

Projeto e Viabilidade de uma Rede FTTH no Município de Inhangapi

Leandro Enrico Félix de Oliveira, José Jailton Henrique Ferreira Junior,

¹Faculdade de Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA)
– Castanhal – PA – Brazil

lfeliix34@gmail.com, jjj@ufpa.br

Abstract. *This work presents the design and feasibility analysis for the implementation of an FTTH (Fiber to the Home) optical network in the municipality of Inhangapi, Pará. The study details the design of a network based on the GPON architecture, planned to be technically robust, scalable, and with simplified maintenance. The methodology includes local data collection, infrastructure planning with utility pole sharing, and the use of geoprocessing and CAD tools for the network design. The project covers the selection of active and passive equipment and a detailed cost analysis of the materials, offering a replicable model for digital inclusion in other small municipalities in the Amazon region.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o projeto e a análise de viabilidade para a implantação de uma rede de fibra óptica com tecnologia FTTH (Fiber to the Home) no município de Inhangapi, Pará. O estudo detalha a concepção de uma rede baseada na arquitetura GPON, projetada para ser tecnicamente robusta, escalável e de manutenção simplificada. A metodologia inclui o levantamento de dados locais, o planejamento da infraestrutura com compartilhamento de postes e o uso de ferramentas de geoprocessamento e CAD para o design da rede. O projeto abrange a seleção de equipamentos ativos e passivos, e uma análise de custos detalhada dos materiais. Oferecendo um modelo replicável para a inclusão digital em outros pequenos municípios da região amazônica.*

1. Introdução

A jornada de qualquer comunidade é marcada por sua história singular e pela forma como se adapta e incorpora os avanços que moldam o futuro. Para Inhangapi, município paraense com um nome evocativo de origem tupi-guarani “Caminho do Diabo” ou “Caminho do Veado”, essa trajetória iniciou-se com a presença ancestral de povos indígenas, sendo formalmente ocupada a partir de 1898, com a instalação de um núcleo colonial. Situado à margem direita do rio Inhangapi e conectado à então vila de Castanhal pela histórica Estrada de Ferro de Bragança, Inhangapi alcançou sua emancipação em 30 de dezembro de 1943, trilhando desde então seu próprio caminho de desenvolvimento (INHANGAPI, [s.d.]).

Atualmente, Inhangapi não apenas valoriza seu rico legado histórico, mas também se projeta ativamente para o futuro. Sua localização estratégica, a aproximadamente dezesete quilômetros de distância de um importante backbone de fibra óptica que percorre a rodovia BR-316, é um fator-chave que potencializa o acesso a tecnologias modernas

de telecomunicações. A cidade já conta com redes de fibra óptica, demonstrando uma contínua busca por maior conectividade e progresso para seus cidadãos.

Paralelamente ao desenvolvimento de comunidades como Inhangapi, uma revolução tecnológica estava em curso, destinada a transformar radicalmente a maneira como o mundo se comunica: a fibra óptica. Esta tecnologia, que transmite dados próximos à velocidade da luz por meio de finíssimos filamentos de vidro, teve seus princípios explorados ainda no século XIX. Contudo, foi a partir da segunda metade do século XX, com avanços cruciais, tais como a criação de fibras de baixíssima perda na década de 1970 pela Corning Glass Works e o desenvolvimento de fontes de luz laser semicondutoras, que seu vasto potencial começou a ser plenamente realizado. Com sua capacidade de transmissão de dados exponencialmente superior à dos cabos metálicos, menor atenuação do sinal em longas distâncias, imunidade a interferências eletromagnéticas e maior segurança, rapidamente a consagraram como o pilar das redes de telecomunicações de alta performance em escala global, desde os cabos submarinos que unem continentes até as redes de acesso que chegam diretamente aos lares e empresas(HECHT, 1999).

Essa onda de inovação tecnológica não demorou a alcançar o Brasil. A introdução da fibra óptica no país ocorreu de forma progressiva, começando pelos grandes sistemas de comunicação interurbanos e internacionais (backbones), durante o final dos anos 1980 e ao longo da década de 1990, em um esforço inicialmente liderado pelo sistema Telebrás(TELEBRÁS, 1991). Esses enlaces ópticos foram fundamentais para modernizar a infraestrutura de telecomunicações nacional e conectar o Brasil às redes globais.

A questão central que norteia esta pesquisa é como projetar e viabilizar a implantação de uma rede de fibra óptica FTTH (Fiber to the Home) em Inhangapi que seja tecnicamente robusta, de manutenção simplificada e que permita futuras expansões de forma facilitada, além de ser economicamente sustentável. Para responder a essa questão, o estudo se aprofunda em objetivos específicos, iniciando com a definição da topologia da rede óptica ideal para garantir uma cobertura eficiente, considerando as particularidades geográficas locais. Adicionalmente, detalha a seleção de equipamentos, materiais e normas técnicas adequadas para assegurar a qualidade e otimizar os custos do projeto e, por fim, estrutura um modelo de documentação que garanta a sustentabilidade da rede a longo prazo.

