20.39	✓-23.59
12° CTO	0.1	1	1	✓-20.42	✓-23.62

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Verificou-se que a ferramenta demonstra a quantidade de CTO's para cada splitter, assim como a estimativa de sinal para cada CTO, tanto para o caso de uma CTO 1x8 (CTO para atendimento de até 8 clientes), assim como de uma CTO 1x16 (CTO para atendimento de até 16 clientes).

Para que o usuário possa ter também uma noção espacial do projeto de rede óptica GPON, conseguiu-se também inserir como saída da ferramenta o diagrama unifilar da rede projetada, item de grande valia para entendimento das etapas de distribuição da rede óptica, bem como para o entendimento do usuário de como se dá o cascadeamento da rede e como o sinal é atenuado durante a inserção de mais elementos na rede, a visualização do diagrama unifilar na ferramenta está visualizado na Figura 54 a seguir:

Figura 54 – Saída 02 da Ferramenta



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Complementarmente para uma visão adicional do usuário, a ferramenta ainda traz uma saída complementar de um orçamento prévio da rede óptica, a partir das saídas aportadas pelo sistema, pode-se verificar o resumo orçamentário na Figura 55.

Figura 55 – Saída 03 da Ferramenta

The screenshot shows the "Orçamento" (Budget) screen. It features a table with two columns: "Item" and "Valor" (Value). The items listed are KM Fibra, Qtd Splitter s1x2, Qtd Splitter s1x8, Qtd de CEO, Qtd de CTO, and Qtd de DIO. The values are calculated based on the quantities entered. A large box on the right displays the "Total" value: R\$ 416147.78.

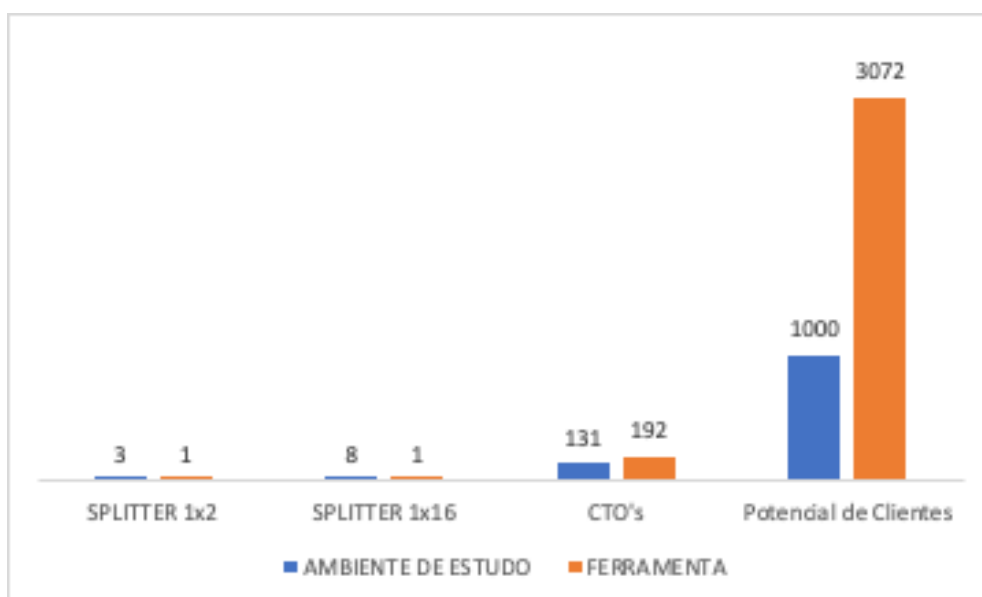
Item	Valor
KM Fibra	2650
Qtd Splitter s1x2	31.76
Qtd Splitter s1x8	46.54
Qtd de CEO	144.78
Qtd de CTO	176.90
Qtd de DIO	359.90
Total	R\$ 416147.78

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4.2 Comparação Ambiente Real x Saídas da Ferramenta

Por conseguinte, ao estudo proposto nesta dissertação, comparou-se os dados da rede GPON do ambiente de estudo real escolhido, provedor de Internet que fica situado no Bairro Nordeste da cidade de Natal/RN, sendo um dos principais players do mercado para este bairro específico, utilizando os dados do inventário de rede elencados no item 3.6.2 deste documento, com os dados obtidos pela simulação da ferramenta desenvolvida nesta pesquisa, onde inicialmente teve-se os seguintes dados, conforme Figura 56:

Figura 56 – Comparativo Real x Ferramenta



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Verificou-se que a Figura 56 demonstra que existem diferenças consideráveis entre os resultados colhidos no ambiente de estudo em comparação com as projeções da ferramenta, discutindo alguns pontos com o proprietário do provedor acerca do estudo, algumas constatações podem ser feitas:

