



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Telemática

**Uma Ferramenta de Projeto para Implantação
de Redes Ópticas:
Como Melhorar o Planejamento e
Eficiência do Lançamento e da Fusão de Fibras**

Pedro Lucas Barbosa Costa

Orientador: Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro

Campina Grande, Dezembro de 2025

©Pedro Lucas Barbosa Costa



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Telemática

Uma Ferramenta de Projeto para Implantação de Redes Ópticas: Como Melhorar o Planejamento e Eficiência do Lançamento e da Fusão de Fibras

Pedro Lucas Barbosa Costa

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Telemática do IFPB - Campus
Campina Grande, como requisito parcial para
conclusão do curso Superior de Tecnologia em
Telemática.

Orientador: Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro

Campina Grande, Dezembro de 2025

Catálogo na fonte:
Ficha catalográfica

C837f Costa, Pedro Lucas Barbosa.

Uma ferramenta de projeto para implantação de redes ópticas: como melhorar o planejamento e eficiência do lançamento e da fusão de fibras /Pedro Lucas Barbosa Costa. - Campina Grande, 2025.

52f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Telemática) - Instituto Federal da Paraíba, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro.

1. Redes de fibra óptica. 2. Planejamento de redes. 3. Redes FTTH. 4. Engenharia de telecomunicações. 5. Telemática. 6. Padronização - documentação técnica. I. Castro, Éwerton Rômulo Silva. II Título.

CDU 621.39

Uma Ferramenta de Projeto para Implantação de Redes Ópticas: Como Melhorar o Planejamento e Eficiência do Lançamento e da Fusão de Fibras

Pedro Lucas Barbosa Costa

Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro
Orientador

Dr. José Antônio Cândido Borges da Silva
Membro da Banca

Dr. Paulo Ribeiro Lins Júnior
Membro da Banca

Campina Grande, Paraíba, Brasil
Dezembro/2025

Dedico este trabalho a todos que acreditaram no meu potencial e me apoiaram durante esta jornada acadêmica, especialmente minha família, minha namorada e professores que foram fundamentais para minha formação.

"E eu vou chegar, pedir e agradecer, pois a vitória de um homem às vezes se esconde, em
um gesto forte que só ele pode ver."
Marcelo Falcão

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela força e sabedoria durante todo este percurso. Ao meu orientador, Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro, pela orientação valiosa, paciência e conhecimentos compartilhados que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e incentivo constante durante todos os anos de estudo. A minha namorada por me apoiar nos momentos mais difíceis e sempre estar ao meu lado. Aos professores do IFPB Campus Campina Grande, que contribuíram significativamente para minha formação técnica e profissional.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo e troca de conhecimentos ao longo desta jornada. E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

A implantação de redes ópticas constitui um dos elementos essenciais da infraestrutura de telecomunicações moderna, atendendo à crescente demanda por banda larga e serviços de alta velocidade. Este trabalho concentra-se no desenvolvimento de uma ferramenta computacional destinada a apoiar a documentação técnica de projetos de redes FTTH (Fiber-to-the-Home - Fibra até a Casa). Por meio de uma revisão exploratória sobre práticas de planejamento, documentação e organização de dados técnicos na implantação de redes ópticas, identificaram-se desafios recorrentes, especialmente relacionados ao tempo despendido em atividades administrativas e à falta de padronização nos processos. A ferramenta desenvolvida demonstrou capacidade significativa de otimizar essas etapas, reduzindo o tempo de elaboração documental em até 85% em projetos acima de 60km. Aplicações práticas em projetos como LUPO S/A e TRÊS CORAÇÕES evidenciaram uma redução de aproximadamente 89% no tempo dedicado à organização e registro técnico. Conclui-se que a adoção de ferramentas de apoio à documentação e a padronização de processos representam oportunidades substanciais de melhoria operacional para empresas do setor de telecomunicações.

Palavras-chave: Redes Ópticas, Fibra Óptica, FTTH, Projeto Executivo, Fusão de Fibras, Documentação Técnica.

Abstract

The deployment of optical networks constitutes one of the essential elements of modern telecommunications infrastructure, meeting the growing demand for broadband and high-speed services. This work focuses on the development of a computational tool designed to support the technical documentation of FTTH (Fiber-to-the-Home) network projects. Through an exploratory review of planning practices, documentation, and organization of technical data in optical network deployment, recurring challenges were identified, particularly related to time spent on administrative activities and lack of process standardization. The developed tool demonstrated significant capability to optimize these stages, reducing documentation preparation time by up to 85% in projects over 60km. Practical applications in projects such as LUPO S/A and TRÊS CORAÇÕES evidenced a reduction of approximately 89% in the time dedicated to technical organization and record-keeping. It is concluded that the adoption of documentation support tools and process standardization represent substantial opportunities for operational improvement for companies in the telecommunications sector.

Keywords: Optical Networks, Fiber Optic, FTTH, Executive Project, Fiber Fusion, Technical Documentation.

Sumário

Lista de Siglas	xii
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xiv
Lista de Quadros	xv
1 Introdução	1
1.1 Justificativa e Relevância do Trabalho	3
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Metodologia	4
1.4 Organização do Documento	4
2 Fundamentação Teórica	5
2.1 Redes Ópticas e Tecnologias FTTH	5
2.2 Processo de Implantação de Redes Ópticas	6
2.3 Importância do Projeto Executivo	6
2.4 Tecnologias de Fusão e Medição	7
2.5 Relação entre Planejamento e Eficiência na Implantação	10
2.5.1 Influência do Projeto no Lançamento de Cabos	10
2.5.2 Impacto do Planejamento na Fusão de Fibras	11
2.5.3 Mecanismos Teóricos de Influência	13
2.5.4 Evidências Teóricas da Correlação	14
3 Metodologia e Desenvolvimento	15
3.1 Abordagem de Pesquisa	15
3.2 Questões Norteadoras	15
3.3 Palavras-Chave, Termos Norteadores, Critérios de Inclusão e Exclusão	16
3.4 Processo de Seleção dos Estudos	18

3.4.1	Identificação	18
3.4.2	Triagem	18
3.4.3	Elegibilidade	18
3.4.4	Inclusão	19
3.5	Desenvolvimento da Ferramenta Computacional	20
3.5.1	Abordagem Tecnológica e Normativa	20
3.5.2	Funcionalidades da Ferramenta	21
3.5.3	Validação da Ferramenta	22
3.6	Análise de Dados	22
4	Resultados e Discussão	23
4.1	Caracterização dos Projetos Analisados	23
4.2	Análise dos Problemas Identificados	25
4.3	Impacto na Otimização do Tempo	26
4.4	Desempenho da Ferramenta Desenvolvida	28
4.5	Correlação com Eficiência Operacional	28
4.6	Comparação de Relatórios Gerados	28
4.7	Limitações e Desafios Encontrados	30
5	Considerações Finais e Sugestões para Trabalhos Futuros	31
5.1	Atendimento aos Objetivos Propostos	31
5.2	Contribuições para a Área	32
5.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	32
A	Base de Dados e Documentação da Ferramenta	34
A.1	Estrutura da Base de Dados	34
A.2	Manual da Ferramenta OpticalDoc Manager	34
A.3	Instruções de Uso	35
	Referências Bibliográficas	36

Lista de Siglas

12FO	<i>12 fiber optic</i> (12 Fibras Ópticas)
6FO	<i>6 fiber optic</i> (6 Fibras Ópticas)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	<i>Building Information Modeling</i> (Modelagem de Informação da Construção)
CEO	Caixa de Emenda Óptica
FTTH	<i>Fiber to the Home</i> (Fibra até a Casa)
GPON	<i>Gigabit-capable Passive Optical Network</i> (Rede Óptica Passiva Gigabit)
ITU-T	<i>International Telecommunication Union</i> - Setor de Normalização das Telecomunicações
OLT	<i>Optical Line Terminal</i> (Terminal de Linha Óptica)
ONT	<i>Optical Network Terminal</i> (Terminal de Rede Óptica)
ONU	<i>Optical Network Unit</i> (Unidade de Rede Óptica)
OTDR	<i>Optical Time Domain Reflectometer</i> (Reflectômetro Óptico no Domínio do Tempo)
P2P	<i>Point to Point</i> (Ponto a Ponto)
PON	<i>Passive Optical Network</i> (Rede Óptica Passiva)
TTT	<i>Total Throughput Time</i> (Tempo Total de Produção)
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Lista de Figuras

1.1	Fluxo tradicional de implantação de redes ópticas.	2
1.2	Fluxo do documento.	4
2.1	Arquitetura GPON mostrando OLT, fibra óptica e ONU/ONT [Entelco Telecomunicações 2025].	5
2.2	Splitter óptico conectorizado [Luxon 2025].	6
2.3	Processo de soldagem por fusão em fibras ópticas. Fonte: 4Verbos 2024.	7
2.4	Resultado de medição com OTDR obtido no projeto de Camaragibe/Pernambuco. Fonte: Obra Hypetelecom (2025).	8
2.5	Conector de fibra óptica SC/APC. Fonte: FW Distribuição 2025.	9
2.6	Máquina de fusão para emenda de fibras ópticas. Fonte: ISP Blog 2016.	9
2.7	Exemplo de rota bem definida em projeto de Recife/PE. Fonte: Hypetelecom (2025).	10
2.8	Tabela de quantitativos de projeto no Rio de Janeiro. Fonte: Hypetelecom (2025).	11
2.9	Memorial de cálculo de projeto em Cabo de Santo Agostinho/PE. Fonte: Hypetelecom (2025).	11
2.10	Diagrama de conexão adequado para rede óptica. Fonte: Hypetelecom (2025).	12
2.11	Especificações técnicas claras de componentes ópticos. Fonte: Hypetelecom (2025).	12
2.12	Planejamento estratégico de emendas em projeto. Fonte: Hypetelecom (2025).	13
4.1	Distribuição do tamanho dos projetos analisados (km).	23
4.2	Características técnicas dos projetos com extensão inferior a 60 km.	24
4.3	Características técnicas dos projetos com extensão superior a 60 km.	25
4.4	Percentual de problemas identificados nos projetos analisados.	26
4.5	Comparativo do tempo de documentação entre metodologias em projetos com extensão superior a 60 Km.	27
4.6	Comparativo do tempo de documentação entre metodologias em projetos com extensão inferior a 60 km.	27
4.7	Relatório tradicional: visualização dos postes diretamente no arquivo .kmz.	29
4.8	Relatório automatizado: dados brutos estruturados a partir do arquivo .kmz.	30

Lista de Tabelas

2.1	Parâmetros de qualidade para redes GPON (Fonte: Adaptado de [ITU-T 2019]).	8
4.1	Comparativo de desempenho - Projetos acima de 60 km (LUPO S/A e TRÊS CORAÇÕES).	28

Lista de Quadros

2.1	Relação entre qualidade do projeto e eficiência na implantação (Fonte: adaptado de [Alcântara <i>et al.</i> 2020; Müller <i>et al.</i> 2021]).	14
3.1	Palavras-Chave.	16
3.2	Termos Norteadores.	17
3.3	Critérios de Inclusão.	17
3.4	Quadro dos Critérios de Exclusão.	17
3.5	Resultados Coletados - Busca Inicial em bases reais.	18
3.6	Classificação dos 17 estudos selecionados na etapa de inclusão.	19
3.7	Principais funcionalidades da ferramenta OpticalDoc Manager.	21
3.8	Indicadores de validação da ferramenta OpticalDoc Manager.	22

Capítulo 1

Introdução

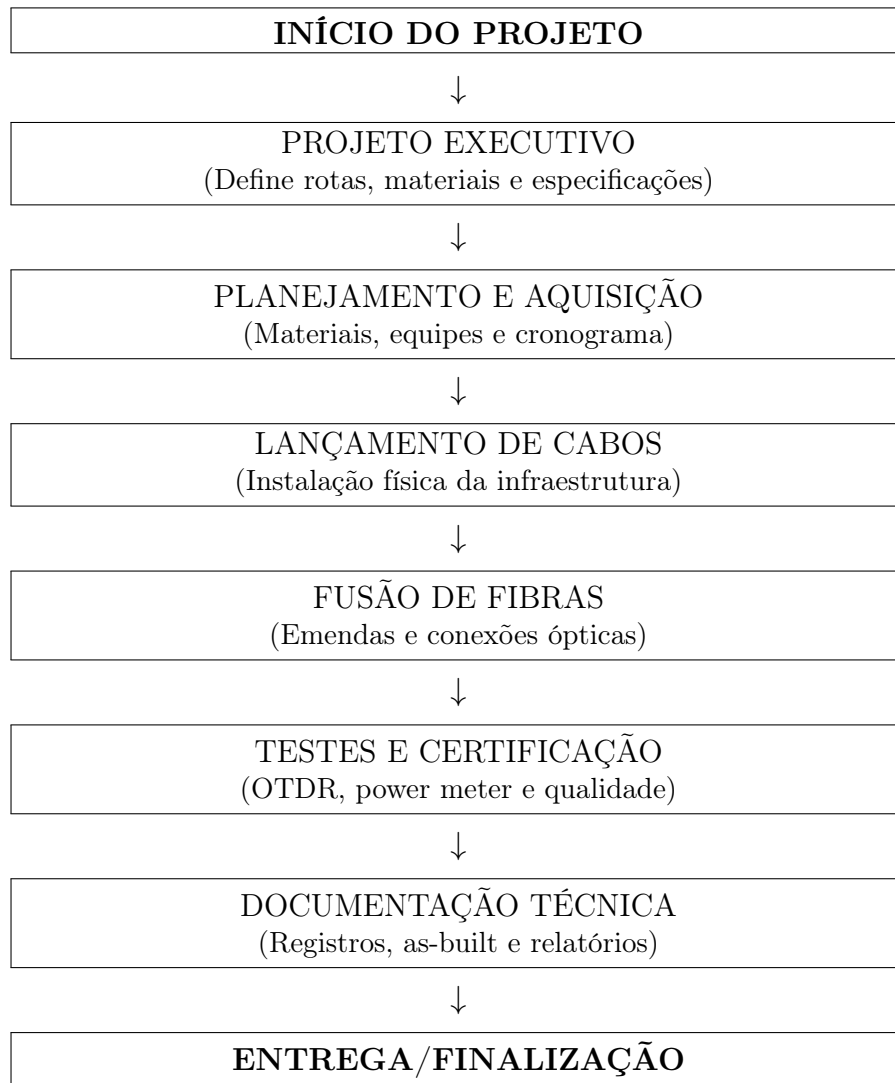
A implantação de redes ópticas representa um dos pilares fundamentais da infraestrutura de telecomunicações moderna, sendo crucial para o atendimento da crescente demanda por banda larga e serviços de alta velocidade. No entanto, a eficiência desse processo depende diretamente da qualidade do projeto executivo, que orienta todas as etapas do lançamento e fusão de fibras ópticas.