2. Referencial Teórico

Para o transporte de dados, a fibra óptica é um meio que se baseia em flexíveis e finíssimos fios de vidro, que conduzem informações através de sinais de luz. A estrutura FTTH (Fiber to the Home) é composta pelos seguintes elementos principais:

2.1. Redes Ópticas Passivas (PON - Passive Optical Network)

A arquitetura de rede FTTH (Fiber to the Home) é fundamentada no conceito de Redes Ópticas Passivas (PON). Uma PON é caracterizada por uma topologia ponto-multiponto que interliga um equipamento central a múltiplos pontos de terminação por meio de uma rede de distribuição óptica (ODN). A principal vantagem desta arquitetura é o uso de componentes passivos, como divisores ópticos (splitters), que não requerem alimentação elétrica, o que reduz custos e complexidade de manutenção na planta externa.

Conforme a Recomendação ITU-T G.984.1, um sistema PON é, em geral, composto por um terminal de linha óptica (OLT), localizado na central do provedor, e múltiplas unidades de rede óptica (ONU) ou terminais de rede óptica (ONT), localizados nos usuários, com a ODN fazendo a interconexão entre eles. Esta configuração estabelece uma relação “ponto-multiponto” entre a OLT e os terminais dos assinantes.

2.2. O Padrão GPON (Gigabit Passive Optical Network)

O padrão GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) é uma evolução das redes PON, projetado para suportar as crescentes demandas de banda dos serviços residenciais e empresariais. Ademais, é um dos padrões mais adotados no mundo devido à sua capacidade de transmissão e eficiência. A série de Recomendações ITU-T G.984 (2003-2008) define as características e especificações desta tecnologia.

O padrão foi desenvolvido para oferecer suporte completo a uma vasta gama de serviços. Conforme especificado na ITU-T G.984.1 (2008), o GPON deve suportar "serviços de voz, dados e vídeo, incluindo TDM, Ethernet, ATM e outros protocolos de camada superior". Uma das suas características mais importantes é a capacidade de transmissão de dados em taxas de gigabits por segundo. De acordo com a ITU-T G.984.2 (2003), as taxas de linha nominais são de "2,488 Gbit/s no sentido downstream e 1,244 Gbit/s no sentido upstream", sendo estas as combinações mais comumente implementadas.

O sistema GPON utiliza a multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM), uma técnica que permite o tráfego simultâneo de múltiplos comprimentos de onda em uma única fibra óptica. Segundo a ITU-T G.984.2, o sistema opera com comprimentos de onda de "1490 nm para downstream e 1310 nm para upstream", permitindo que os dados de downstream (central para o cliente) e upstream (cliente para a central) trafeguem de forma independente e sem interferência. Esta arquitetura otimiza o uso da infraestrutura de fibra óptica, maximizando a eficiência do sistema de transmissão.

2.3. Multiplexação de sinais

As redes ópticas passivas são organizadas em duas arquiteturas principais, diferenciadas pelos métodos de multiplexação empregados: TDM-PON (Time Domain Multiplexing) e WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing). Esta análise concentra-se especificamente na primeira tecnologia, que opera através da divisão temporal do sinal.

Na arquitetura TDM-PON, o funcionamento baseia-se na distribuição temporal dos dados. O equipamento central (OLT) transmite informações que são distribuídas simultaneamente para todos os terminais de usuário (ONT) por meio de um componente passivo denominado splitter óptico, responsável pela divisão da potência do sinal. A diferenciação das informações destinadas a cada terminal ocorre mediante a alocação de janelas temporais específicas, permitindo que cada ONT identifique e processe exclusivamente os dados a ela direcionados através de identificadores incorporados na transmissão. As principais implementações comerciais desta tecnologia incluem BPON, GPON e EPON.

Por outro lado, a WDM-PON emprega um mecanismo distinto, utilizando múltiplos comprimentos de onda para estabelecer canais individualizados entre a central e cada terminal. Nesta configuração, cada ONT opera com uma frequência óptica específica,

proporcionando maior isolamento entre os canais. Embora esta abordagem oferece vantagens em termos de segurança da informação e capacidade de expansão da rede, os custos associados aos componentes ópticos especializados ainda representam uma barreira para sua adoção em larga escala, limitando sua viabilidade econômica em comparação com as soluções TDM (Ribeiro, 1999)

2.4. POP (Point of Presence)

Um Ponto de Presença (POP) é a instalação física onde um provedor de internet aloja seus equipamentos centrais de rede, como a OLT, servidores e roteadores, para se conectar à internet e distribuir o sinal para os seus clientes. Para garantir a operação contínua e evitar que a rede caia, essa instalação é um ambiente controlado que exige infraestrutura crítica, incluindo um sistema de refrigeração para evitar o superaquecimento dos equipamentos, um sistema de energia ininterrupta com baterias (no-breaks) e geradores para se proteger contra quedas de energia, e segurança física com acesso restrito para proteger a infraestrutura.

2.5. OLT (Optical Line Terminal)

Opera como o equipamento central de onde o serviço de internet, voz e vídeo é originado. Instalada na central da operadora, POP, ela é um equipamento ativo que gerencia toda a rede, enviando o sinal óptico que será posteriormente dividido para atender a múltiplos usuários finais. A partir de uma única porta da OLT, é possível prover serviço para dezenas ou até mais de cem clientes, otimizando a infraestrutura da operadora. É responsável por gerenciar e controlar as ONUs instaladas nos locais dos clientes. (Furukawa, 2015; Furukawa, 2018).

