



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE *CAMPUS* ARACATI
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

BRUNO VITOR MORAES DA SILVA

**COMPARAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS NA IMPLANTAÇÃO
DE REDES FTTH EM ÁREAS URBANAS E RURAIS**

ARACATI

2025

BRUNO VITOR MORAES DA SILVA

COMPARAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS NA IMPLANTAÇÃO DE
REDES FTTH EM ÁREAS URBANAS E RURAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Bacharelado Em Ciência da
Computação do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus*
Aracati como requisito parcial para obtenção do
Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientadora: Profa. Me. Odara Sena dos
Santos Feitosa.

ARACATI

2025

BRUNO VITOR MORAES DA SILVA

COMPARAÇÃO DOS ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS NA IMPLANTAÇÃO DE
REDES FTTH EM ÁREAS URBANAS E RURAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Bacharelado Em Ciência da
Computação do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus*
Aracati como requisito parcial para obtenção do
Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Odara Sena dos Santos Feitosa (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Me. Kilbert Amorim Maciel
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Me. Alexandro Lima Damasceno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais.

Aos mestres.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, força e perseverança para superar os desafios enfrentados durante esta jornada acadêmica.

Aos meus pais e familiares, pelo apoio emocional, incentivo e compreensão em todos os momentos, especialmente nos períodos de maior dedicação aos estudos.

Aos provedores regionais de internet que participaram do estudo, pela disponibilidade em fornecer dados técnicos e financeiros, bem como pelo apoio durante a coleta das informações necessárias para a realização deste trabalho.

Aos profissionais entrevistados, que compartilharam suas experiências práticas e contribuíram significativamente para a qualidade da análise apresentada.

A professora orientadora, pela orientação, paciência e contribuições acadêmicas que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

A crescente demanda por serviços de internet de alta velocidade tem impulsionado a expansão das redes de fibra óptica, especialmente da tecnologia Fiber to the Home (FTTH). Embora amplamente implementada em áreas urbanas, a expansão dessa tecnologia para regiões rurais ainda enfrenta desafios técnicos e econômicos significativos. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa dos aspectos técnicos e econômicos envolvidos na implantação de redes FTTH em ambientes urbanos e rurais, a partir de estudos de caso realizados em localidades do interior do estado do Ceará. A metodologia adotada caracteriza-se como um estudo de caso com abordagem qualitativa e quantitativa, utilizando análise de projetos técnicos, entrevistas com profissionais do setor e levantamento de dados reais de implantação e operação fornecidos por dois provedores regionais de internet. A avaliação econômica baseia-se nos indicadores de CAPEX (Capital Expenditure) e OPEX (Operational Expenditure), considerando métricas como custo por usuário, custo por quilômetro de rede e densidade de clientes. Os resultados indicam que, embora os projetos urbanos demandem maiores investimentos absolutos, apresentam maior eficiência econômica devido à elevada densidade populacional, que possibilita a diluição dos custos de infraestrutura. Em contrapartida, os projetos rurais, apesar de exigirem menor capital total, apresentam custos proporcionais mais elevados por usuário, em função das longas distâncias, da baixa concentração populacional e da necessidade de enlaces troncais extensos. Conclui-se que a viabilidade econômica das redes FTTH está diretamente associada ao equilíbrio entre densidade populacional, extensão da rede e planejamento adequado dos investimentos.

Palavras-chave: FTTH; Fibra óptica; CAPEX; OPEX; Redes urbanas e rurais.

ABSTRACT

The growing demand for high-speed internet services has driven the expansion of fiber optic networks, particularly Fiber to the Home (FTTH) technology. Although widely deployed in urban areas, the expansion of this technology into rural regions still faces significant technical and economic challenges. In this context, this study aims to conduct a comparative analysis of the technical and economic aspects involved in the implementation of FTTH networks in urban and rural environments, based on case studies carried out in municipalities located in the interior of the state of Ceará, Brazil. The adopted methodology is characterized as a case study with a qualitative and quantitative approach, using technical project analysis, interviews with industry professionals, and the collection of real deployment and operational cost data provided by two regional internet service providers. The economic evaluation is based on CAPEX (Capital Expenditure) and OPEX (Operational Expenditure) indicators, considering metrics such as cost per user, cost per kilometer of network, and customer density. The results show that, although urban projects require higher absolute investments, they present greater economic efficiency due to higher population density, which allows infrastructure costs to be diluted. In contrast, rural projects, despite requiring lower total capital investment, exhibit higher proportional costs per user due to long distances, low population density, and the need for extensive backbone links. It is concluded that the economic feasibility of FTTH networks is directly related to the balance between population density, network extension, and proper investment planning.