O projeto do ambiente de estudo foi feito de forma segmentada, devido a limitação de recurso do detentor, o projeto foi sendo executado em retalhos, este consideravelmente um fator que pode interferir na maximização do aproveitamento da rede projetada;

O projeto não tinha nenhuma referência ou indicador de mercado para balizar a sua aprovação, foi feito realmente apenas pela visão individual e experiência do projetista;

Apesar de existir questionamentos a ferramenta de forma mais objetiva ao fato dela não ter nenhum parâmetro que considere o georreferenciamento da localidade a ser feito o projeto

da rede óptica, todos os usuários que tiveram contato com a ferramenta e a testaram a consideram intuitiva e que a mesma fornece um ponto de partida para a definição das premissas do projeto, assim como os envolvidos nos testes que ocupam cargo de gestão verificaram que a mesma servirá de forma sólida como um balizador para as aprovações e tomadas de decisões em relação ao projeto.

4.3 Resultados Adicionais

A ferramenta pode ser usada de forma bem abrangente, apesar do estudo ter ressaltado as comparações com o ambiente de estudo, ela se aplica as mais diversas simulações, abrangendo qualquer equipamento sem limitações de quantidades de portas ou quantidade de fibras ópticas primárias, para tal apresentou-se o resultado de mais duas simulações que não tem os mesmos parâmetros de entrada do ambiente de estudo delimitado neste trabalho, mas que podem suportar quaisquer situação de outras companhias existentes no mercado. Na Figura 57 abaixo é possível ver uma simulação com duas portas e com 6 bordas.

Figura 57 – Simulação 02 Portas e 06 Fibras com Porta B+

Rede Óptica

POTENCIA:

B+ ▾

QTD PORTAS:

2

QTD FIBRAS:

6

Calcular

Limite Técnico: -25

QTD CTOs:

24

Clientes Atendidos:

192 / 384

S1X2	DISTANCIA	FUSÕES	CONECTORES	POTÊNCIA CTO	
				1X8	1X16
1° CTO	0.1	1	1	✓ -21.44	✓ -24.64
2° CTO	0.1	1	1	✓ -21.47	✓ -24.67
3° CTO	0.1	1	1	✓ -21.49	✓ -24.69
4° CTO	0.1	1	1	✓ -21.52	✓ -24.71
5° CTO	0.1	1	1	✓ -21.54	✓ -24.74
6° CTO	0.1	1	1	✓ -21.57	✓ -24.77

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 58 – Simulação 04 Portas e 12 Fibras com Porta C+

POTENCIA:

C+

QTD PORTAS:

4

QTD FIBRAS:

12

Calcular

Limite Técnico: -25

QTD CTOs:
48

Clientes Atendidos:
384 / 768

S1X2	DISTANCIA	FUSÕES	CONECTORES	POTÊNCIA CTO	
				1X8	1X16
1º CTO	0.1	1	1	✓-19.94	✓-23.14
2º CTO	0.1	1	1	✓-19.97	✓-23.17
3º CTO	0.1	1	1	✓-19.99	✓-23.19
4º CTO	0.1	1	1	✓-20.02	✓-23.21
5º CTO	0.1	1	1	✓-20.04	✓-23.24
6º CTO	0.1	1	1	✓-20.07	✓-23.27
7º CTO	0.1	1	1	✓-20.09	✓-23.29
8º CTO	0.1	1	1	✓-20.12	✓-23.32
9º CTO	0.1	1	1	✓-20.14	✓-23.34
10º CTO	0.1	1	1	✓-20.17	✓-23.37
11º CTO	0.1	1	1	✓-20.19	✓-23.39
12º CTO	0.1	1	1	✓-20.22	✓-23.42

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5 CONCLUSÕES

Diante de todos os pontos discutidos até o momento, entende-se que o trabalho tem relevância para a linha de pesquisa de telecomunicações e que trará aplicações contundentes ao ambiente de estudo em questão, os resultados demonstrados apresentam visões que minimamente geram reflexões sobre as definições de premissas de projetos de redes ópticas GPON, de como as padronizações relacionadas a projetos podem evoluir na busca de uma otimização de recursos aplicados.

De forma mais concreta, tem-se um resultado mais impactante que pode ser citado que a ferramenta demonstrou que os equipamentos ópticos integrados aos elementos de rede do ambiente de estudo em análise seria a estimativa potencial de clientes atendidos, onde a ferramenta demonstra que o potencial de atendimento seria 3 vezes superior (3072 da simulação versus 1000 do real) ao que o caso real propicia.

Entende-se que só esse ponto já valida a importância deste estudo e motiva a perseguir um aprimoramento da ferramenta, pois corrobora com objetivos importantes da ciência que são aumento de performance e redução de desperdício.