2.6. ONU (Optical Network Unit)

Chamada de ONT (Optical Network Terminal) ou simplesmente modem óptico, é o dispositivo que finaliza a rede de fibra óptica dentro da residência do usuário. Sua principal função é converter o sinal de luz que chega pelo cabo óptico em um sinal elétrico que pode ser utilizado por computadores, roteadores Wi-Fi, telefones e outros aparelhos. Essencialmente, ela atua como a ponte entre a rede de ultra banda larga da operadora e a rede local do usuário (Furukawa, 2015; Furukawa, 2018).

2.7. CTO e CEO

Embora ambas sejam caixas de proteção na rede óptica, a CTO (Caixa de Terminação Óptica) e a CEO (Caixa de Emenda Óptica) possuem funções e localizações distintas. A CTO opera na Rede de Acesso, mais próxima dos assinantes, funcionando como o ponto de derivação final. Sua principal finalidade é abrigar os splitters que dividem o sinal de um cabo principal para os múltiplos cabos Drop que seguirão para as residências, viabilizando a "última milha" da conexão. Diferentemente, a CEO atua na Rede de Distribuição, conectando os segmentos do backbone da rede. Sua função não é distribuir o sinal aos clientes, mas sim acomodar e proteger as emendas por fusão entre os cabos principais, garantindo a continuidade da infraestrutura. Por isso, a CEO é uma caixa robusta e selada, com alta capacidade de fibras e projetada para ambientes aéreos ou subterrâneos, enquanto a CTO é focada na distribuição e pode ser pré-conectorizada para agilizar a ativação de novos clientes (Furukawa, 2015; Furukawa, 2018).

2.8. Tipos de Fibras Ópticas e Suas Características

As fibras ópticas para telecomunicações são fabricadas com vidro de alta pureza e classificam-se principalmente pelo diâmetro do seu núcleo, o que define os "modos" de propagação da luz.

2.8.1. Fibra Multimodo (MM)

Possui um núcleo de diâmetro maior (comumente 50 ou 62,5 μm), permitindo que vários feixes de luz (modos) viajem simultaneamente. São mais utilizadas em enlaces de curta distância, como em redes locais (LANs) e instrumentação, devido à maior facilidade de conectorização e ao uso de fontes de luz mais econômicas. A principal limitação é a dispersão modal, onde os diferentes modos de luz percorrem caminhos distintos e chegam em tempos diferentes ao receptor, alargando o pulso de luz e limitando a largura de banda.

As fibras multimodo são classificadas pela ITU-T como G.651, sendo ideais para ambientes internos e de curtas distâncias, com capacidades de 50/125m para 10 Gbps e 62,5/125m para 2,5 Gbps. (CONDUTEL,2019)

2.8.2. Fibra Monomodo (SM)

Apresenta um núcleo extremamente fino (cerca de 8 a 9 μm), que permite a propagação de apenas um modo de luz. É o tipo de fibra utilizado em redes de longa distância e em sistemas de alta capacidade, como redes FTTH (Fiber to the Home), por não sofrer de dispersão modal. (CONDUTEL,2019)

2.9. Infraestrutura e Normas para Redes Aéreas

A estratégia de implantação da rede FTTH em Inhangapi baseia-se no compartilhamento da infraestrutura de postes da Equatorial Energia, o que demanda adesão estrita às normas técnicas da concessionária. O projeto deve prever o uso de materiais homologados, como a cordoalha para sustentação, e respeitar rigorosamente o plano de ocupação e os padrões de segurança para garantir a convivência segura entre as redes. A aprovação do projeto técnico e a contratação remunerada dos pontos de fixação junto à concessionária são, portanto, etapas indispensáveis para a execução da obra (GRUPO EQUATORIAL ENERGIA, 2023).

3. Metodologia

Este projeto foi desenvolvido com base em uma abordagem que une análises técnicas a considerações contextuais da área de implantação. Esse equilíbrio permite garantir a viabilidade e eficiência da rede FTTH, e também adequá-la às características específicas da região e às necessidades da população atendida.

3.1. Levantamento de Dados da Cidade

Foi realizado um levantamento abrangente dos dados demográficos, geográficos e de infraestrutura da cidade de Inhangapi, cujos principais indicadores estão sintetizados na Tabela 1. Estas informações são fundamentais para a elaboração de um projeto técnico condizente com a realidade local.

Tabela 1. Dados demográficos e geográficos de Inhangapi.

Indicador	Valor	Fonte
Área Territorial	472,605 km ²	IBGE, 2024
População (Censo)	10.325 pessoas	IBGE, 2022
Densidade Demográfica	21,85 hab/km ²	IBGE, 2022

3.2. Análise da Infraestrutura Existente

- Postes disponíveis para compartilhamento: Os postes da rede de distribuição da Equatorial Energia estão disponíveis para uso.
- Vias de acesso: Mapeamento das principais vias urbanas e rurais
- Principais obstáculos naturais: Rio Inhangapi, e possíveis áreas alagadiças.