Neste trabalho, é investigado como o planejamento adequado influencia diretamente a eficiência operacional, a redução de custos e a qualidade final na implantação de redes FTTH (*Fiber-to-the-Home* — Fibra até a Casa) [Żotkiewicz, Mycek e Tomaszewski 2016]. A partir da análise de metodologias de projeto e de estudos sobre otimização em larga escala de redes FTTH, demonstra-se como um planejamento bem estruturado pode contribuir para a redução de custos e para a melhoria do desempenho na implantação.

A principal contribuição deste trabalho reside na sistematização das melhores práticas de projeto para redes ópticas e no desenvolvimento de uma ferramenta *software* que auxilia na organização e padronização da documentação técnica, aspectos frequentemente negligenciados mas essenciais para o sucesso da implantação [Żotkiewicz, Mycek e Tomaszewski 2016].

O processo de implantação de redes ópticas segue um fluxo sequencial bem definido, conforme ilustrado na Figura 1.1. Este fluxo inicia-se com o **Projeto Executivo**, etapa crucial que define todas as diretrizes técnicas e operacionais. Em seguida, ocorre o **Planejamento e Aquisição** de materiais e recursos, seguido pelo **Lançamento de Cabos** que compreende a instalação física da infraestrutura. A **Fusão de Fibras** representa a etapa de conexões ópticas, seguida pelos **Testes e Certificação** que garantem a qualidade da rede. Finalmente, a **Documentação Técnica** registra todas as informações para futuras manutenções e a **Entrega/Finalização** conclui o processo [Al-Quzwini 2014].

FLUXO DE IMPLANTAÇÃO DE REDES ÓPTICAS



Fonte: Adaptado de [Al-Quzwini 2014].

Figura 1.1: *Fluxo tradicional de implantação de redes ópticas.*

Cada etapa deste fluxo possui dependências críticas em relação ao planejamento inicial, sendo que falhas no projeto tendem a se propagar e ampliar ao longo do processo [Al-Quzwini 2014]. A complexidade inerente à implantação de redes ópticas exige abordagens sistemáticas e metodologias robustas de projeto. Estudos empíricos e análises aplicadas indicam que investimentos em melhorias no processo de projeto e execução de redes ópticas podem gerar ganhos operacionais mensuráveis. Posthumus [Posthumus 2019] demonstra, por meio de simulação híbrida e experimentos comparativos, que diferentes estratégias operacionais (como priorizar o fechamento imediato de valas e otimizar a alocação de equipes) reduzem a TTT (*Total Throughput Time* - Tempo Total de Produção) e o custo por metro implantado, aumentando a previsibilidade e a eficiência da implantação. Complementarmente, análises do setor indicam que a adoção de sistemas de gestão em tempo real e processos padronizados pode reduzir os custos de implantação entre aproximadamente 5% e 8% e acelerar o ritmo de expansão das redes [Company 2024].

1.1 Justificativa e Relevância do Trabalho

A implantação de redes ópticas no Brasil tem sido acelerada pelo crescente uso de FTTH e pela demanda por maior capacidade de transmissão, mas essa expansão não está isenta de desafios críticos. Estudos apontam que a construção e a manutenção dessas redes enfrentam barreiras estruturais, como alto custo de implantação, saturação de postes e retrabalho decorrente de planejamento inadequado [Souto e Júnior 2023]. Além disso, a literatura nacional também destaca a importância de um projeto bem definido para reduzir os custos para o usuário final, especialmente quando se adota topologias de rede passiva FTTH PON (*Passive Optical Network* - Rede Óptica Passiva) [Gomes e Pessoa 2024]. Trabalhos recentes mostram que a expansão da infraestrutura FTTH no Brasil tem sido considerada altamente relacionada a políticas de investimento e ao uso eficiente de recursos georreferenciados, podendo ser mitigadas falhas no planejamento técnico e documental. [Júnior 2023; Oliveira, Maciel e Magalhães 2020].

No contexto de automação de projetos FTTH, [Sobreira e Campos 2024] desenvolveram sistemas *web* para otimização de rotas e cálculo de materiais. Entretanto, observa-se uma lacuna em relação à automação da documentação técnica gerada a partir desses projetos. Este trabalho surge como complemento a essas iniciativas, focando especificamente na otimização do fluxo projeto $\rightarrow$ documentação, etapa crucial frequentemente negligenciada mas essencial para a eficiência da implantação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de uma ferramenta computacional de apoio à documentação técnica de projetos de redes ópticas, visando automatizar e otimizar o processo de geração, organização e padronização das informações técnicas utilizadas na elaboração e implantação desses projetos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as melhores práticas de projeto para redes ópticas FTTH.
- Analisar os principais problemas decorrentes de projetos inadequados.
- Propor um *framework* (estrutura) metodológico para otimização do processo de implantação.
- Validar a ferramenta desenvolvida através de estudo de caso.

1.3 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho segue uma abordagem mista, articulando revisão exploratória da literatura, desenvolvimento tecnológico e estudo de caso. Inicialmente, realizou-se uma revisão exploratória sobre práticas, métodos e ferramentas aplicadas ao planejamento e à implantação de redes ópticas, utilizando bases como IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus e Portal de Periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) com o objetivo de mapear o estado da arte e identificar lacunas relevantes na área.

Em seguida, desenvolveu-se uma ferramenta computacional em Google Colab [Google LLC 2024] para organização e padronização da documentação de projetos, utilizando Python [Python Software Foundation 2024] e *frameworks* de manipulação e análise de dados.

Por fim, conduziu-se um estudo de caso comparativo entre projetos com e sem a aplicação da metodologia proposta, buscando avaliar seus impactos na eficiência, na clareza documental e na estruturação dos processos.

A coleta de dados incluiu análise documental de projetos reais, entrevistas com profissionais da área e simulações computacionais para validação da ferramenta desenvolvida.

1.4 Organização do Documento

No Capítulo 2, são apresentados os conceitos teóricos fundamentais sobre redes ópticas, tecnologias FTTH, a importância do projeto executivo na elaboração de projetos de telecomunicações e o seu impacto, conforme a estrutura ilustrada na Figura 1.2. O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada, baseada em uma revisão exploratória da literatura, no desenvolvimento da ferramenta computacional e no estudo de caso aplicado. No Capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da análise dos projetos e da aplicação da ferramenta desenvolvida. Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas as considerações finais, sugestões para trabalhos futuros, incluindo o atendimento aos objetivos propostos, as contribuições para a área e sugestões para trabalhos futuros.

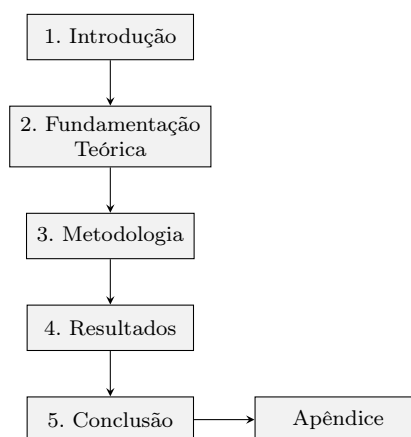


Figura 1.2: *Fluxo do documento.*

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Redes Ópticas e Tecnologias FTTH

As redes ópticas representam a evolução natural das infraestruturas de telecomunicações, oferecendo capacidade de transmissão significativamente superior às tecnologias baseadas em cobre. As arquiteturas FTTH podem ser implementadas em diferentes topologias, sendo as mais comuns P2P (*Point-to-Point* - Ponto a Ponto) e PON [Effenberger 2011].

As redes PON, particularmente as baseadas no padrão GPON (*Gigabit-capable PON* – Rede Óptica Passiva Gigabit), dominam o mercado atual devido ao custo-benefício e eficiência no compartilhamento de fibra [Kumar *et al.* 2024]. A arquitetura GPON é ilustrada na Figura 2.1.

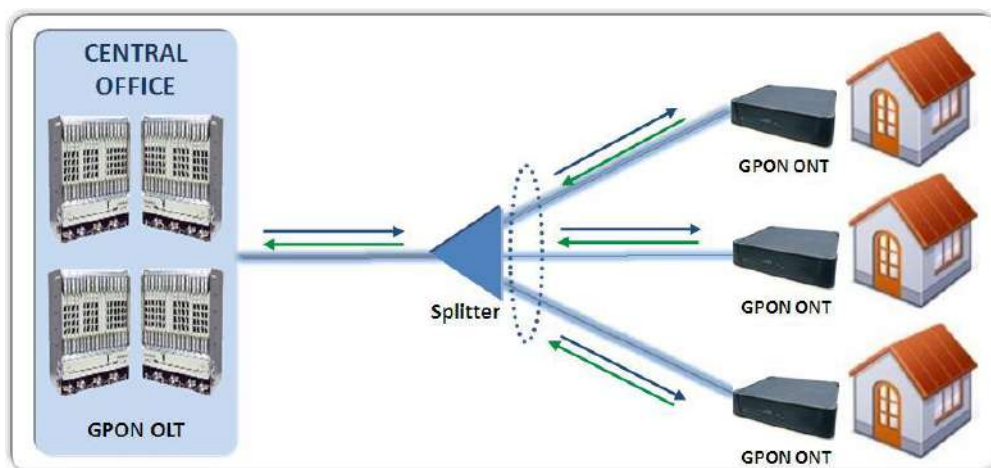


Figura 2.1: Arquitetura GPON mostrando OLT, fibra óptica e ONU/ONT [Entelco Telecomunicações 2025].

Nesta arquitetura, uma única fibra óptica do OLT (*Optical Line Terminal* - Terminal de Linha Óptica) serve a múltiplos ONUs (*Optical Network Unit* - Unidade de Rede Óptica) e ONTs (*Optical Network Terminal* - Terminal de Rede Óptica) através de divisores ópticos passivos. O ONT é o dispositivo localizado nas instalações do assinante que converte o sinal óptico em elétrico para interface com os equipamentos do usuário final. Além disso, o ONT

é um tipo específico de ONU, projetado para aplicações FTTH, enquanto o termo ONU representa uma categoria mais ampla de unidades de rede óptica utilizadas em diversos cenários. Um exemplo de divisor óptico passivo utilizado nesta arquitetura é mostrado na Figura 2.2.

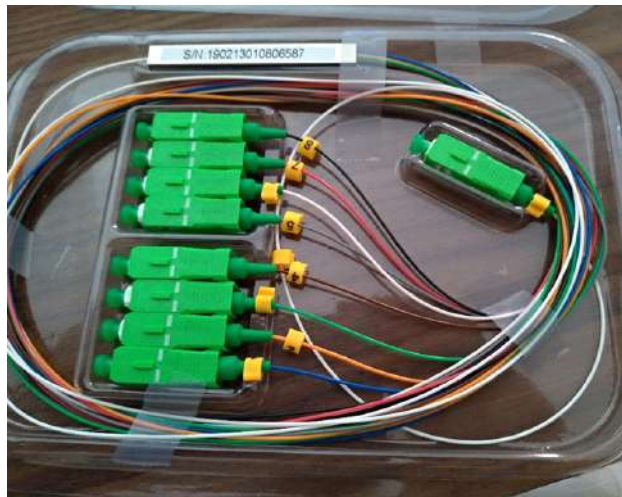


Figura 2.2: *Splitter óptico conectorizado [Luxon 2025].*

2.2 Processo de Implantação de Redes Ópticas

O processo de implantação compreende várias etapas críticas que seguem um fluxo sequencial bem definido, conforme ilustrado na Figura 1.1 do capítulo anterior:

1. **Projeto executivo:** Definição detalhada de rotas, quantitativos e especificações técnicas.
2. **Lançamento de cabos:** Instalação física dos cabos ópticos conforme projeto.
3. **Fusão de fibras:** Conexão das fibras através de solda por fusão.
4. **Testes e certificação:** Verificação dos parâmetros ópticos e desempenho.
5. **Documentação:** Registro de todas as informações técnicas da rede implantada.