Keywords: FTTH; Fiber optic; CAPEX; OPEX; Urban and rural networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico comparativo de CAPEX das redes FTTH urbanas (Catarina e Arneiroz).	30
Figura 2 – Gráfico comparativo de CAPEX das redes FTTH rurais (São Francisco e Trussu).	31
Figura 3 – Gráfico comparativo de OPEX das redes FTTH urbanas (Catarina e Arneiroz).	34
Figura 4 – Gráfico comparativo de OPEX das redes FTTH rurais (São Francisco e Trussu).	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos totais de CAPEX das redes FTTH urbanas e rurais	30
Tabela 2 – Indicadores relativos de investimento (CAPEX/clientes e CAPEX/km total)	32
Tabela 3 – Custos totais de OPEX das redes FTTH urbanas e rurais	34
Tabela 4 – Indicadores de OPEX por cliente e por quilômetro	36
Tabela 5 – Indicadores de Densidade de Clientes por Extensão da Rede	37

LISTA DE SIGLAS

CAPEX	Capital Expenditure
CEO	Caixa de Emenda Óptica
CTO	Caixa de Terminação Óptica
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTN	Fiber To The Node
FTTH	Fiber To The Home
FTTx	Fiber To The x
Gbps	Gigabits por segundo
GPON	Gigabit Passive Optical Network
IoT	Internet of Things
ISP	Internet Service Provider
KML/KMZ	Keyhole Markup Language
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Optical Network Unit
ONT	Optical Network Terminal
OPEX	Operational Expenditure
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer
POP	Point of Presence
PON	Passive Optical Network
TDM	Time Division Multiplexing

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Conceitos Fundamentais sobre Redes FTTH	14
2.1.1	<i>Definição de FTTH</i>	14
2.1.1.1	<i>Topologia de Redes FTTH</i>	14
2.1.1.2	<i>Tecnologia GPON e sua aplicação em redes FTTH</i>	15
2.1.1.3	<i>Componentes de uma Rede FTTH e infraestrutura necessária para implemen- tação</i>	15
2.2	Desafios Técnicos na Implementação e Manutenção de Redes FTTH . .	17
2.2.1	<i>Implantação de Postes e Infraestrutura</i>	18
2.2.2	<i>Atenuação do Sinal e Soluções</i>	18
2.2.3	<i>Fusão de Fibras e sua Importância</i>	19
2.2.4	<i>Expansão da Rede e Planejamento para Crescimento</i>	19
2.3	Comparação entre Ambientes Urbanos e Rurais	20
2.3.1	<i>Densidade Populacional e Impacto na Viabilidade</i>	20
2.3.2	<i>Distâncias e Desafios de Cabeamento</i>	20
2.3.3	<i>Demanda por Serviços e Perfil dos Usuários</i>	20
2.4	Aspectos Econômicos: CAPEX e OPEX	21
2.4.1	<i>Definição de CAPEX e OPEX</i>	21
2.4.2	<i>Principais Custos Envolvidos na Implementação</i>	21
2.4.3	<i>Custos de Operação e Manutenção</i>	22
2.4.4	<i>Comparação de Custos entre Áreas Urbanas e Rurais</i>	22
3	TRABALHOS RELACIONADOS	23
3.1	Introdução à Revisão de Trabalhos Relacionados	23
3.2	Estudos sobre Implantação de Redes FTTH	23
3.3	Estudos sobre CAPEX e OPEX em Redes FTTH	24
3.4	Lacunas na Literatura e Contribuições do Trabalho	25
4	METODOLOGIA	26
5	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	28
5.1	Apresentação dos dados coletados	28
5.1.1	<i>Caracterização Técnica das Redes</i>	28