3.3. Compartilhamento de Infraestrutura

A metodologia adotada para otimização de recursos fundamentou-se no aproveitamento estratégico da infraestrutura existente, com foco especial no compartilhamento de postes de energia elétrica. Esta abordagem não apenas reduz significativamente os custos de implantação, mas também minimiza o impacto ambiental e urbano do projeto.

- Parceria com Companhia de Energia: Metodologia utilizada para compartilhamento de postes.
- Normas Técnicas Aplicadas: Requisitos técnicos e de segurança para compartilhamento.
- Documentação Legal: Contratos e autorizações necessárias.

3.4. Ferramentas Utilizadas

Para o desenvolvimento do projeto, foram empregadas ferramentas de geoprocessamento, softwares de desenho assistido por computador e sistemas de gestão, visando garantir a precisão no planejamento, mapeamento e execução da implantação.

- Google Earth Pro: O software de geoprocessamento Google Earth Pro foi essencial para o mapeamento da área de implantação, permitindo uma análise topográfica detalhada, a identificação de obstáculos e a visualização da estrutura urbana. Por contar com recursos como o Street View e imagens de satélite, essa ferramenta proporcionou uma representação precisa do ambiente, auxiliando significativamente na definição do traçado da rede.
- AutoCAD: Plataforma de desenho técnico utilizada na elaboração de plantas detalhadas da infraestrutura, incluindo especificações precisas de cabeamento, posicionamento de equipamentos e detalhamento das conexões. Auxiliaram nas atividades de manutenção, diagnóstico e resolução de problemas.
- Excel: Ferramenta utilizada para análise de custo-benefício dos materiais.
- Catálogos técnicos de fabricantes: Para garantir a seleção de componentes de alta qualidade e desempenho.

4. Projeto

O projeto de rede FTTH para o município de Inhangapi foi dimensionado considerando critérios técnicos rigorosos, com o objetivo de atender tanto às demandas atuais quanto às projeções futuras de crescimento da cidade. Além disso, o projeto foca na facilidade e agilidade de manutenção.

4.1. Classificação dos Principais Equipamentos

A infraestrutura projetada consiste em equipamentos estrategicamente categorizados em três grupos principais para facilitar a compreensão e análise:

4.1.1. Equipamentos Ativos

- OLT (Optical Line Terminal): Equipamento central que gerencia a transmissão de dados
- ONU (Optical Network Unit): Dispositivo instalado na residência do cliente para conversão do sinal óptico
- Switches e Roteadores: Responsáveis pelo gerenciamento do tráfego na rede

4.1.2. Equipamentos Passivos

- CTO(Caixa de Terminação Óptica): São pontos de distribuição para os clientes finais. Foram estrategicamente posicionadas 51 CTOs ao longo da cidade, distribuídas de forma geográfica a fim de otimizar o alcance e a qualidade do sinal. O posicionamento foi planejado para que a distância entre cada CTO e as residências atendidas não ultrapassasse 300 metros, assegurando a melhor qualidade do sinal.
- CEO(Caixa de Emenda Óptica): Caixas de emenda para derivação da rede principal para as CTOs. O projeto possui 4 CEOs, localizadas em pontos estratégicos da rede, proporcionando flexibilidade para futuras expansões e facilitando os procedimentos de manutenção.
- Splitters Ópticos: Divisores que distribuem o sinal óptico para múltiplos usuários

4.1.3. Sistema de Cabeamento

- Cabeamento Óptico: Meios de transmissão do sinal, com especificações técnicas adequadas às condições climáticas da região amazônica, incluindo proteção contra umidade e radiação ultravioleta.
- Backbone: Estrutura principal de transmissão que alimenta toda a rede. A alimentação principal da rede será estabelecida a partir da interconexão com o backbone de fibra óptica existente na rodovia BR, proveniente de Fortaleza, proporcionando conectividade de alta capacidade e redundância de rotas.
- Reserva Técnica (40 metros): Sobra planejada de cabo para futuras manutenções e expansões. Prevista em cada CEO e em alguns pontos estratégicos de possíveis rompimentos para futuras manutenções ou expansões.

4.1.4. Infraestrutura Física

- POP (Point of Presence): Foi projetada a construção de um POP centralizado na área urbana de Inhangapi, contendo os equipamentos ativos da rede, sistemas de climatização, energia redundante e segurança física. Esta edificação funcionará como o núcleo operacional de toda a infraestrutura.

- Postes: Utilizados para sustentação aérea dos cabos. O projeto utiliza postes da concessionária de energia elétrica Equatorial, seguindo rigorosamente as normas de compartilhamento de infraestrutura estabelecidas pela ANEEL e ANATEL, incluindo o respeito às faixas de ocupação e às distâncias mínimas de segurança entre as redes.
- Ferragens de Fixação: acessórios para fixação ao poste como fita bap e grampos de suspensão, montados em suportes presos aos postes com fita de aço.

4.2. Arquitetura da Rede

A arquitetura de rede FTTH desenvolvida para Inhangapi baseia-se em uma topologia GPON (Gigabit Passive Optical Network), que utiliza divisores ópticos passivos para distribuir o sinal desde a central até as residências dos usuários. Esta configuração permite aproveitamento eficiente da infraestrutura de fibra óptica, reduzindo custos operacionais e simplificando a manutenção da rede, garantindo simultaneamente alta qualidade de serviço e escalabilidade para futuras expansões.