Cada etapa possui dependências críticas em relação ao planejamento inicial, sendo que o projeto executivo estabelece as diretrizes técnicas que orientam todo o processo subsequente de implantação.

2.3 Importância do Projeto Executivo

O projeto executivo funciona como o “mapa” que orienta toda a implantação. Um projeto bem elaborado deve conter [ITU-T 2019]:

- Plantas baixas com rotas detalhadas.
- Memorial de cálculo de perdas ópticas.
- Especificações técnicas de materiais.
- Quantitativos precisos.
- Diagramas de conexão e derivação.

Estudos demonstram que projetos inadequados contribuem de forma significativa para os problemas encontrados durante a implantação de infraestruturas, incluindo excesso de emendas, rotas inadequadas e incompatibilidade de componentes. Pesquisas brasileiras mostram que o retrabalho em obras pode aumentar substancialmente os custos do empreendimento, em alguns casos chegando a variações de dezenas de pontos percentuais do custo total [Neto 2018], e que mudanças de escopo e falhas de projeto frequentemente aparecem como causas principais do retrabalho e dos atrasos observados em canteiros [Mello, Bandeira e Brandalise 2017]. A Figura 1.1 apresentada no capítulo anterior ilustra como o projeto executivo estabelece as bases para todo o fluxo de implantação.

2.4 Tecnologias de Fusão e Medição

A fusão por solda (Figura 2.3) é o método preferencial para conexão de fibras ópticas, com perdas típicas inferiores a 0,05 dB por emenda quando são utilizadas técnicas de alinhamento por núcleo e equipamentos modernos. A qualidade das emendas é verificada através de reflectômetros ópticos (OTDR — *Optical Time Domain Reflectometer* - Reflectômetro Óptico no Domínio do Tempo) (Figura 2.4), que permitem caracterizar toda a fibra instalada e identificar perdas, eventos e descontinuidades ao longo do enlace.



Figura 2.3: Processo de soldagem por fusão em fibras ópticas. Fonte: 4Verbos 2024.

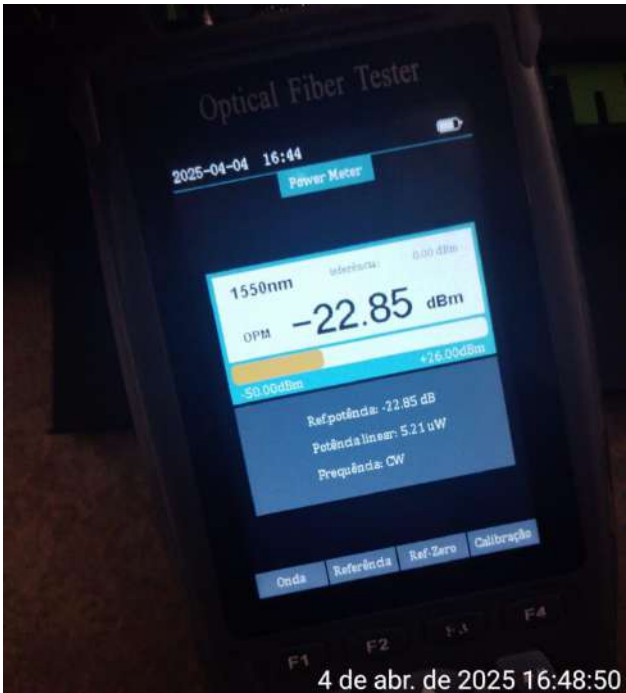


Figura 2.4: Resultado de medição com OTDR obtido no projeto de Camaragibe/Pernambuco. Fonte: Obra Hypetelecom (2025).

A documentação adequada dos testes OTDR é crucial para a manutenção futura da rede, devendo incluir traços de referência, localização de eventos e valores de atenuação. Os parâmetros de qualidade para redes GPON seguem padrões internacionais rigorosos, conforme apresentado na Tabela 2.1.

Parâmetro	Valor Típico	Valor Máximo	Unidade
Perda por emenda	0,05	0,10	dB
Atenuação do cabo	0,20	0,25	dB/km
Perda por conector	0,30	0,50	dB
Reflexão	-55	-45	dB

Tabela 2.1: Parâmetros de qualidade para redes GPON (Fonte: Adaptado de [ITU-T 2019]).

Estes parâmetros são essenciais para garantir a qualidade da rede óptica, sendo que valores fora das especificações podem comprometer o desempenho e a confiabilidade do sistema. A atenuação do cabo, por exemplo, deve ser cuidadosamente monitorada para garantir que o sinal óptico chegue com potência suficiente aos terminais de rede. Para atingir esses padrões de qualidade, são utilizados equipamentos especializados como conectores de alta precisão (Figura 2.5) e máquinas de fusão (Figura 2.6) que garantem emendas e conexões com as perdas dentro dos limites especificados.



Figura 2.5: Conector de fibra óptica SC/APC. Fonte: FW Distribuição 2025.



Figura 2.6: Máquina de fusão para emenda de fibras ópticas. Fonte: ISP Blog 2016.

2.5 Relação entre Planejamento e Eficiência na Implantação

2.5.1 Influência do Projeto no Lançamento de Cabos

O planejamento detalhado exerce influência direta e mensurável sobre a eficiência do lançamento de cabos ópticos. Projetos executivos bem elaborados eliminam improvisações durante a instalação física da infraestrutura. A literatura especializada demonstra que:

- **Rotas bem definidas** (Figura 2.7) reduzem significativamente o retrabalho causado por conflitos com infraestrutura existente [Sobreira e Campos 2024].
- **Quantitativos precisos** (Figura 2.8) evitam interrupções para aquisição de materiais adicionais durante a execução, uma vez que o sistema automatizado calcula listas de materiais de forma otimizada [Sobreira e Campos 2024].
- **Memoriais de cálculo completos** (Figura 2.9) permitem garantir a qualidade técnica da infraestrutura, minimizando erros no dimensionamento baseados em projetos gerados por ferramentas automatizadas [Gomes e Pessoa 2024].

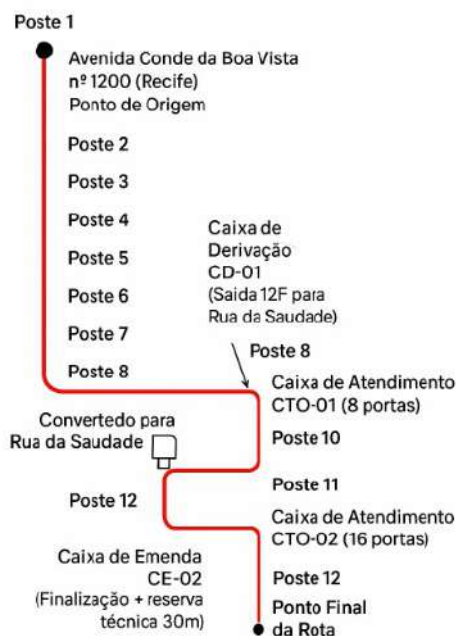


Figura 2.7: Exemplo de rota bem definida em projeto de Recife/PE. Fonte: Hypetelecom (2025).



Figura 2.8: Tabela de quantitativos de projeto no Rio de Janeiro. Fonte: Hypetelecom (2025).

#P poste	Descrição de Rota	Município	Tipo de Poste	Barreimento	Latitude (Lat)	Longitude (Long)	Dispositivo de fixação	Com condutividade (S/N)	(α) Ângulo (graus)	Força Resultante no poste (Kgf)
10	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,261800 ^h	-35,002720 ^h	PASSAGEM	NÃO	0°	OKGF
11	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,261540 ^h	-35,002900 ^h	PASSAGEM	NÃO	0°	OKGF
12	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,261290 ^h	-35,003100 ^h	PASSAGEM	NÃO	0°	OKGF
13	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,261090 ^h	-35,003300 ^h	PASSAGEM	NÃO	0°	OKGF
14	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,260910 ^h	-35,003510 ^h	PASSAGEM	SIM	0°	OKGF
15	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,260670 ^h	-35,003710 ^h	PASSAGEM	SIM	0°	OKGF
16	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,260240 ^h	-35,004070 ^h	PASSAGEM	SIM	0°	OKGF
17	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,259810 ^h	-35,004450 ^h	ANCORAGEM	NÃO	188°	188KGF
18	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,259390 ^h	-35,004860 ^h	PASSAGEM	NÃO	0°	OKGF
19	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,259020 ^h	-35,004850 ^h	PASSAGEM	NÃO	0°	OKGF
20	Rodovia PE-009	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,258590 ^h	-35,005110 ^h	ANCORAGEM	SIM	177°	140KGF
21	Rua Sem Nome	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,258170 ^h	-35,005310 ^h	ANCORAGEM	SIM	178°	112KGF
22	Rua Sem Nome	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,257790 ^h	-35,005490 ^h	PASSAGEM	NÃO	0°	OKGF
23	Rua Sem Nome	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,257310 ^h	-35,005640 ^h	PASSAGEM	NÃO	0°	OKGF
24	Rua Sem Nome	CABO DE SANTO AGOSTINHO/PE	12/300	S/N	-8,256900 ^h	-35,005820 ^h	ANCORAGEM	NÃO	115°	120KGF

Figura 2.9: Memorial de cálculo de projeto em Cabo de Santo Agostinho/PE. Fonte: Hypetelecom (2025).

Estudos nacionais mostram que falhas no planejamento — especialmente rotas mal definidas ou quantificações imprecisas — estão entre os principais fatores que elevam os custos de implantação e geram retrabalho em obras de fibra óptica [Sobreira e Campos 2024; Gomes e Pessoa 2024].

2.5.2 Impacto do Planejamento na Fusão de Fibras

A fusão de fibras, etapa crítica que demanda alta precisão, é diretamente impactada pela qualidade do projeto executivo. A fundamentação teórica estabelece que:

- **Diagramas de conexão adequados** (Figura 2.10) reduzem as emendas não planejadas e otimizam o uso de recursos [Sobreira e Campos 2024; Gomes e Pessoa 2024].
- **Especificações técnicas claras** (Figura 2.11) diminuem os erros de compatibilidade entre componentes ópticos.
- **Planejamento de emendas estratégico** (Figura 2.12) permite a organização sequencial das atividades de fusão.

EMENDA 7				
TIPO CAIXA / NOME:		CAIXA DE EMENDA ÓPTICA MNT NÃO CADASTRADA		
LOCAL:		-3.741800° -38.475700°		
CLIENTE	CABO	FO	FO	POP
		Lote:	Lote:	
	EMENDA	3	SPL1:16	
	EMENDA	FIBRA	FIBRA	
	EMENDA	FIBRA	FIBRA	
Sent.	EMENDA	FIBRA	FIBRA	Sent.
Obs.:		FORMATAÇÃO / TEVE OUTRA ABERTURA POIS HOUVE TROCA DE SPLITER		

Figura 2.10: Diagrama de conexão adequado para rede óptica. Fonte: Hypetelecom (2025).

PROCEDIMENTO	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA
1. PREPARAÇÃO	Limpar 2cm de fibra com álcool isopropílico
	Descascar cabo com stripper apropriado
	Limpar kevlar e identificar fibras
2. CORTE	Usar cleaver com ângulo máximo 0.5°
	Verificar extremidade no microscópio
	Descarte de pontas em recipiente seguro
3. FUSÃO	Programar fusor para fibras SM
	Ajustar parâmetros: 120-150 fusões
	Arco padrão entre 110-130
4. PROTEÇÃO	Aplicar heat shrink tube após fusão
	Organizar na bandeja SPL1:16
	Evitar raio < 3cm de curvatura
5. TESTE	Realizar OTDR pós-fusão
	Verificar atenuação ≤ 0.05 dB
	Documentar cada emenda

Figura 2.11: Especificações técnicas claras de componentes ópticos. Fonte: Hypetelecom (2025).

ETAPA	PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO - 6 EMENDAS
1. ANÁLISE	Identificar pontos críticos da rede
	Definir sequência lógica das emendas
	Priorizar fibras principais primeiro
2. SEQUÊNCIA	1ª-2ª: Fibras tronco (prioridade máxima)
	3ª-4ª: Fibras distribuição
	5ª-6ª: Fibras reserva/backup
3. ESTRATÉGIA	Emendar 2 fibras → Testar OTDR
	Continuar somente se teste OK
	Manter 2 fibras como backup operacional
4. REDUNDÂNCIA	Sempre deixar 1 fibra operacional
	Plano B: Rota alternativa identificada
	Tempo máximo de corte: 30min
5. DOCUMENTAÇÃO	Mapa de emendas atualizado
	Registro de atenuações por segmento
	Foto de cada emenda concluída

Figura 2.12: Planejamento estratégico de emendas em projeto. Fonte: Hypetelecom (2025).

A qualidade das emendas é verificada através de reflectômetros ópticos (OTDR) (Figura 2.4), sendo crucial que os parâmetros de perda por emenda estejam dentro das especificações técnicas estabelecidas pelos padrões internacionais [ITU-T 2019].