5.2	Cálculo do CAPEX	29
5.3	Cálculo do OPEX	33
5.4	Análise Comparativa Urbano x Rural	37
5.5	Limitação dos Dados	38
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	41
ANEXOS		42
.1	Dados dos projetos FTTH – Catarina	42
.2	Dados dos projetos FTTH – Arneiroz	43
.3	Dados dos projetos FTTH – São Francisco	44
.4	Dados dos projetos FTTH – Trussu	45
.5	Opex projeto FTTH Catarina	45
.6	Opex projeto FTTH Arneiroz	46
.7	Opex projeto FTTH São Francisco	46
.8	Opex projeto FTTH Trussu	47

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo cada vez mais conectado, a crescente demanda por aplicações que exigem alta largura de banda impulsiona a necessidade de infraestrutura de rede avançada. Nesse contexto, a tecnologia FTTH (Fiber to the Home) tem se consolidado como uma das principais soluções adotadas por provedores de telecomunicações (ASGARIRAD; JAHROMI, 2020). Como o próprio nome indica, essa tecnologia utiliza fibra óptica para estabelecer uma conexão direta entre o provedor e o usuário final, seja em residências, pequenas empresas ou médias empresas.

A pandemia do COVID-19 impulsionou o uso de tecnologias de fibra no Brasil, juntamente com a crescente necessidade de serviços de internet de alta qualidade. De 2019 a 2021, observou-se um notável avanço na adesão à tecnologia de fibra óptica, com o percentual de municípios contemplados saltando de 67,6% para impressionantes 82,8% (JUNIOR, 2023). Embora a implementação de redes FTTH seja amplamente realizada em áreas urbanas, devido à alta densidade populacional e à infraestrutura já existente, sua expansão para zonas rurais enfrenta desafios significativos. Entre os principais obstáculos estão a baixa densidade populacional, a ausência de infraestrutura básica e a complexidade geográfica, como terrenos acidentados e distâncias maiores entre os pontos de conexão (OLIVEIRA, 2021). Apesar dessas dificuldades, é essencial promover a inclusão digital em regiões menos favorecidas, garantindo oportunidades equitativas de acesso à conectividade de alta qualidade.

Este estudo tem como objetivo realizar uma análise comparativa da implementação de redes FTTH em algumas cidades do interior do Ceará, considerando as diferenças entre os cenários urbanos e rurais, com foco nas abordagens técnicas e custos econômicos associados. Essa análise busca entender as estratégias adotadas pelas operadoras para expandir a cobertura de FTTH, avaliando os desafios enfrentados e o impacto dessas abordagens na redução das desigualdades de acesso.

Este estudo também busca explorar as barreiras e oportunidades na implementação de redes FTTH nos contextos urbanos e rurais, com foco nas abordagens adotadas pelas operadoras para superar os desafios técnicos e econômicos em cada cenário. A análise econômica será aprofundada, considerando os custos de CAPEX (Capital Expenditure) e OPEX (Operational Expenditure), destacando como os investimentos em infraestrutura e os custos operacionais impactam a viabilidade e a sustentabilidade da expansão das redes de fibra óptica.

A pesquisa será caracterizada como um estudo de caso, com abordagem qualitativa e

quantitativa, já que os dados serão obtidos diretamente com os provedores de telecomunicações da cidade de Catarina, no interior do Ceará. Serão realizadas entrevistas com representantes dessas operadoras, além da coleta de dados secundários, como relatórios financeiros e de implantação. A análise dos dados será feita por meio de uma abordagem comparativa, contrastando as soluções e os custos de implementação das redes FTTH nos contextos urbanos e rurais. A classificação da pesquisa é aplicada, exploratória e descritiva, pois busca levantar informações sobre as práticas das operadoras e descrever o panorama da implantação de FTTH na região.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No contexto atual, vivemos numa era digital onde a internet se tornou um recurso essencial para a vida das pessoas. Seja no âmbito econômico, social ou político, a conectividade possibilita o acesso a diversos serviços como transações bancárias e a comunicação instantânea que aplicativos como WhatsApp e Telegram permitem, encurtando distâncias entre pessoas ao redor do mundo.

Diante disso, as telecomunicações desempenham um papel fundamental na sociedade moderna, viabilizando a transmissão de dados e serviços prestados. Com o passar dos anos várias tecnologias foram desenvolvidas, sendo a fibra óptica umas das mais avançadas e eficientes dos dias atuais.