4.2.1. Caminho da Fibra

O percurso da infraestrutura de rede, desde o núcleo até o acesso final, é detalhado na Figura 1. O trajeto tem início no cabo Backbone, que fornece o link de alta capacidade, passando pelo Ponto de Presença da operadora (POP), onde o tráfego é organizado e gerenciado por roteadores de borda. Em seguida, o sinal elétrico é convertido em sinal óptico pela OLT (*Optical Line Terminal*), que atua como o concentrador central da rede GPON, enviando os dados através da fibra óptica para a rede de distribuição.

Conforme ilustrado na Figura 1, o sinal óptico passa pela CEO (Caixa de Emenda Óptica), onde ocorre a primeira derivação através do *splitter* primário. A rede segue então para a CTO (Caixa de Terminação Óptica), localizada no bairro do usuário, onde um *splitter* secundário realiza a divisão final para atender as residências de forma individualizada. Por fim, a ONU (*Optical Network Unit*) instalada no cliente realiza a conversão eletro-óptica inversa, restabelecendo o sinal elétrico para os dispositivos finais.

A escolha pela tecnologia GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) se justifica pela sua arquitetura ponto-multiponto, que oferece alta eficiência espectral e escalabilidade. Essa tecnologia permite a agregação de múltiplos clientes por porta PON, otimizando o uso da infraestrutura passiva e suportando serviços que demandam elevada taxa de *downstream*, como *streaming* de vídeo em alta definição e telefonia IP (INTELBRAS, 2020).

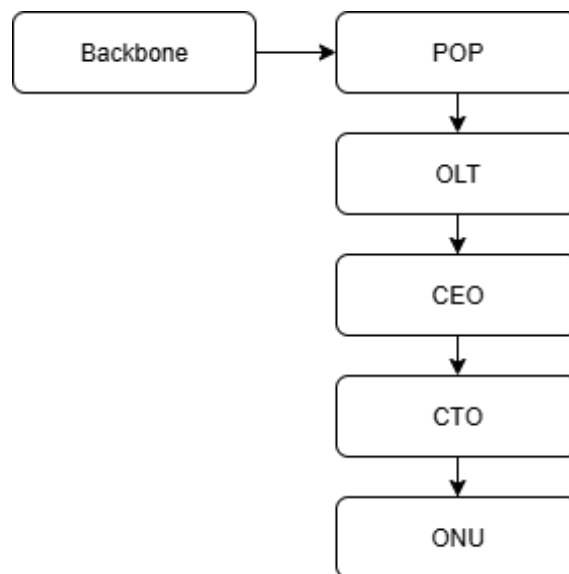


Figura 1. Fluxograma caminho da fibra. Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.3. Capacidade e Dimensionamento

O dimensionamento da rede FTTH para Inhangapi considerou não apenas a demanda atual do município, mas também as perspectivas de crescimento populacional e tecnológico da região.

4.3.1. Cobertura Geográfica e Expansibilidade

O projeto foi dimensionado para cobrir inicialmente sete por cento da área urbana de Inhangapi, contemplando zonas residenciais, comerciais e institucionais. Reconhecendo a particularidade do município, onde grande parte da população reside em áreas rurais e dispersas, a topologia da rede e a seleção dos equipamentos priorizaram a escalabilidade. Essa abordagem estratégica permitirá futuras expansões com intervenções mínimas na infraestrutura principal, possibilitando a extensão gradual dos serviços para atender tanto o crescimento urbano concentrado quanto às necessidades das comunidades mais afastadas.

4.3.2. Análise de Demanda

As estimativas adotadas visam fornecer parâmetros preliminares para a ocupação da rede, orientando o dimensionamento da capacidade de atendimento por área, bem como as potenciais taxas de adesão aos serviços de fibra óptica.

- Capacidade Total: Infraestrutura dimensionada para 816 clientes.
- Distribuição por CTO: Capacidade média de 16 clientes por CTO.
- Fator de Crescimento: Projeção de expansão futura da rede.

4.3.3. Redundância e Segurança

A implementação de mecanismos de redundância na rede FTTH de Inhangapi visa garantir a continuidade dos serviços mesmo em situações adversas, como rompimentos de cabos. Para isso, foi adotada uma topologia em anel físico interligando as 4 CEOs principais. Dessa forma, caso ocorra um rompimento na fibra entre duas CEOs, o tráfego é automaticamente redirecionado pelo caminho oposto do anel, garantindo o serviço para as 51 CTOs e seus 816 clientes potenciais, o que proporciona maior confiabilidade e facilita a manutenção.

- Rotas Alternativas: Planejamento para minimizar interrupções.
- Anel: Cada equipamento é conectado a exatamente outros dois.
- Manutenção: Problemas localizados são isolados.
- Escalabilidade: Mais fácil de expandir e incluir novas CTOs.