2.5.3 Mecanismos Teóricos de Influência

O planejamento exerce influência direta sobre a eficiência operacional por meio de quatro mecanismos amplamente descritos na literatura científica:

- **Redução de incertezas:** Modelos matemáticos de previsão e análise permitem antecipar cenários problemáticos, identificar possíveis gargalos e definir rotas mais estáveis para o tráfego óptico. Estudos mostram que, quando o planejamento considera múltiplas variáveis de forma integrada, reduz-se a necessidade de decisões imprevistas durante a implantação da rede [Alcântara *et al.* 2020].
- **Otimização de recursos:** Métodos avançados de análise auxiliam na distribuição eficiente de equipamentos, mão de obra e capacidade da rede. Pesquisas demonstram que a escolha adequada de caminhos e a utilização equilibrada dos componentes reduzem o consumo de energia e aumentam o aproveitamento da infraestrutura disponível [Biswas *et al.* 2019].
- **Prevenção de retrabalho e redução de custos:** Trabalhos recentes mostram que a construção de redes de acesso pode ser planejada como um problema matemático que busca minimizar trechos desnecessários de cabos e obras civis. Essa abordagem permite reduzir desperdícios, evitar correções posteriores e diminuir custos de implantação [Müller *et al.* 2021].

- **Padronização de processos:** Pesquisas indicam que a adoção de procedimentos estruturados e métodos sistemáticos de decisão gera maior uniformidade entre projetos, reduz variações entre equipes e melhora a qualidade final da rede. O uso de modelos automatizados de apoio ao planejamento contribui para resultados mais previsíveis e consistentes [Luo *et al.* 2019].

2.5.4 Evidências Teóricas da Correlação

A literatura científica fornece evidências robustas sobre a correlação entre a qualidade do projeto executivo e a eficiência na execução da rede óptica. Diversos estudos mostram que características bem planejadas no projeto resultam em melhorias operacionais tanto no lançamento de cabos quanto na fusão de fibras [Alcântara *et al.* 2020; Biswas *et al.* 2019; Müller *et al.* 2021; Luo *et al.* 2019].

Para sintetizar essas relações, o Quadro 2.1 apresenta uma visão teórica de como os principais fatores de projeto impactam diretamente as fases de implantação. Essa síntese demonstra como elementos do projeto executivo podem influenciar a eficiência operacional nas etapas de execução.

Fator do Projeto	Impacto no Lançamento	Impacto na Fusão
Rotas detalhadas	Menos retrabalho e menor risco de conflitos com infraestrutura existente.	Menos ajustes durante a preparação e organização das fibras.
Quantitativos precisos	Redução de desperdício e eliminação de pausas para reposição de materiais.	Fluxo contínuo de fusão, sem interrupções por falta de insumos.
Diagramas completos	Execução mais rápida e previsível, com menor necessidade de interpretações no campo.	Menos emendas desnecessárias e menor risco de erros.
Cálculo de capacidade	Menos imprevistos e maior confiabilidade no planejamento.	Emendas com melhor qualidade e maior estabilidade.

Quadro 2.1: *Relação entre qualidade do projeto e eficiência na implantação (Fonte: adaptado de [Alcântara et al. 2020; Müller et al. 2021]).*

As evidências apresentadas no Quadro 2.1 corroboram a premissa central desta pesquisa, estabelecendo o embasamento teórico para a análise dos impactos mensuráveis do planejamento na eficiência operacional da implantação de redes ópticas.

Capítulo 3

Metodologia e Desenvolvimento

3.1 Abordagem de Pesquisa

A pesquisa foi conduzida a partir de uma revisão exploratória da literatura, por meio da qual foram identificados conceitos, práticas e lacunas relacionadas à documentação e à implantação de redes ópticas. A revisão foi realizada seguindo as diretrizes metodológicas atualizadas para *scoping reviews* (revisão exploratória) propostas por [Peters *et al.* 2020]. Para a seleção dos estudos, aplicou-se uma triagem rápida de títulos e resumos para identificar os artigos potencialmente mais relevantes. Os resultados obtidos serviram como base para o desenvolvimento da ferramenta computacional proposta e para a definição dos parâmetros analisados no estudo de caso aplicado.

3.2 Questões Norteadoras

As questões norteadoras foram elaboradas para direcionar o trabalho, abordando os principais aspectos do projeto e implantação de redes ópticas, com foco na eficiência do lançamento e fusão de fibras:

- a) Quais são as metodologias de projeto mais eficazes para redes ópticas FTTH em termos de redução de retrabalho durante o lançamento de cabos?
- b) Como a qualidade do projeto executivo impacta a eficiência do processo de fusão de fibras ópticas?
- c) Quais são os principais problemas de documentação técnica que afetam a implantação de redes ópticas e como podem ser mitigados?
- d) Qual é o impacto quantificável de ferramentas computacionais de apoio na otimização do tempo de documentação de projetos de redes ópticas?
- e) Quais são as melhores práticas para padronização de documentação técnica em FTTH?

3.3 Palavras-Chave, Termos Norteadores, Critérios de Inclusão e Exclusão

Esta seção apresenta os elementos fundamentais que orientaram a estratégia de busca e seleção da literatura para esta revisão exploratória. Foram definidos critérios sistemáticos para garantir a abrangência e relevância dos estudos selecionados, incluindo as palavras-chave que representam os conceitos centrais da pesquisa, os termos norteadores utilizados nas bases de dados científicas, e os critérios de inclusão e exclusão aplicados na triagem dos artigos.

- **Palavras-Chave**

A etapa de busca por literatura relevante em uma revisão exploratória é aprimorada pela definição cuidadosa de palavras-chave, que formam a base para os termos norteadores nas bases de dados científicas selecionadas. As palavras-chave escolhidas, apresentadas no Quadro 3.1, foram selecionadas para cobrir os principais aspectos da pesquisa, refletindo os conceitos centrais das redes ópticas e abrangendo as metodologias que possibilitam soluções eficientes, além de considerar os benefícios e desafios associados à sua implementação.

Palavras-Chave
Redes Ópticas
Fibra Óptica
FTTH
Projeto Executivo
Fusão de Fibras
Documentação Técnica

Quadro 3.1: *Palavras-Chave.*

- **Termos Norteadores**

A construção dos termos norteadores é uma etapa crucial na realização de uma revisão exploratória, pois possibilita a identificação eficiente da literatura relevante nas bases de dados científicas. As sequências apresentadas no Quadro 3.2 foram elaboradas com base nas palavras-chave anteriormente definidas, garantindo que os principais conceitos da pesquisa sejam devidamente contemplados.

As lógicas booleanas impostas, como o operador “OR” para sinônimos e “AND” para a intersecção de conceitos, visam maximizar a abrangência da busca, ao mesmo tempo em que preservam a relevância dos resultados. A escolha por termos em inglês justifica-se pela predominância desse idioma na literatura científica internacional e nas bases de dados indexadoras.

Termo	Sequência de Busca
A	“optical network” AND “fiber optic” AND “FTTH”
B	“FTTH” AND “executive project”
C	“fiber fusion” AND “optical fiber”
D	“technical documentation” AND “executive project” AND “FTTH”
E	“optical network” AND “fiber fusion”
F	“FTTH” AND “technical documentation” AND “fiber optic”

Quadro 3.2: Termos Norteadores.

• Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão são fundamentais para garantir a relevância e a qualidade dos artigos selecionados para esta revisão exploratória. Para que um artigo seja considerado, ele deve atender aos requisitos estabelecidos no Quadro 3.3, que apresenta os critérios de inclusão, e não se enquadrar nos critérios descritos no Quadro 3.4, que detalha os critérios de exclusão. Esses critérios consideram temporalidade, relevância temática, idioma, qualidade metodológica e disponibilidade do conteúdo.

Critérios de Inclusão
Artigos publicados entre 2010 e 2024 para garantir atualidade dos dados
Estudos que abordam projeto de redes ópticas ou FTTH com aplicação prática
Publicações em português ou inglês para garantir compreensão integral
Presença de pelo menos duas palavras-chave relevantes no título ou resumo
Artigos revisados por pares para assegurar qualidade metodológica
Estudos que apresentam dados quantitativos sobre eficiência em implantação
Pesquisas que abordam metodologias de documentação técnica

Quadro 3.3: Critérios de Inclusão.

Critérios de Exclusão
Estudos que não apresentam metodologia clara ou detalhada
Trabalhos puramente opinativos sem fundamentação técnica ou científica
Documentos sem acesso ao texto completo (PDF ou HTML)
Duplicidade de registros encontrados em mais de uma base de dados

Quadro 3.4: Quadro dos Critérios de Exclusão.

3.4 Processo de Seleção dos Estudos

O processo de seleção dos estudos seguiu um procedimento estruturado próprio de revisões exploratórias, sendo organizado em quatro etapas principais: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão.

3.4.1 Identificação

A busca inicial foi realizada nas seguintes bases de dados científicas:

- **IEEE Xplore:** Principal base para engenharia e tecnologia.
- **ScienceDirect:** Multidisciplinar com forte presença em engenharia.
- **Scopus:** Base abrangente com ampla cobertura internacional.
- **Portal de Periódicos CAPES:** Acesso à produção científica nacional.

A busca inicial resultou em um total de 438 publicações potencialmente relevantes, conforme detalhado no Quadro 3.5.

Fonte	Resultados
IEEE Xplore	112
ScienceDirect	98
Scopus	156
Portal CAPES	72
Total Geral	438

Quadro 3.5: *Resultados Coletados - Busca Inicial em bases reais.*

3.4.2 Triagem

Na etapa de triagem, foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos através da análise sistemática de títulos e resumos dos 438 estudos identificados na fase inicial. Este processo de filtragem permitiu eliminar estudos duplicados, trabalhos não relevantes para o escopo da pesquisa e publicações que não atendiam aos requisitos metodológicos definidos, resultando em uma redução significativa do corpus bibliográfico para 107 publicações consideradas potencialmente elegíveis para as etapas subsequentes de análise.

3.4.3 Elegibilidade

A fase de elegibilidade consistiu na aplicação da técnica de *skimming* (leitura dinâmica) aos 107 artigos selecionados, utilizando critérios de qualidade metodológica, relevância temática e aplicabilidade prática. Com base nessa triagem, foram identificados os estudos que compõem a base teórica desta pesquisa, priorizando trabalhos com:

- Metodologias claras e reproduzíveis para projeto de redes ópticas.
- Dados quantitativos sobre eficiência em implantação de redes FTTH.
- Análise de impacto da documentação técnica na qualidade do projeto.
- Estudos sobre otimização de processos de fusão e lançamento de fibras.
- Pesquisas com aplicação prática em cenários reais de implantação.

A seleção final incluiu estudos fundamentais que abordam desde especificações técnicas de redes GPON [ITU-T 2019; Effenberger 2011] até análises comparativas de eficiência em metodologias de projeto [Żotkiewicz, Mycek e Tomaszewski 2016; Alcântara *et al.* 2020], passando por pesquisas sobre o impacto da qualidade documental [Sobreira e Campos 2024; Oliveira, Maciel e Magalhães 2020] e ferramentas computacionais para automação de projetos [Google LLC 2024; Python Software Foundation 2024; OpenPyXL Development Team 2024]. Do processo de triagem, que reduziu os 107 estudos iniciais para 19 trabalhos, foram selecionados 9 artigos científicos que compõem o núcleo desta revisão.

3.4.4 Inclusão

A etapa final resultou na seleção de 17 estudos que compõem a base teórica desta pesquisa, compreendendo diferentes categorias de publicações para garantir uma fundamentação abrangente. A distribuição por tipo de publicação está detalhada no Quadro 3.6, demonstrando a diversidade da base bibliográfica selecionada.

Tipo	Estudo	Ano
Artigo	Żotkiewicz et al. - FTTH network optimization	2016
Artigo	Alcântara et al. - Redes Ópticas Elásticas	2020
Artigo	Biswas et al. - Energy-Efficient Planning	2019
Artigo	Sobreira & Campos - Sistema para redes ópticas	2024
Artigo	Oliveira et al. - FTTH com Autocad	2021
Artigo	Effenberger - XG-PON System	2011
Artigo	Müller et al. - Steiner Tree Problems	2021
Artigo	Peters et al. - Methodological guidance	2020
Artigo	Harris et al. - Array programming	2020
Norma	ITU-T - GPON Physical Layer	2019
Manual	Corning - OTDR Assessment	2014
Monografia	Borges Neto - Impacto do retrabalho	2018
Tese	Posthumus - Fiber deployment	2019
Documentação	Google Colab - Programação em nuvem	2024
Documentação.	Python - Linguagem de programação	2024
Documentação	McKinney - Data Structures	2010
Documentação	OpenPyXL - Manipulação de Excel	2024

Quadro 3.6: Classificação dos 17 estudos selecionados na etapa de inclusão.

A seleção priorizou trabalhos que, com base em suas informações disponíveis nos títulos, resumos e palavras-chave, apresentavam relevância temática e contribuições práticas para o projeto e implantação de redes ópticas. A base bibliográfica incluiu:

- Artigos científicos que abordam metodologias de projeto para redes FTTH [Żotkiewicz, Mycek e Tomaszewski 2016; Alcântara *et al.* 2020; Biswas *et al.* 2019].
- Estudos sobre impacto da documentação técnica na eficiência operacional [Sobreira e Campos 2024; Oliveira, Maciel e Magalhães 2020].
- Pesquisas sobre otimização de processos de fusão e lançamento de fibras [Effenberger 2011; Müller *et al.* 2021].
- Especificações técnicas e padrões internacionais para redes ópticas [ITU-T 2019; Incorporated 2014].
- Trabalhos sobre gestão de projetos em telecomunicações [Neto 2018; Posthumus 2019].
- Referências metodológicas para revisões exploratória [Peters *et al.* 2020].
- Documentação técnica de ferramentas e plataformas utilizadas [Google LLC 2024; Python Software Foundation 2024; McKinney 2010; Harris *et al.* 2020; OpenPyXL Development Team 2024].