Importante ressaltar que a ferramenta desenvolvida além da aplicação ao ambiente de estudo tratado nessa dissertação tem aplicação abrangente a qualquer ambiente de rede óptica GPON, outro ponto que ressalta a relevância deste estudo, todavia há de se reconhecer que a ferramenta ainda possui carências, podendo destacar como carência principal a ausência de georreferenciamento na distribuição da rede, este ponto de fato tem um impacto considerável para um projeto de rede óptica, ficando esse ponto como principal próximo passo para pesquisas futuras e melhoria a ser implementado na ferramenta.

5.1 Recomendação para trabalhos futuros

- Gerar a funcionalidade de georreferenciamento na ferramenta, possibilitando que ela faça a distribuição das CTO's indicado a coordenada geográfica (latitude e longitude), da mesma;
- Incluir dentro dos cálculos da ferramenta a possibilidade de projetar também splitters desbalanceados;
- Integrar o projeto com a rede das concessionárias sugerindo opções de compartilhamento de postes.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Bruno. **Tráfego da Internet no Brasil aumenta com impacto da covid- 19 e IX.br passa de 11 Tbps.** Teletime. 2020. Disponível em: <https://teletime.com.br/12/05/2020/trafego-da-internet-no-brasil-aumenta-com-impacto-da-covid-19-e-ix-br-passa-de-11-tbps/>. Acesso em: 02 fev. 2021.

AMAZONAS, J. R. A. **Projeto de Sistemas de Comunicações Ópticas.** 1 ed., v. 1. Barueri/SP: Ed. Manole, 2005.

ANATEL **Base de dados.** 2022. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/aceessos/banda-larga-fixa>. Acesso em: 10 de junho de 2022.

ANATEL. **Resolução nº 614, de 28 de maio de 2013.** Regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia. Aprova o Regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia e altera os Anexos I e III do Regulamento de Cobrança de Preço Público pelo Direito de Exploração de Serviços de Telecomunicações e pelo Direito de Exploração de Satélite. Brasília: DF, 2013.

ARAÚJO, H. V. **Projeto de uma rede GPON FTTh implantada na cidade de Santana do Acaraú.** 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2019.

BARBOSA, V. de A. (2020). **Redes óptica passivas (PON).** O futuro das redes e suas tendências mercadológicas. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/futuro-das-redes>. Acesso em: 10 de junho de 2022.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, DF: 1988.

_____. Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997. Dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995. Brasília: DF, 17 1997.

_____. **Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014.** Estabelece princípios, garantias, direitos e deveres para o uso da Internet no Brasil. Brasília: DF, 2014.

CETIC. **TIC Domicílios 2019:** principais resultados. São Paulo: CETIC Brasil, 2020. Disponível em: https://cetic.br/media/analises/tic_domicilios_2019_coletiva_imprensa.pdf. Acesso em: 20 dez. 2020.

CETIC. **TIC Domicílios:** pesquisa sobre o uso de tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros: 2018. São Paulo: CETIC Brasil, 2019. Disponível em: https://cebrap.org.br/wp-content/uploads/2019/10/tic_dom_2018.pdf. Acesso em: 16 dez. 2020.

CGI. **Lei do marco civil da internet no brasil.** 2014. Disponível em: <https://www.cgi.br/lei-do-marco-civil-da-internet-no-brasil/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

CIENTET. (2021). **Rede PON – tudo o que você precisa saber**. Disponível em: <https://www.cianet.com.br/blog/infraestrutura-e-tecnologia/o-que-e-pon-lan-redeopticapassiva/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

COELHO, S. C. R. **Fibra óptica na rede de acesso: tecnologias e soluções**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações) - Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2009.

CONNECTWI. **Caixa de atendimento (CTO)**. 2021. Disponível em: <https://www.connectwi.com.br/fibra-optica/caixa-de-atendimento-cto-1.html>.

DINIS, E. C.; PACÍFICO, R. P. C. **Procedimento prático para a elaboração de uma rede GPON FTTH balanceada**. 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47752>.

EMBARCADOS. **Multiplexação DWDM em Fibras Óticas**. 2020. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/multiplexação-dwdm-em-fibrasopticas/>. Acesso em: 16 dez. 2020.

FERRAUDO, G. **Diferença GPON e EPON: em qual tecnologia investir?** 2019. Disponível em: <https://www.cianet.com.br/blog/infraestrutura-e-tecnologia/diferenca-gpon-e-epon-em-qual-tecnologia-investir>. Acesso em: 16 dez. 2020.

FIBRACEM. **Internet fibra**. 2022. Disponível em: <https://www.fibracem.com/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

FIBRAMERICA. **Rede optica**. 2020. Disponível em: <https://fibramerica.com/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

FIGUEIREIDO, T. **Instrutora de Treinamento**. 2020. Disponível em: <https://www.datacom.com.br/es/blog/40/alcance-fisico-x-alcance-logico-em-redes-gpon>.