4.4. Documentação Técnica do Projeto

A documentação técnica constitui elemento fundamental para a implementação, operação e manutenção da rede FTTH. Esta seção apresenta os recursos cartográficos, desenhos técnicos e sistemas de nomenclatura desenvolvidos para garantir a rastreabilidade completa da infraestrutura, facilitando as atividades de instalação, diagnóstico de problemas, manutenções e planejamento de expansões futuras.

4.4.1. Representação Geográfica

O planejamento georreferenciado e o traçado da topologia da rede no município de Inhangapi são detalhados na Figura 2. Nessa visualização, as linhas coloridas representam o percurso dos cabos de fibra óptica (trancos principal e secundário), conectando os diversos elementos da rede.

Conforme ilustrado no mapa, os quadrados amarelos indicam a localização das CTOs (Caixa de Terminação Óptica), responsáveis pelo atendimento final aos assinantes. Os círculos verdes marcam a posição das CEOs (Caixa de Emenda Óptica), pontos chave de derivação e fusão dos cabos. As reservas técnicas estratégicas de 40 metros, essenciais para futuras manutenções ou remanejamentos, são identificadas pelos círculos azuis. Por fim, o ícone de casa na avenida principal representa o POP (Ponto de Presença), que serve como o hub central e ponto de partida de todos os trancos de rede.

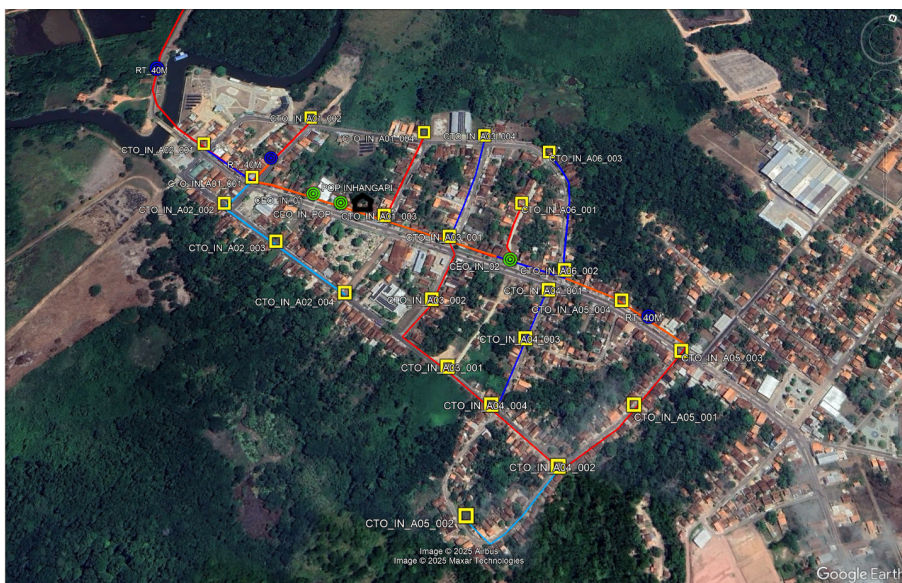


Figura 2. Mapeamento georreferenciado da rede FTTH em Inhangapi. Fonte: Google Earth Pro (2025). Elaborado pelo autor (2026).

4.4.2. Representação Desenho Técnico

O projeto apresenta de forma detalhada o caminho da fibra óptica, incluindo todas as fusões realizadas, as fibras utilizadas (identificadas por cores) e todas as CTOs envolvidas, conforme detalhado na Figura 3. Além disso, estão descritas a quantidade de splitters, o número de CEOs, a capacidade de portas disponíveis e a relação entre as caixas de atendimento.

Esta documentação, apresentada na Figura 3, permite a rápida localização de pontos de rompimento em casos de sinistro, facilitando o diagnóstico e a resolução de problemas pela equipe técnica, o que minimiza o tempo de inatividade da rede.

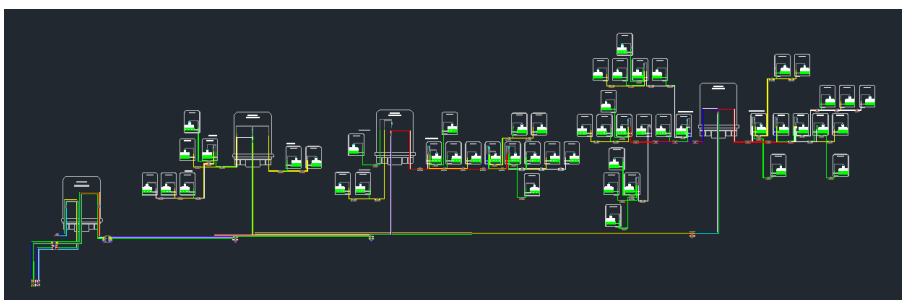


Figura 3. Diagrama de emendas e infraestrutura da rede (CAD). Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.4.3. CEO

A Figura 4 ilustra o diagrama da Caixa de Emenda Óptica, um ponto estratégico na rede de distribuição do projeto. A documentação deste componente é essencial, pois ele serve

como um hub para a organização, fusão e derivação das fibras do cabo principal. Uma característica fundamental desta documentação é a precisão geográfica. Conforme indicado no diagrama, a CEO está localizada nas coordenadas -1.430196° , -47.916620° , informação vital para que as equipes de campo possam localizar o equipamento com exatidão para manutenções ou expansões. A nomenclatura "CEO" segue o padrão de identificação do projeto, indicando o tipo de equipamento (CEO), o estado (PA), o município (Inhangapi) e seu número sequencial (01).