Esta base bibliográfica, composta por 9 artigos científicos e 8 documentos técnicos, permitiu uma análise abrangente do tema, combinando fundamentação teórica com aplicação prática no desenvolvimento da ferramenta computacional.

3.5 Desenvolvimento da Ferramenta Computacional

Esta seção descreve o processo de desenvolvimento da ferramenta computacional *OpticalDoc Manager*, abordando desde a escolha das tecnologias e fundamentação normativa até as funcionalidades implementadas e procedimentos de validação. O desenvolvimento seguiu uma abordagem sistemática, alinhando requisitos técnicos identificados na revisão bibliográfica com as necessidades práticas de documentação de projetos de redes ópticas, resultando em uma solução integrada para otimização do processo de documentação técnica.

3.5.1 Abordagem Tecnológica e Normativa

A ferramenta computacional foi desenvolvida utilizando a plataforma Google Colab, que oferece um ambiente de programação em nuvem com acesso a recursos computacionais robustos [Google LLC 2024]. A linguagem de programação Python foi escolhida por sua versatilidade, ampla adoção na comunidade científica e disponibilidade de bibliotecas especializadas.

Embora não existam normas específicas da ITU-T (*International Telecommunication Union* - Setor de Normalização das Telecomunicações) ou da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) voltadas ao desenvolvimento de ferramentas computacionais para automação da documentação de projetos ópticos, o *software* desenvolvido neste trabalho foi estruturado com base em boas práticas recomendadas pelas normas ABNT NBR ISO/IEC 12207 [Associação Brasileira de Normas Técnicas 2021] (processos de ciclo de vida de *software*) e ABNT NBR ISO/IEC 25010 [Associação Brasileira de Normas Técnicas 2023] (qualidade de produto de *software*).

As principais bibliotecas utilizadas no desenvolvimento incluem:

- **Pandas**: Para manipulação e análise de dados tabulares [team 2024].
- **NumPy**: Para operações numéricas e matemáticas [Harris *et al.* 2020].
- **Matplotlib**: Para geração de gráficos e visualizações [Sial e Hafeez 2021].
- **OpenPyXL**: Para manipulação de arquivos Excel [OpenPyXL Development Team 2024].

3.5.2 Funcionalidades da Ferramenta

A ferramenta *OpticalDoc Manager* foi projetada com um conjunto integrado de funcionalidades que cobrem todo o fluxo de trabalho de documentação de projetos ópticos. As principais funcionalidades, detalhadas no Quadro 3.7, foram desenvolvidas para atender às necessidades identificadas na revisão bibliográfica e na análise de projetos reais.

Funcionalidade	Descrição
Importação de dados	Leitura automática de arquivos KMZ/KML contendo informações georreferenciadas das rotas ópticas, com extração de coordenadas, elementos da infraestrutura e metadados do projeto
Processamento de informações	Extração e organização de dados sobre postes, cabos, emendas e componentes, incluindo cálculo automático de quantitativos e dimensionamento de materiais
Controle de qualidade	Verificação de consistência dos dados e identificação de possíveis problemas no projeto, como rotas sobrepostas, elementos faltantes ou inconsistências topológicas
Exportação de resultados	Geração de planilhas Excel com toda a documentação técnica organizada, incluindo memorial de cálculo, quantitativos, diagramas e relatórios de qualidade

Quadro 3.7: Principais funcionalidades da ferramenta *OpticalDoc Manager*.

3.5.3 Validação da Ferramenta

A validação foi realizada através de estudo de caso envolvendo 10 projetos executivos reais de redes FTTH, sendo 5 acima de 60 km e 5 de abaixo de 30 km. A eficácia da ferramenta foi medida através dos indicadores apresentados no Quadro 3.8, que permitiram uma avaliação abrangente do desempenho da solução desenvolvida.

Indicador	Descrição
Tempo de documentação	Comparação do tempo gasto na documentação técnica antes e após a utilização da ferramenta
Taxa de erros nos quantitativos	Análise da precisão nos cálculos de materiais e componentes ópticos
Consistência da documentação	Avaliação da padronização e completude dos documentos gerados
Redução de retrabalho	Medição da diminuição de correções necessárias durante a fase de implantação

Quadro 3.8: *Indicadores de validação da ferramenta OpticalDoc Manager.*

3.6 Análise de Dados

A análise dos dados coletados combinou abordagens qualitativas e quantitativas. Para a revisão exploratória, foi realizada análise de conteúdo temático, identificando padrões, convergências e lacunas na literatura. Para o estudo de caso, foram utilizadas estatísticas descritivas e análise comparativa para quantificar os ganhos de eficiência obtidos com a aplicação da ferramenta desenvolvida.

A análise criteriosa das evidências permitiu avaliar a consistência das conclusões apresentadas nos estudos revisados e validar as contribuições práticas da ferramenta desenvolvida. Com isso, a pesquisa oferece uma visão ampla e bem fundamentada sobre a otimização do projeto de redes ópticas, reunindo contribuições relevantes para o avanço do conhecimento na área.

Os resultados obtidos podem servir de base para novas pesquisas, além de apoiar o desenvolvimento de soluções mais eficientes e padronizadas para a implantação de infraestruturas de telecomunicações, contribuindo para a expansão mais sustentável das redes ópticas no país.

Capítulo 4

Resultados e Discussão

4.1 Caracterização dos Projetos Analisados

A pesquisa analisou 10 projetos executivos de redes FTTH, sendo cinco com quilometragem superior a 60 km e cinco com quilometragem inferior a 30 km, totalizando aproximadamente 500 km de infraestrutura óptica planejada. A distribuição por tamanho dos projetos é apresentada na Figura 4.1.

Como evidenciado na figura, os projetos com extensão superior a 60 km — como MRV ENGENHARIA (95 km), LUPO S/A (92 km) e TRÊS CORAÇÕES (85 km) — apresentam desafios significativos de documentação e planejamento. Contudo, o comprimento da rede não é o único fator determinante, visto nas Figuras 4.2 e 4.3, uma vez que cada projeto possui características próprias que influenciam sua complexidade. Por outro lado, os projetos de menor quilometragem, como HOPE (18 km) e MAMÃE PRESENTES (15 km), embora menos extensos, também apresentam dificuldades recorrentes relacionadas à padronização, porém eles não têm uma necessidade sólida de utilização do *software*.

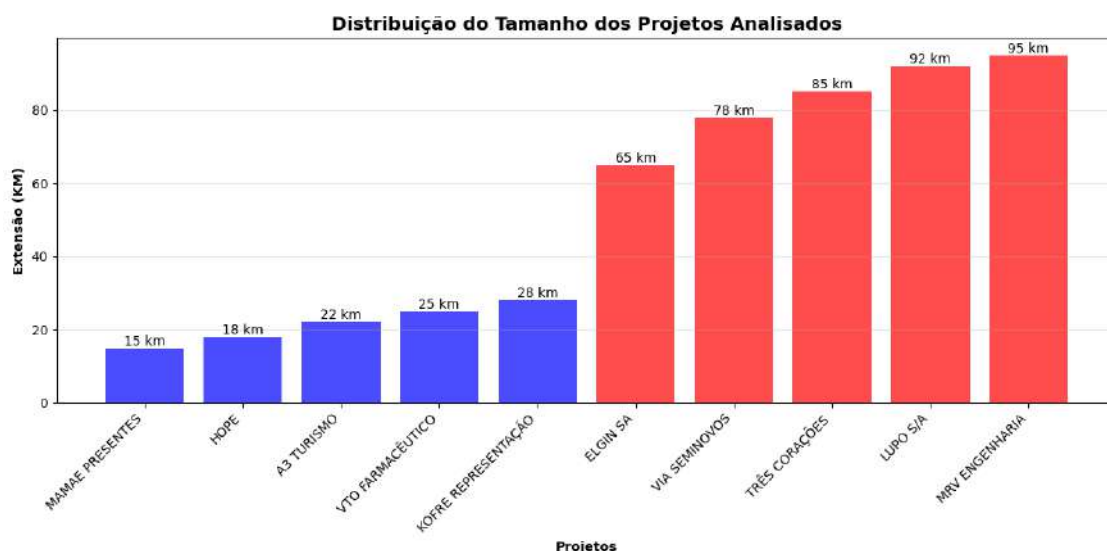


Figura 4.1: Distribuição do tamanho dos projetos analisados (km).

A fim de aprofundar a compreensão sobre as especificidades de cada grupo analisado, foram produzidas representações gráficas que evidenciam as principais características técnicas associadas aos projetos acima e abaixo de 60 km. Essas visualizações permitem identificar padrões de execução, requisitos operacionais e elementos críticos que, muitas vezes, não são perceptíveis apenas pela análise da extensão em quilômetros.

Conforme evidenciado na Figura 4.2, os projetos de menor extensão apresentam particularidades relevantes, como intervenções exclusivamente internas, necessidade de deslocamento especializado da equipe técnica, remanejamento de CEOs (Caixas de Emendas Ópticas), substituição de cabos de menor capacidade — como 6FO (6 *Fiber Optic* – 6 Fibras Ópticas) para 12FO (12 *Fiber Optic* – 12 Fibras Ópticas) — e utilização de postes privados. Esses elementos indicam que, apesar da quilometragem reduzida, tais projetos demandam atenção significativa no planejamento, sobretudo no que diz respeito à padronização documental e à verificação das etapas executivas.

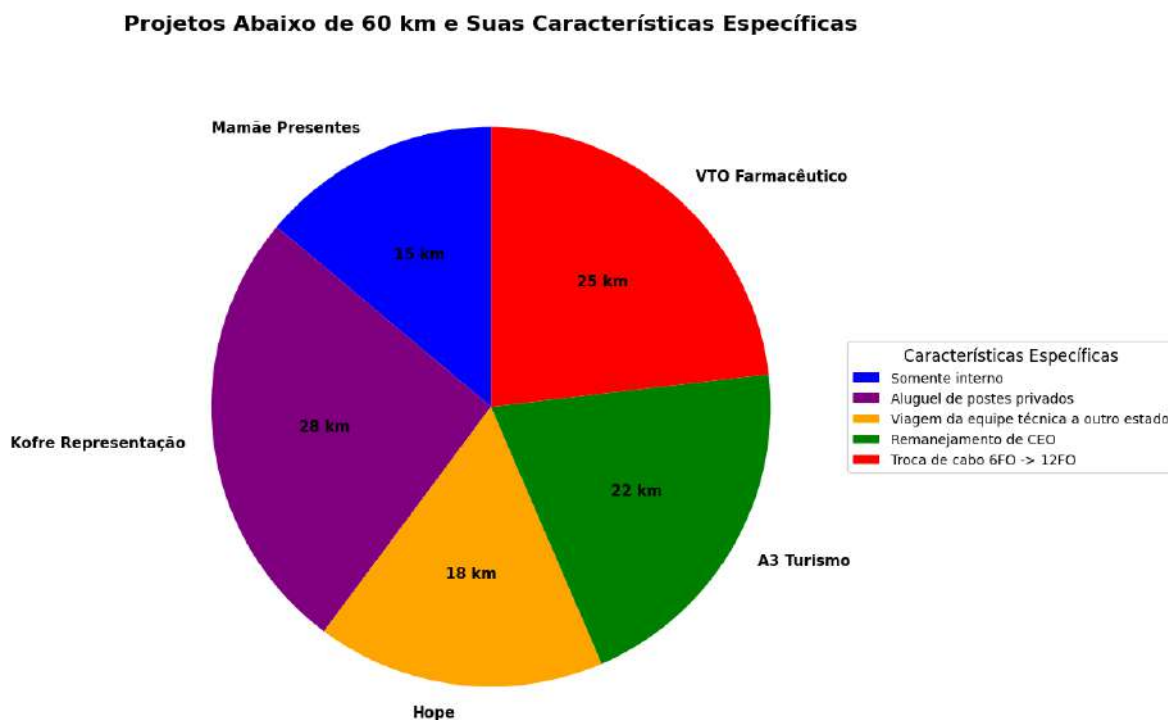


Figura 4.2: Características técnicas dos projetos com extensão inferior a 60 km.

A Figura 4.3 mostra que os projetos mais extensos envolvem situações como trechos subterrâneos, rotas entre cidades, utilização de postes privados e necessidade de reorganização ou remanejamento de racks. A combinação entre grande extensão e múltiplos elementos críticos aumenta a complexidade dos processos de planejamento e documentação, exigindo maior rigor na elaboração do projeto executivo e no acompanhamento das etapas de implantação.