Entre as diversas arquiteturas de redes ópticas, a Fiber to the Home (FTTH) se destaca por levar fibra até o usuário final, disponibilizando altas velocidades de transmissão de dados e baixa latência. O uso dessa tecnologia vem se consolidando significativamente nos últimos anos, impulsionado pela crescente demanda por serviços que exigem uma alta transferência de dados, como streaming de vídeo, jogos online com gráficos realistas e aplicações de Internet das Coisas (IoT). A indústria de telecomunicações tem investido na ampliação da capacidade de largura de banda e no aumento da velocidade da transmissão de dados para atender à crescente necessidade da sociedade por conectividade. Além disso, a tecnologia FTTH contribui para a melhoria do desempenho das redes, permitindo maior estabilidade e alcance em longas distâncias (ADHI *et al.*, 2021).

Nesta seção, serão apresentados os principais conceitos relacionados às redes FTTH, incluindo sua definição, as topologias utilizadas e os elementos que compõem essa infraestrutura. Além disso, serão discutidos os desafios técnicos enfrentados na implementação e manutenção dessa tecnologia, comparando as dificuldades encontradas em ambientes urbanos e rurais. Por fim, serão analisados os aspectos econômicos envolvidos na implantação das redes FTTH, com ênfase nos custos de investimento (CAPEX) e operacionais (OPEX), destacando como esses fatores influenciam a viabilidade e a expansão da fibra óptica em diferentes cenários.

2.1 Conceitos Fundamentais sobre Redes FTTH

2.1.1 Definição de FTTH

O termo FTTH refere-se a uma arquitetura de rede passiva onde a fibra óptica vai da central do provedor à residência do usuário final, garantindo alta velocidade de transmissão de dados e baixa latência. O FTTH faz parte de um grupo maior de tecnologias denominado FTTx, que engloba diferentes arquiteturas de redes ópticas passivas, classificadas de acordo com o ponto até onde a fibra óptica alcança na infraestrutura de telecomunicações .

As principais arquiteturas do FTTx incluem:

- FTTB (Fiber to the Building): A fibra chega até um caixa de um prédio ou condomínio, onde normalmente uma ONT (Optical Network Terminal) faz a conversão do sinal de luz recebido para sinais elétricos e assim é distribuído através de um switch até o cliente final .
- FTTN(Fiber to the Node): Se assemelha muito com FTTC, mas a diferença entre eles é a distância do ponto final de fibra até o usuário final, onde FTTN está a distâncias de até aproximadamente 1 quilômetro.
- FTTH (Fiber to the Home): A fibra chega diretamente até a residência do usuário, proporcionando uma conexão 100% fibra óptica até a ONT na casa do cliente. Isso garante uma maior disponibilidade e capacidade de banda larga, além de oferecer a melhor qualidade de serviço (CORTES; MOREIRA; RODRIGUES, 2020).

2.1.1.1 Topologia de Redes FTTH

Os modelos de redes ópticas referem-se à forma como a conexão é estabelecida entre a central do provedor e o usuário final. Entre as topologias disponíveis, a mais amplamente utilizada em redes FTTH é o Modelo PON (Ponto-Multiponto). No modelo PON, uma única fibra é compartilhada entre múltiplos usuários por meio de dispositivos como splitters, que dividem o sinal e o distribuem para diferentes clientes. Esse modelo é mais custo-efetivo, pois reduz a quantidade de fibras possíveis e minimiza o uso de equipamentos ativos na rede. Devido a essas vantagens, o PON é amplamente adotado em redes FTTH, especialmente em áreas residenciais urbanas e rurais (KRAVCHENKO *et al.*, 2017).

2.1.1.2 *Tecnologia GPON e sua aplicação em redes FTTH*

De acordo com Farias Junior (2023), a arquitetura PON é uma rede óptica passiva com capacidade de transmissão na faixa de gigabits por segundo, baseada na topologia ponto-multiponto. Essa rede se destaca nos modelos que implementam a repartição de rede FTTH, pois utiliza apenas uma fibra óptica com transmissão bidirecional. A principal vantagem da arquitetura PON é seu custo-benefício na implantação e manutenção, visto que os elementos de rede responsáveis pela distribuição do sinal aos usuários são passivos, ou seja, não necessitam de energia elétrica para o funcionamento (JUNIOR, 2023; KRAVCHENKO *et al.*, 2017).