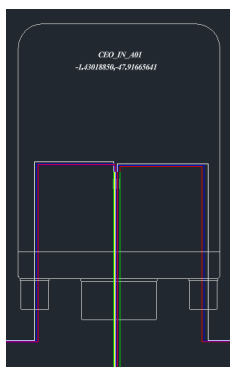


Figura 4. Fonte: Autocad (2025). Elaborado pelo autor.

4.4.4. CTO

A CTO representada no desenho técnico da Figura 5 é a primeira da rota projetada. Ela está equipada com um splitter 1x4, cuja função é interconectar as demais CTOs ao longo da rota (arquitetura em cascata), e um splitter 1x16, responsável pelas conexões das portas de atendimento aos clientes. As fibras branca e verde em destaque representam a ativação óptica da caixa (presença de luz). Este diagrama ilustra a organização interna das fibras e componentes, sendo essencial para a rastreabilidade e manutenção futura.

Conforme observa-se na Figura 5, a entrada de múltiplos cabos ópticos ocorre pela parte inferior direita, devidamente identificados por cores. As fibras de um desses cabos são direcionadas para alimentar os splitters. A caixa abriga:

- **Splitter Óptico Primário (1x4):** Localizado na parte superior direita do diagrama, este splitter tem a função de derivar o sinal óptico de uma fibra de entrada para quatro saídas. No contexto do projeto, uma dessas saídas é utilizada para alimentar o splitter secundário desta própria CTO, enquanto as outras três são destinadas a interconectar e ativar outras CTOs adjacentes na mesma rota de distribuição, conforme a arquitetura de rede em cascata.
- **Splitter Óptico Secundário (1x16):** Posicionado mais centralmente, este splitter recebe uma das saídas do splitter primário e divide o sinal para 16 portas de atendimento. Cada uma dessas 16 portas (numeradas de 1 a 16 e representadas pelos conectores verdes na parte inferior) está pronta para a conexão de um cabo drop, que levará o serviço diretamente à residência do cliente final.
- **Splitter de atendimento:** Os 16 conectores verdes na base da CTO funcionam como as portas de serviço onde os cabos drop dos clientes são conectados para ativar o sinal de fibra óptica na residência.

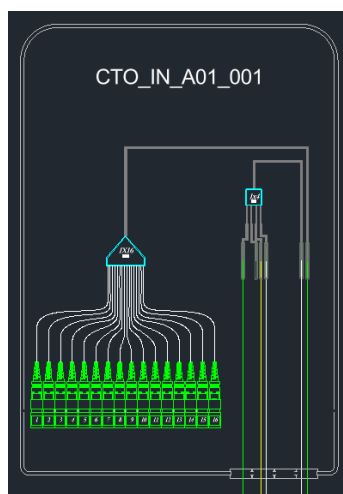


Figura 5. Fonte: Autocad (2025). Elaborado pelo autor.

4.5. Análise de Custos

O custo dos materiais do projeto foi estimado através de uma pesquisa de preços que combinou fontes de varejo online (como Mercado Livre e Magazine Luiza) para obter um parâmetro geral, e distribuidores B2B (como ISP Shop) para refletir os valores de compras em volume. Esta abordagem resultou em uma faixa de preço realista que cobre exclusivamente os materiais, sem incluir mão de obra ou outros custos operacionais.

4.5.1. Custo Total Estimado dos Materiais

A Tabela 2 detalha o orçamento estimado para a aquisição de todos os componentes de hardware necessários para a implantação da fase inicial da rede FTTH. O levantamento resultou em um custo total de R\$ 155.420,22, valor que reflete uma estratégia de otimização com a seleção de componentes de baixo custo para garantir a viabilidade do projeto.

Uma análise da estrutura de custos na Tabela 2 revela que os maiores investimentos estão concentrados em dois macrocomponentes. O primeiro é o conjunto de ONUs (Optical Network Units), o equipamento instalado na residência do cliente, que totaliza R\$ 72.152,64, representando aproximadamente 46% do investimento total. Este dado evidencia que o custo de aquisição do equipamento do assinante (CPE) é o principal fator de despesa em um projeto dessa escala.

O segundo componente de maior impacto é o cabo óptico, cujo custo para os 30 km necessários atinge R\$ 61.749,90, correspondendo a quase 40% do orçamento. Juntos, ONUs e cabos somam mais de 85% do custo de materiais, demonstrando o peso da infraestrutura física e da capilaridade da rede no investimento inicial.

Em contrapartida, os equipamentos que formam o núcleo da rede (OLTs e Switch) e a infraestrutura passiva de distribuição (CTOs, splitters e CEOs) representam uma parcela menor do custo, embora sejam vitais para a operação. A documentação detalhada destes custos fornece uma base quantitativa sólida para a análise de viabilidade econômica e o planejamento de futuras expansões.

Tabela 2. Custo total estimado dos materiais para a rede FTTH. Fonte: Marketplaces (2025). Adaptado pelo autor (2026).