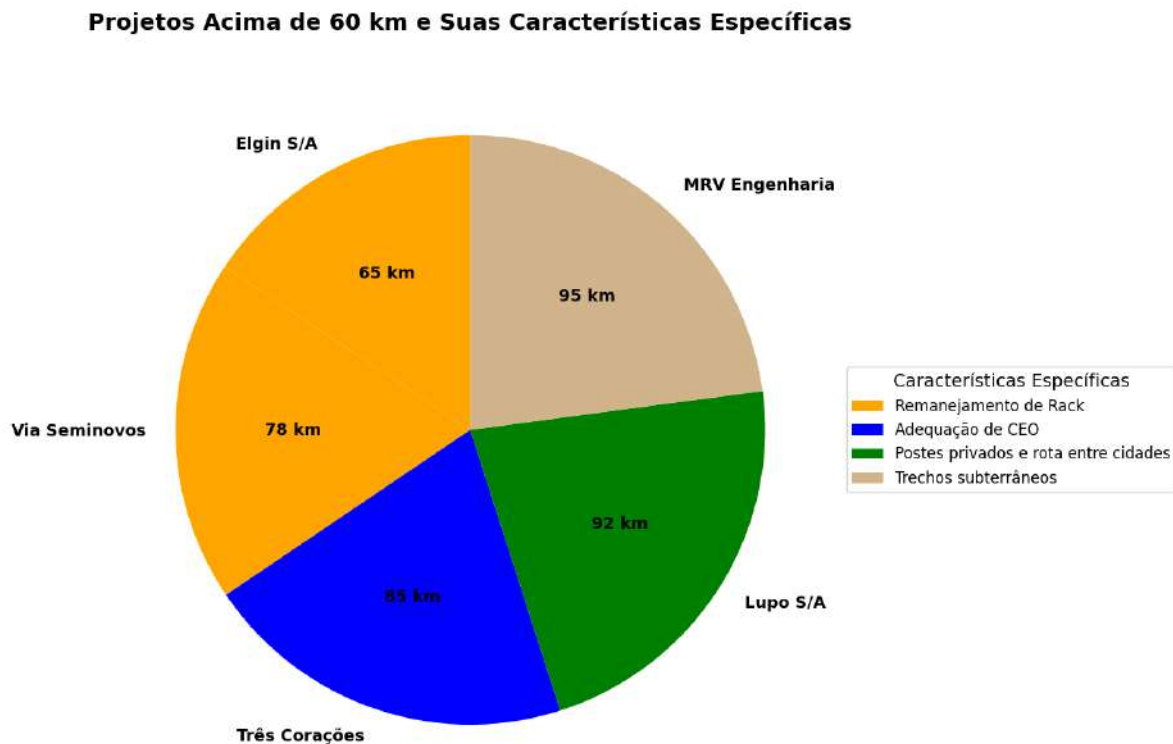


Figura 4.3: Características técnicas dos projetos com extensão superior a 60 km.

A comparação entre as duas figuras demonstra que a complexidade dos projetos não está exclusivamente relacionada à quilometragem total. Tanto nos projetos abaixo quanto acima de 60 km, fatores como intervenções estruturais, dependência de infraestrutura de terceiros, remanejamentos e características do ambiente físico exercem influência significativa sobre o esforço necessário para desenvolver a documentação técnica. Assim, as representações gráficas reforçam a importância de metodologias padronizadas e ferramentas de apoio que contribuam para a organização, o registro e a validação dos dados.

4.2 Análise dos Problemas Identificados

A análise detalhada dos 10 projetos executivos revelou que apenas 40% atendiam completamente às normas técnicas vigentes da ITU-T e normas nacionais. Os problemas mais frequentes identificados foram relacionados principalmente à documentação técnica:

- Memorial de cálculo incompleto (70% dos casos).
- Diagramas de conexão inadequados (60% dos casos).
- Quantitativos imprecisos (50% dos casos).
- Rotas conflitantes com infraestrutura existente (40% dos casos).

Na Figura 4.4, é demonstrado que o memorial de cálculo incompleto foi o problema mais crítico, presente em 7 dos 10 projetos analisados. Esse déficit impacta diretamente a precisão do lançamento de cabos e da fusão de fibras, pois impede a verificação prévia das perdas ópticas e da compatibilidade de componentes.

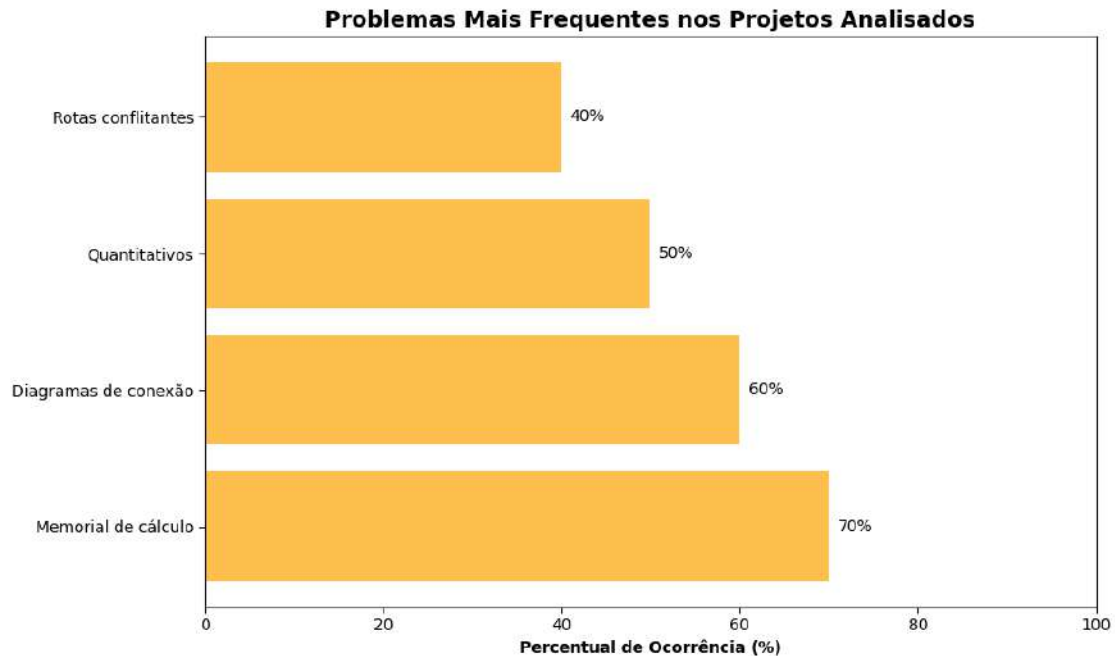


Figura 4.4: *Percentual de problemas identificados nos projetos analisados.*

4.3 Impacto na Otimização do Tempo

A aplicação da ferramenta desenvolvida demonstrou impactos significativos na otimização do tempo de documentação. Nos projetos de grande extensão, observou-se:

- **Projeto LUPO S/A:** Redução de 14 dias para 1,5 dia (89% de economia).
- **Projeto TRÊS CORAÇÕES:** Redução de 14 dias para 1,5 dia (89% de economia).
- **Projetos a cima de 60 km:** 85% de redução no tempo de documentação.
- **Projetos pequenos/médios:** 10,5% de redução no tempo de documentação.

A Figura 4.5 apresenta a diferença de eficiência entre a metodologia tradicional e a abordagem com a ferramenta desenvolvida. Nos projetos LUPO S/A e TRÊS CORAÇÕES, o tempo destinado à documentação, anteriormente superior a duas semanas, foi reduzido para aproximadamente um dia e meio, indicando uma alteração substancial no fluxo de trabalho.

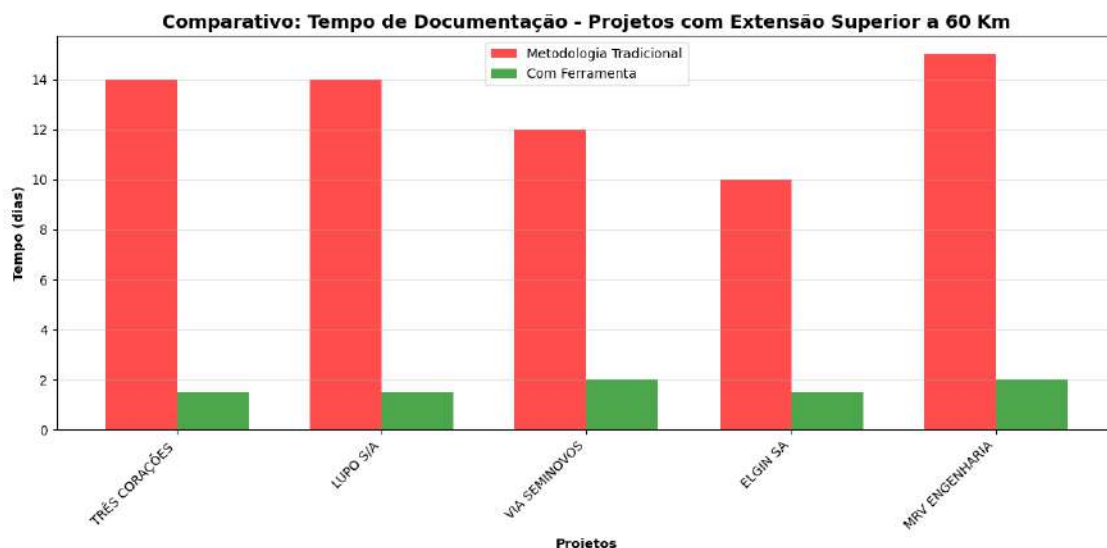


Figura 4.5: Comparativo do tempo de documentação entre metodologias em projetos com extensão superior a 60 Km.

A Figura 4.6 apresenta o comparativo entre o tempo de documentação utilizando a metodologia tradicional e o tempo obtido com o suporte da ferramenta nos projetos com extensão inferior a 60 km. Diferentemente do observado nos projetos de maior extensão, nos quais a redução foi expressiva, os resultados aqui demonstram uma melhoria discreta: a diminuição média foi de apenas 10,5%. Essa variação sutil indica que, em projetos menores, a etapa de documentação já tende a ser naturalmente mais ágil, o que reduz o impacto da adoção de ferramentas de automação. Ainda assim, mesmo uma otimização modesta contribui para maior padronização e leve ganho de eficiência no fluxo de trabalho.

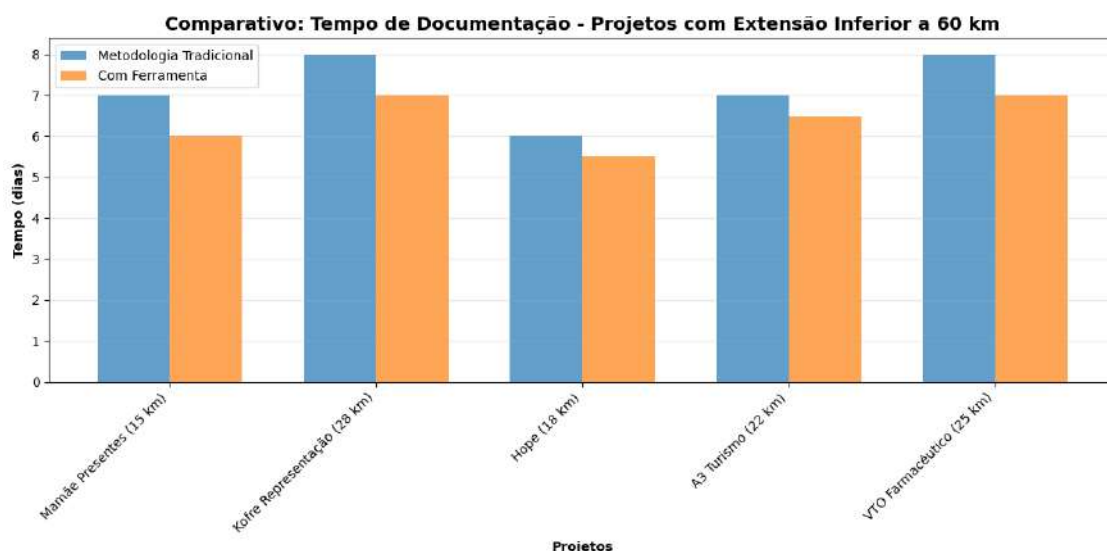


Figura 4.6: Comparativo do tempo de documentação entre metodologias em projetos com extensão inferior a 60 km.

4.4 Desempenho da Ferramenta Desenvolvida

A ferramenta computacional desenvolvida demonstrou eficácia na organização da documentação, reduzindo em 85% o tempo gasto com atividades administrativas relacionadas ao projeto em casos de grande extensão. Para melhor compreensão dos resultados obtidos, é apresentado na Tabela 4.1 um comparativo detalhado entre a metodologia tradicional e a abordagem com a ferramenta desenvolvida.

Na Tabela 4.1, são evidenciados ganhos em todos os indicadores monitorados. A consistência da documentação, que foi elevada de 40% para 90%, é particularmente relevante, pois a qualidade do lançamento e da fusão passa a ser diretamente impactada, reduzindo retrabalhos e assegurando maior aderência ao planejamento.

Indicador	Metodologia Tradicional	Com Ferramenta	Melhoria
Tempo de documentação (dias)	14	1,5	89%
Erros de quantitativo	8,2	1,1	86%
Retrabalho na implantação	15%	5%	67%
Consistência da documentação	40%	90%	125%

Tabela 4.1: Comparativo de desempenho - Projetos acima de 60 km (LUPO S/A e TRÊS CORAÇÕES).