FONNET. (2021). **Transceiver**. Disponível em: <https://www.fonnet.com.br/produtos/transceiver/sfpplus/10gbase-sfpplus/>.

FONSECA, J. S. M, G. A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

FURUKAWA, H. **Desafios da infraestrutura de telecomunicações em 2020 e tendências para 2021**. 2020. Disponível em: <https://www.furukawalatam.com/pt-br/conexaofurukawa-detalhes/infraestructura-de-telecomunicaciones-desafios-2020-y-tendencias-2021>.

IBGE. **Estimativas de População**. 2020. Salitre. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/salitre/panorama>.

IBGE. **Internet chega a oito em cada dez domicílios do país**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/materias-especiais/20787-uso-de-internet-televisao-e-celular-no-brasil.html>. Acesso em: 21 dez. 2020.

INEXO. **Anatel 614 de 28 de maio de 2013**. 2013. Disponível em: https://inexo.com.br/?page_id=476. Acesso em: 2 dez. 2022.

INFRANEWS. **Quem somos.** 2022. Disponível em: <https://infranewstelecom.com.br/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

INTELBRÁS. **O que é GPON:** saiba mais sobre essa tecnologia. 2020. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/o-que-e-gpon/>.

ITU. **Gigabit-capable passive optical networks (GPON):** General characteristics. 2020. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en>.

JULIÃO, H. **Acessos em fibra.** 2020. Disponível em: <https://teletime.com.br/26/03/2020/brasil-chega-a-10764-milhoes-de-acessos-em-fibra-na-banda-larga-fixa/>.

KEISER, G. **Comunicações por Fibra Óptica.** 4. Ed. Porto Alegre/RS, Ed. AMGH, 2014.

KILMAR, C. M. **A (des) regulação do setor de telecomunicações e seus Impactos no desenvolvimento socioeconômico no Brasil.** 2019. Dissertação (mestrado) - Curso de direito político e econômico, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2018.

LIMA, F. **Um modelo eficiente para o projeto completo de redes óptica.** Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2010.

MARGARET. **Comprehensive understanding of FTTx Network.** 2014. Disponível em: <https://community.fs.com/blog/a-comprehensive-understanding-of-fttx-network.html>. Acesso em: 09 fev. 2021.

MGN. **ONU FIBERHOME GPON AN5506-04-FG(B).** 2021. Disponível em: <https://www.mgnt.com.br/categoria/fiberhome-onu/607>. Acesso em: 2 dez. 2022.

MORELLATO, F. **Fibras ópticas:** modelos e suas atenuações. 2019. Disponível em: <https://www.blog.ipv7.com.br/tecnica/fibras-opticas-modelos-e-suas-atenuacoes/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

NICBR. **Tráfego total (Todos IX.br).** São Paulo: NICBR, 2020. Disponível em: <https://ix.br/agregado/>. Acesso em: 17 dez. 2020.

OLIVEIRA, P. B. Soluções de Atendimento em Fibra Óptica I e II. **Teleco–Inteligência em Telecomunicações–Seção: Tutorial. Publicado em: nov, 2010.**

PINHEIRO, J. M. S. **Redes ópticas de acesso em telecomunicações.** São Paulo: Elsevier Brasil, 2016.

PONTOISP. **Provedores em rede.** 2022. Disponível em: <https://www.pontoisp.com.br/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

RAMOS, B. C. **Análise da evolução dos sistemas de telecomunicações móvel e fixo no Brasil e desenvolvimento de uma proposta para a prestação de serviço convergente.** 2006. Dissertação (mestrado) - Curso de engenharia elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

RIBEIRO, J. A. J. **Comunicações Ópticas**. 4. ed, São Paulo/SP, Ed. Érica, 2009.

RSFIBER. **Redes internas**. 2022. Disponível em: <https://www.rsfiber.com.br/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

SAAD, W. **Wireless Communications and Networking for Unmanned Aerial Vehicles**. Cambridge University Press, 2020.

SANTOS, E. P. **Análise de vulnerabilidades em protocolos de segurança em redes sem fio domésticas e comerciais de pequeno porte**. 2020.

SANTOS, I. P. Projeto de Implantação de Rede GPON com FTTH. **Anais do XVI Congresso de Estudos em Engenharia Elétrica**, Uberlândia/MG, Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

SILVA, D. L. D.; LIMA, M. A. **A implantação de uma infraestrutura de fibra ótica na empresa Âncora Telecom para uma melhor prestação de serviço aos clientes de Marechal Deodoro-AL**. 2020. Monografia (graduação) - Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Arapiraca, 2020.