Componentes	Qtd.	Preço Unit. (BRL)	Custo Total (BRL)
OLT GPON 8 Portas (Overtek)	2	R\$ 5.500,00	R\$ 11.000,00
Switch Gerenciável 24p (TP-Link L2)	1	R\$ 1.597,00	R\$ 1.597,00
ONU Bridge (TP-Link)	816	R\$ 83,51	R\$ 72.152,64
Cabo ASU 80 12FO (por km)	30	R\$ 2.058,33	R\$ 61.749,90
CTO 16 Portas (em kit)	51	R\$ 49,97	R\$ 5.396,76
Splitter PLC 1x8 (em kit)	108	R\$ 24,99	R\$ 2.698,92
Caixa de Emenda Óptica (CEO)	4	R\$ 165,00	R\$ 825,00
CUSTO TOTAL ESTIMADO			R\$ 155.420,22

5. Conclusão

Considerando todas as adversidades e nuances inerentes ao desenvolvimento tecnológico na era 4.0, especialmente em regiões com características amazônicas, este estudo comprova que a implementação de redes FTTH é uma realidade viável. O projeto desenvolvido oferece uma resposta concreta às demandas crescentes por conectividade de alta qualidade, contribuindo para a redução da exclusão digital e promovendo o desenvolvimento socioeconômico local.

O desenvolvimento do projeto de rede FTTH para o município de Inhangapi demonstrou que é plenamente possível e viável implementar uma infraestrutura de telecomunicações moderna e eficiente, mesmo em localidades com características geográficas e socioeconômicas específicas da região amazônica. A documentação técnica estruturada representa um diferencial importante do projeto, garantindo não apenas a implementação adequada, mas também a sustentabilidade operacional de longo prazo.

Os resultados obtidos estabelecem um modelo replicável para municípios de pequeno e médio porte, demonstrando que a universalização do acesso à internet de alta velocidade é não apenas desejável, mas tecnicamente exequível e economicamente sustentável, desde que sejam observados critérios técnicos adequados e estratégias de implementação eficientes.

Desta forma, o projeto cumpre seu papel de viabilizar o acesso às tecnologias modernas de telecomunicações em Inhangapi, conectando-o às oportunidades do mundo digital e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região amazônica.

6. References

Referências

INHANGAPI. História do Município. Inhangapi, PA: Prefeitura Municipal de Inhangapi, [s.d.]. Disponível em: <https://inhangapi.pa.gov.br/o-municipio/historia/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

TELECOMUNICAÇÕES BRASILEIRAS S.A. (TELEBRÁS). Relatório Anual 1990. Brasília, DF: Telebrás, 1991. Disponível em: <https://www.telebras.com.br/wp-content/uploads/2019/10/RA1990.pdf/>. Acesso em: 15 mai. 2025.

HECHT, Jeff. City of Light: The Story of Fiber Optics. New York: Oxford University Press, 1999.

HOOD, Dave; TROJER, Elmar. Gigabit-capable passive optical networks. John Wiley & Sons, 2012.

LIMA, Fabio de Oliveira. Estratégias para o planejamento de redes ópticas de transporte. Tese - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_8954_FabioLima.tese20160713-83706.pdf Acesso em: 09 ago. 2025.

RAMASWAMI, Rajiv; SIVARAJAN, Kumar N.; SASAKI, Galen H. Optical networks: a practical perspective. 3. ed. Morgan Kaufmann, 2010.

UNIÃO INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ITU-T G.984.5: Enhancement band for gigabit capable optical access networks. Setembro, 2007.

FBS Furukawa Broadband System Guia de Aplicação: Redes Totalmente Ópticas para Acesso de Ultra Banda Larga.

GRUPO EQUATORIAL ENERGIA. (2023). Compartilhamento de Infraestrutura de Rede de Distribuição Aérea Consumidoras. Norma Técnica NT.016, Revisão 03.

CONDUTEL S.A. Guia de Fibras Ópticas. Tradução: Cablena do Brasil Ltda. Rev. 04. São Paulo: Cablena do Brasil, 2019. 70 p.

ITU-T G.984.1 (2008) Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. Geneva: International Telecommunication Union. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/en>. Acesso em: 20 jul. 2025. ITU-T G.984.2 (2019) Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. Geneva: International Telecommunication Union. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-201908-I/en>. Acesso em: 20 jul. 2025.

INTELBRAS. (2020). Diferença entre EPON e GPON nos projetos de rede. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/diferenca-entre-epon-e-gpon/>. Acesso em: 09 ago. 2025.

MAGAZINE LUIZA. (2025). Magazine Luiza. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br>. Acesso em: 20 jul. 2025.

MERCADO LIVRE. (2025). Mercado Livre Brasil. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 20 jul. 2025.

RIBEIRO, J. A. J. (1999). Características da Propagação em Fibras Ópticas. Revista Científica Periódica Telecomunicações, v. 2, n.

FURUKAWA (2015). FBS Furukawa Broadband System: Guia de Aplicação - Redes Totalmente Ópticas para Acesso de Ultra Banda Larga. Furukawa Electric LatAm.

FURUKAWA (2018). FBS Furukawa Broadband System: Soluções Inovadoras em Redes de Comunicação. Furukawa Electric LatAm.