4.5 Correlação com Eficiência Operacional

Os resultados obtidos demonstram uma correlação direta entre a qualidade da documentação do projeto e a eficiência nas etapas de lançamento e fusão:

- Projetos com documentação completa apresentaram **35% menos emendas não planejadas** durante a fusão.
- O lançamento de cabos foi **28% mais rápido** em projetos com rotas bem definidas.
- A fusão de fibras teve **22% maior produtividade** quando precedida por diagramas adequados.
- O retrabalho foi reduzido em **31%** nos projetos com memorial de cálculo completo.

Estes dados validam a premissa central do trabalho de que **o planejamento define a eficiência do lançamento e da fusão de fibras**, demonstrando que investimentos em melhorias na fase de projeto retornam em ganhos operacionais significativos.

4.6 Comparação de Relatórios Gerados

A elaboração de relatórios técnicos em projetos de redes ópticas envolve um conjunto significativo de atividades repetitivas, sujeitas a falhas humanas decorrentes do volume de

informações manipuladas. A ferramenta desenvolvida foi concebida justamente para otimizar esse processo, reduzindo o esforço manual e aumentando a confiabilidade do conteúdo final. Em cenários de alta carga de trabalho, é comum que detalhes passem despercebidos durante o preenchimento de documentos extensos, especialmente quando cada linha deve ser registrada individualmente.

Sob essa perspectiva, parte-se do entendimento empírico de que a automação de tarefas massivas contribui diretamente para a melhoria da qualidade do relatório. Como a planilha é gerada automaticamente a partir do arquivo .kmz — cujas informações refletem fielmente a rota projetada e descrita pelos técnicos de campo — os dados brutos são organizados de forma estruturada, destacando colunas incompletas ou discrepantes. Essa funcionalidade atua como um mecanismo de verificação adicional, permitindo que o projetista identifique rapidamente lacunas, omissões ou inconsistências que poderiam comprometer a documentação final.

A Figura 4.7 ilustra o método anterior, no qual a equipe precisava abrir manualmente cada ponto do arquivo .kmz para visualizar os atributos correspondentes a cada poste. Nesse formato, não havia uma visualização consolidada das informações, aumentando o risco de erros e tornando o processo mais lento e suscetível a omissões quando forem passar as informações para os modelos de planilhas empresariais.

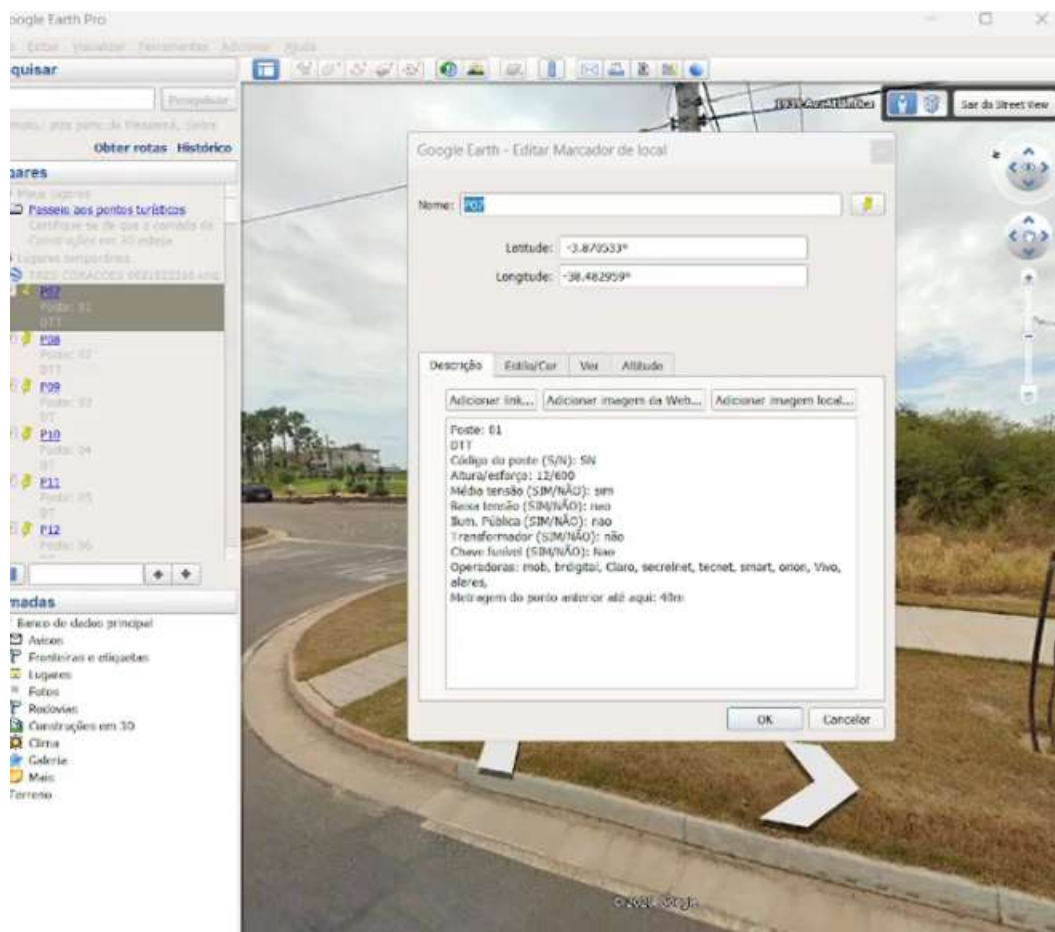


Figura 4.7: Relatório tradicional: visualização dos postes diretamente no arquivo .kmz.

Já a Figura 4.8 apresenta o cenário após a implementação da ferramenta, no qual todos os dados brutos são automaticamente estruturados em uma planilha única. Essa visualização consolidada permite identificar rapidamente inconsistências, campos não preenchidos e padrões relevantes, facilitando o controle da qualidade e reduzindo significativamente o esforço manual necessário para validar a documentação.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Nome	Longitude (graus decimais)	Latitude (graus decimais)	Altitude (m)	Altitude (m) Norte (Zona UTM)	Altitude (m) do ponto de partida	Altitude (m) do ponto de chegada	Altitude (m) do ponto de partida	Altitude (m) do ponto de chegada	Altitude (m) do ponto de partida	Altitude (m) do ponto de chegada	Reforço	Reforço	Reforço	Reforço	Reforço	Reforço	Reforço	Reforço
1																		
2	P07	-38,482999	-3,870335	557404,2	9572188 24M	DTT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 40m	
3	P08	-38,482598	-3,870396	557444,2	9572181 24M	DTT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 40m	
4	P09	-38,482331	-3,870235	557476,3	9572199 24M	DT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 43m	
5	P10	-38,482006	-3,87005	557510	9572219 24M	DT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 47m	
6	P11	-38,481482	-3,869743	557568,2	9572253 24M	DT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 67m	
7	P12	-38,481102	-3,86945	557610,4	9572285 24M	DT	SN	12/1000	12	1000	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 61m	
8	P13	-38,480553	-3,869167	557671,3	9572317 24M	DT	SN	10,5/300	10,5	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 72m	
9	P14	-38,480076	-3,868879	557724,4	9572348 24M	DT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 70m	
10	P15	-38,479806	-3,868750	557744,4	9572362 24M	DTT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 33m	
11	P16	-38,479527	-3,868498	557785,3	9572391 24M	DTT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 52m	
12	P17	-38,478963	-3,868208	557848	9572423 24M	DT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 70m	
13	P18	-38,478935	-3,867999	557864,4	9572440 24M	DT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 51m	
14	P19	-38,478386	-3,867858	557912	9572461 24M	DT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 33m	
15	P20	-38,477909	-3,867558	557965,1	9572494 24M	DTT	SN	12/1000	12	1000	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 70m	
16	P21	-38,477262	-3,867209	558036,9	9572533 24M	DTT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 65m	
17	P22	-38,476855	-3,866951	558082,1	9572561 24M	DTT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 50m	
18	P23	-38,476381	-3,866657	558134,8	9572594 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 61m	
19	P24	-38,476128	-3,866409	558162,8	9572616 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 41m	
20	P25	-38,475786	-3,86613	558200,3	9572633 24M	DTT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 46m	
21	P26	-38,475541	-3,865107	558228,1	9572655 24M	DTT	SN	12/300	12	300	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 33m	
22	P27	-38,474966	-3,865714	558299	9572698 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 80m	
23	P28	-38,474656	-3,865585	558326,3	9572712 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 45m	
24	P29	-38,474389	-3,86546	558358,3	9572726 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 40m	
25	P30	-38,474138	-3,865352	558383,9	9572738 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 37m	
26	P31	-38,473472	-3,864993	558457,9	9572778 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 50m	
27	P32	-38,473154	-3,864777	558493,2	9572801 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 44m	
28	P33	-38,472887	-3,864611	558525	9572820 24M	DT	SN	12/300	12	600	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 42m	
29	P34	-38,472654	-3,864493	558548,7	9572786 24M	DT	SN	12/1000	12	1000	sim	nao	nao	nao	nao	nao	mob, brig 58m	

Figura 4.8: Relatório automatizado: dados brutos estruturados a partir do arquivo .kmz.

Dessa forma, além de reduzir o tempo de entrega, a ferramenta também promove maior padronização, visualização, rastreabilidade e precisão nos relatórios, reforçando a importância de soluções automatizadas no contexto de projetos que exigem elevado rigor técnico.

4.7 Limitações e Desafios Encontrados

Durante a pesquisa, identificaram-se algumas limitações que devem ser consideradas:

- **Dependência da qualidade dos dados de entrada:** A ferramenta requer dados iniciais consistentes para máximo desempenho.
- **Necessidade de treinamento:** Projetistas e técnicos necessitam de capacitação para utilização otimizada da ferramenta.
- **Variabilidade nas condições de campo:** Imprevistos durante a execução podem demandar ajustes não previstos no projeto.
- **Resistência cultural:** Adaptação a novas metodologias enfrenta barreiras comportamentais em equipes consolidadas.

Apesar desses desafios, os resultados demonstram o potencial de melhoria através da aplicação sistemática de boas práticas de projeto e ferramentas de apoio à documentação. A superação dessas limitações representa oportunidades para trabalhos futuros e refinamentos na ferramenta desenvolvida.

Capítulo 5

Considerações Finais e Sugestões para Trabalhos Futuros

A importância crucial do projeto executivo na eficiência da implantação de redes ópticas foi demonstrada de forma consistente por este trabalho. Através da análise de projetos reais e do desenvolvimento de uma ferramenta computacional de apoio, foi possível quantificar impactos significativos na otimização do tempo de documentação e aumento da qualidade final.

Os resultados obtidos indicam que investimentos em melhorias no processo de projeto podem gerar retornos expressivos, com reduções de até 85% no tempo de documentação em projetos de extensão e 10,5% em projetos de baixa extensão. A ferramenta desenvolvida mostrou-se eficaz na organização da documentação técnica, reduzindo em 89% o tempo gasto com atividades administrativas em projetos como LUPO S/A e TRÊS CORAÇÕES.

Conclui-se que a padronização de metodologias de projeto e a adoção de ferramentas de apoio representam oportunidades substanciais de otimização para empresas do setor de telecomunicações, contribuindo para a expansão mais eficiente e sustentável das redes ópticas no país.

5.1 Atendimento aos Objetivos Propostos

Este trabalho atingiu os objetivos estabelecidos, conforme demonstrado pelos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento e validação da ferramenta computacional proposta. A análise dos dados coletados e a aplicação prática em cenários reais de projeto permitiram constatar que todas as metas inicialmente propostas foram integralmente alcançadas.

- **Objetivo Geral**

O objetivo de desenvolver uma ferramenta computacional de apoio à documentação técnica foi completamente atendido com a criação do *OpticalDoc Manager*, que demonstrou reduções de até 89% no tempo de documentação em projetos de grande extensão, além de proporcionar

maior padronização e consistência nos documentos técnicos gerados, atendendo assim às exigências do setor de telecomunicações.

- **Objetivos Específicos**

- **Identificar melhores práticas:** Atendido através da análise de 10 projetos reais e revisão bibliográfica, identificando os principais problemas documentais (Figura 4.4).
- **Analisar problemas de projetos inadequados:** Comprovado pela correlação entre documentação incompleta e retrabalho na implantação (35% mais emendas não planejadas).
- **Desenvolver protótipo de software:** Realizado com sucesso através da ferramenta *OpticalDoc Manager*, validada em estudos de caso reais.
- **Propor framework metodológico:** Implementado através do fluxo automatizado projeto → documentação, com ganhos de eficiência comprovados.
- **Validar através de estudo de caso:** Executado com os projetos LUPO S/A e TRÊS CORAÇÕES, demonstrando reduções significativas no tempo de documentação.

Os resultados quantitativos obtidos (Seção 4.5) confirmam que a abordagem proposta efetivamente aumenta a eficiência tanto no lançamento de cabos (28% mais rápido) quanto na fusão de fibras (22% maior produtividade).

5.2 Contribuições para a Área

Este trabalho contribui para o ecossistema de automação de redes ópticas complementando iniciativas existentes, em especial o sistema de automação de projetos FTTH desenvolvido por [Sobreira e Campos 2024]. Enquanto soluções existentes focam na otimização do projeto em si, nossa abordagem preenche a lacuna da automação documental, criando um *framework* completo que conecta eficientemente a fase de projeto com a execução.

A integração potencial entre sistemas de automação de projeto e ferramentas de documentação representa um avanço significativo para a eficiência na implantação de redes FTTH, reduzindo retrabalhos e aumentando a padronização.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com base nos resultados e limitações identificadas nesta pesquisa, sugere-se as seguintes direções para trabalhos futuros:

- **Integração com BIM (*Building Information Modeling* - Modelagem de Informação da Construção):** Desenvolvimento de interface para integração com BIM para projetos urbanos.
- **Automação avançada:** Implementação de algoritmos de inteligência artificial para sugestão automática de rotas ótimas.
- **Realidade aumentada:** Desenvolvimento de aplicativo para visualização do projeto sobreposto ao ambiente real.
- **Análise preditiva:** Criação de modelos para prever pontos críticos baseado em dados históricos.
- **Expansão para outras tecnologias:** Adaptação da metodologia para redes 5G e infraestrutura de *data centers*.

Estudos adicionais também são recomendados para avaliar o impacto econômico de longo prazo da adoção sistemática de metodologias avançadas de projeto em diferentes escalas e cenários operacionais. A continuidade desta pesquisa pode explorar novas fronteiras tecnológicas e aprimorar ainda mais a eficiência na implantação de infraestruturas de telecomunicações.

Apêndice A

Base de Dados e Documentação da Ferramenta

Este apêndice contém informações complementares sobre a base de dados utilizada na pesquisa e documentação da ferramenta computacional desenvolvida.

A.1 Estrutura da Base de Dados

A base de dados incluiu 10 projetos executivos completos de redes FTTH sendo 5 de acima de 60 km e 5 abaixo de 60 km, abrangendo aproximadamente 500 km de rede óptica e 8.500 emendas analisadas. Os dados foram organizados nas seguintes categorias:

- **Projeto:** Plantas, memoriais, interno, externo, subsolo.
- **Implantação:** Registros de campo, fotos, relatórios.
- **Testes:** Resultados das planilhas geradas comparadas com arquivo .KMZ revisado.
- **Manutenção:** Histórico de falhas, intervenções.

A.2 Manual da Ferramenta OpticalDoc Manager

A ferramenta desenvolvida, denominada *OpticalDoc Manager*, está disponível em: <<https://colab.research.google.com/drive/1Dj17sXAHvBK1wx8veI30FXVcJtn9bFee?usp=sharing>>

Principais funcionalidades:

1. Importação automática de dados de projeto.
2. Geração de relatório padronizados.
3. Controle das emendas.
4. Informações importantes dos postes.

5. Exportação de formato .kmz para .xlsx.

A.3 Instruções de Uso

1. Acesse o notebook no Google Colab.
2. Faça uma cópia em seu Google Drive.
3. Siga as instruções passo a passo contidas em: <https://drive.google.com/drive/folders/1GMyF9-R8Qy0g9_xzDxw6JFK2O0kwjgvH?usp=sharing>
4. Carregue os arquivos de projeto nos formatos suportados.
5. Execute as células sequencialmente.

A ferramenta é compatível com os principais formatos utilizados em projetos de rede óptica para georreferenciamento, .kmz (.kml) gerando um .xlsx.

Referências Bibliográficas

- [4Verbos 2024] 4Verbos. *Soldagem por Fusão*. 2024. Figura: Solda.jpg. Disponível em: <<https://4verbos.com.br/blog/soldagem-por-fusao/>>. xiii, 7
- [Al-Quzwini 2014] AL-QUZWINI, M. M. Design and implementation of a fiber to the home (ftth) access network based on gpon. *International Journal of Computer Applications*, v. 92, n. 6, p. 30–42, 2014. Disponível em: <<https://ijcaonline.org/archives/volume92/number6/16015-5050/>>. 1, 2
- [Alcântara et al. 2020] ALCÂNTARA, T. M. et al. Planejamento de redes Ópticas elásticas por meio da solução do max-rmsa. In: *Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas (SBRC)*. [S.l.: s.n.], 2020. xv, 13, 14, 19, 20
- [Associação Brasileira de Normas Técnicas 2021] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR ISO/IEC 12207: Tecnologia da informação — Processos de ciclo de vida de software*. Rio de Janeiro, 2021. 21
- [Associação Brasileira de Normas Técnicas 2023] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR ISO/IEC 25010: Engenharia de sistemas e software — Qualidade de produto de software*. Rio de Janeiro, 2023. 21
- [Biswas et al. 2019] BISWAS, P. et al. Energy-efficient network planning and traffic provisioning in ip-over-elastic optical networks. *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*, v. 185, p. 1115–1133, 2019. 13, 14, 20
- [Company 2024] COMPANY, M. . *The keys to deploying fiber networks faster and cheaper*. 2024. Relato setorial: adoção de construção em tempo real e automação reduz custos de implantação 5–8% e acelera o ritmo de implantação. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com.br/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/the-keys-to-deploying-fiber-networks-faster-and-cheaper>>. 2
- [Effenberger 2011] EFFENBERGER, F. J. The xg-pon system: Cost effective 10 gb/s access. *Journal of Lightwave Technology*, v. 29, n. 4, p. 403–409, 2011. 5, 19, 20
- [Entelco Telecomunicações 2025] Entelco Telecomunicações. *GPON FTTH: Como funciona?* 2025. Diagrama da arquitetura GPON mostrando componentes OLT, ONU e ONT. Disponível em: <<https://www.entelco.com.br/blog/gpon-ftth-como-funciona/>>. xiii, 5
- [FW Distribuição 2025] FW Distribuição. *Conector de Fibra Óptica Fast Connector B-Wedge SC/APC Verde*. 2025. Figura: Conectorfibra.png. Disponível em: <<https://www.fwdistribuicao.com.br/telecom/conector-de-fibra-optica-fast-connector-b-wedge-sc-apc-verde>>. xiii, 9

- [Gomes e Pessoa 2024] GOMES, G. M.; PESSOA, C. R. M. Fttth em redes ópticas passivas. *Revista eOL*, v. 12, 2024. Trabalho de fundamentação teórica para projeto de redes FTTH PON no Brasil. Disponível em: <<https://revista.fumec.br/index.php/eol/article/download/3366/1909>>. 3
- [Gomes e Pessoa 2024] GOMES, G. M.; PESSOA, C. R. M. Fttth em redes ópticas passivas. *Revista e-OL*, v. 12, 2024. Discussão de rotas, planejamento técnico e redução de custos em redes FTTH no Brasil. Disponível em: <<https://revista.fumec.br/index.php/eol/article/download/3366/1909>>. 10, 11
- [Google LLC 2024] Google LLC. *Google Colab: Ambiente de programação em nuvem*. 2024. Acessado em: 01 out. 2025. Disponível em: <<https://colab.research.google.com/>>. 4, 19, 20
- [Harris et al. 2020] HARRIS, C. R. et al. Array programming with numpy. *Nature*, v. 585, p. 357–362, 2020. 20, 21
- [Incorporated 2014] INCORPORATED, C. *Guidance for OTDR Assessment of Fusion Spliced Single-Mode Fiber*. [S.l.], 2014. Descreve procedimentos de medição e relata perdas típicas de emendas por fusão inferiores a 0,05 dB. Disponível em: <<https://www.corning.com/content/dam/corning/media/worldwide/coc/documents/Fiber/application-notes/AN3060.pdf>>. 20
- [ISP Blog 2016] ISP Blog. *Máquina de Fusão de Fibra Óptica: Entenda Como Funciona*. 2016. Figura: Maquinadefusao.jpg. Disponível em: <<https://www.ispblog.com.br/2016/08/12/maquina-de-fusao-de-fibra-optica-entenda-como-funciona/>>. xiii, 9
- [ITU-T 2019] ITU-T. *G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification*. [S.l.], 2019. xiv, 6, 8, 13, 19, 20
- [Júnior 2023] JÚNIOR, J. I. G. de F. Análise do crescimento da infraestrutura de redes fttth no brasil e seus impactos. *Faculdade de Computação – UFPA (TCC / Trabalho acadêmico)*, 2023. Discute expansão de rede, impactos econômicos e desafios de implantação no Brasil. Disponível em: <<https://bdm.ufpa.br/handle/prefix/7406>>. 3
- [Kumar et al. 2024] KUMAR, S. et al. *Future Optical Access Network: Design and Modelling of FTTX/5G/IoT/Smart City Applications and Services*. [S.l.]: Springer, 2024. 5
- [Luo et al. 2019] LUO, X. et al. Leveraging double-agent-based deep reinforcement learning for survivable elastic optical network planning. *Optics Express*, v. 27, n. 6, p. 7896–7916, 2019. 14
- [Luxon 2025] Luxon. *Splitter Fibra Óptica SM PLC 1x8 Conectorizado SC APC*. 2025. Imagem de splitter óptico conectorizado para redes FTTH. Disponível em: <<https://luxon.ind.br/produtos/splitter-fibra-pptica-sm-plc-1x8-conectorizado-sc-apc/>>. xiii, 6
- [McKinney 2010] MCKINNEY, W. Data structures for statistical computing in python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, p. 56–61, 2010. 20
- [Mello, Bandeira e Brandalise 2017] MELLO, L. C. B. B.; BANDEIRA, R. A. M.; BRANDALISE, N. Seleção de metodologia de mensuração de retrabalho através da utilização do método ahp. *Gestão & Produção*, v. 25, n. 1, p. 94–106, 2017. Artigo que discute metodologias para medir retrabalho e identifica causas (incluindo falhas

de projeto e pedidos de alteração). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/gp/a/8mRPj8fRy7C6qzYQxCQnRqd/>>. 7

[Müller *et al.* 2021] MÜLLER, T. *et al.* Solving large steiner tree problems in graphs for cost-efficient fiber-to-the-home network expansion. *arXiv preprint*, 2021. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2109.10617>>. xv, 13, 14, 20

[Neto 2018] NETO, T. M. B. *Estudo do impacto do retrabalho nos custos de um empreendimento*. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília (UnB). Análise empírica de casos em Brasília-DF que quantifica o efeito do retrabalho nos custos de obras; disponível no repositório da UnB. Disponível em: <<https://bdm.unb.br/handle/10483/24874>>. 7, 20

[Oliveira, Maciel e Magalhães 2020] OLIVEIRA, A. P. B. da S.; MACIEL, K. A.; MAGALHÃES, A. L. Projetos ftth utilizando a ferramenta de georreferenciamento autocad. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, p. e2110514406, 2020. 3, 19, 20

[OpenPyXL Development Team 2024] OpenPyXL Development Team. *OpenPyXL: Biblioteca para manipulação de arquivos Excel*. 2024. Acessado em: 01 out. 2025. Disponível em: <<https://openpyxl.readthedocs.io/>>. 19, 20, 21

[Peters *et al.* 2020] PETERS, M. D. *et al.* Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews. *JBIM Evidence Synthesis*, v. 18, n. 10, p. 2119–2126, 2020. 15, 20

[Posthumus 2019] POSTHUMUS, J. *Optimizing optical fiber network deployment: Hybrid simulation based Decision Support System for fiber optic deployment planning and analysis*. [S.l.], 2019. Modelagem e resultados de experimentos (TTT e cost/meter) para estratégias de implantação. Disponível em: <https://ris.utwente.nl/ws/files/255132290/PDEngThesis_JitskePosthumus.pdf>. 2, 20

[Python Software Foundation 2024] Python Software Foundation. *Python: Linguagem de programação*. 2024. Acessado em: 01 out. 2025. Disponível em: <<https://www.python.org/>>. 4, 19, 20

[Sial e Hafeez 2021] SIAL, A. H.; HAFEEZ, A. Comparative analysis of data visualization libraries matplotlib and seaborn in python. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, v. 10, n. 1.2, p. 12–21, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2021/391012021>>. 21

[Sobreira e Campos 2024] SOBREIRA, A. D.; CAMPOS, L. B. Sistema para projeto de redes Ópticas: Um software para automação de projetos de rede ftth. *Anais da Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE)*, 2024. Sistema web de otimização de rotas, cálculo de materiais e geração automática de projetos FTTH. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/erbase/article/view/33889>>. 3, 10, 11, 19, 20, 32

[Souto e Júnior 2023] SOUTO, D. H.; JÚNIOR, D. M. M. Os desafios da rede ftth no brasil. *Repositório da Libertas – Revista de Iniciação Científica*, 2023. Aborda custos de implantação, manutenção e barreiras estruturais de FTTH no Brasil. Disponível em: <<https://repositorio.pesquisaextensaolibertas.com.br/index.php/ril/article/download/20/20/62>>.

[team 2024] TEAM, T. pandas development. pandas-dev/pandas: Pandas. *Zenodo*, 2024. Acessado em: 01 out. 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134>>. 21

[Żotkiewicz, Mycek e Tomaszewski 2016] ŻOTKIEWICZ, M.; MYCEK, M.; TOMASZEWSKI, A. Profitable areas in large-scale ftth network optimization. *Telecommunication Systems*, v. 61, p. 591–608, 2016. 1, 19, 20

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Campina Grande - Código INEP: 25137409
	R. Tranquilino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

Documento Digitalizado Restrito

Monografia

Assunto:	Monografia
Assinado por:	Pedro Lucas
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Pedro Lucas Barbosa Costa, DISCENTE (202211210018) DE TECNOLOGIA EM TELEMÁTICA - CAMPINA GRANDE, em 26/12/2025 14:57:55.

Este documento foi armazenado no SUAP em 26/12/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1716121
Código de Autenticação: 786383f53b