A arquitetura GPON (Gigabit Passive Optical Network) é um dos principais tipos de tecnologia PON utilizadas em redes FTTH. Ela permite a divisão de potência do sinal óptico em proporções de 1:32, 1:64, podendo atender até 128 clientes a partir de uma única fibra. As velocidades em uma rede GPON podem variar, mas, em geral, essa tecnologia é capaz de fornecer altas taxas de transferência de dados, alcançando até 2,5 Gbps para downstream e 1,25 Gbps para upstream, o que a torna uma solução eficiente para demandas modernas de conectividade.

2.1.1.3 *Componentes de uma Rede FTTH e infraestrutura necessária para implementação*

A implementação de uma rede FTTH exige a integração de diversos componentes essenciais, cada um desempenhando um papel fundamental na transmissão eficiente de dados da central do provedor até o usuário final. Esses elementos são responsáveis por viabilizar a distribuição do sinal óptico, garantir a qualidade da conexão e minimizar perdas ao longo do percurso. Entre os principais componentes de uma rede FTTH, destacam-se a OLT (Optical Line Terminal), a ONT/ONU (Optical Network Terminal/Optical Network Unit), os splitters, as caixas de emenda e os cabos ópticos (OLIVEIRA, 2021)

A seguir, serão apresentados os principais componentes que compõem a rede, destacando suas funções e importância na infraestrutura da rede.

- OLT

OLT (Optical Line Terminal) é responsável pelo gerenciamento do tráfego de dados na rede, convertendo sinais ópticos em sinais elétricos e distribuindo a largura de banda entre múltiplos usuários (SOUTO, 2020). Ele é instalado no POP (Ponto de Presença) das operadoras e se conecta diretamente às fibras ópticas que distribuem o sinal até os assinantes. O OLT tem a função de converter sinais elétricos em ópticos e transmitir os

dados através da rede PON. Além disso, ela gerencia múltiplas conexões simultaneamente, utilizando técnicas como multiplexação por divisão de tempo (TDM - Time Division Multiplexing) para distribuir a largura de banda de forma eficiente. Isso permite que vários usuários compartilhem a mesma fibra sem comprometer a velocidade ou a qualidade da conexão.

- **ONT/ONU**

A ONT (Optical Network Terminal) e a ONU (Optical Network Unit) são dispositivos localizados próximos ao ponto de atendimento do cliente, com a função de converter sinais ópticos recebidos da rede em sinais elétricos, permitindo a comunicação entre o provedor de internet e o usuário final. Ambos desempenham papéis semelhantes, mas a principal diferença entre eles está no contexto de implementação.

A ONT é mais utilizada em redes FTTH onde a fibra chega diretamente até a residência do cliente. Esse equipamento realiza a conversão de sinal óptico para sinais elétricos e pode fornecer funcionalidades adicionais, como portas de Ethernet, telefonia e, em alguns casos, Wi-Fi.

A ONU , por outro lado, é mais frequente em redes FTTB (Fiber to the Building) ou FTTC (Fiber to the Curb), onde a fibra chega a um ponto intermediário, como uma CTO (Caixa de Terminação Óptica) ou um prédio, e é necessário um equipamento adicional, como roteador ou repetidor de sinal, para distribuir a conexão aos usuários finais. No entanto, a rede de Catarina é um exemplo do uso da ONU em uma rede FTTH, já que a fibra chega diretamente na casa do cliente. Nesse caso, a ONU faz a conversão do sinal óptico para sinais elétricos, que são enviados para um roteador com portas Ethernet e Wi-Fi, permitindo a distribuição da internet para os dispositivos da residência.

- **Splitter**

O divisor passivo, mais conhecido como splitter , fica localizado entre a OLT e a ONU ou ONT , e é responsável por dividir ou combinar o sinal óptico da fibra. No sentido downstream, o sinal de entrada é dividido e enviado para todas as portas de saída. Já no sentido upstream , o sinal de todas as ONUs é combinado e transmitido à OLT. Um exemplo de downstream é quando um usuário está baixando um vídeo da internet, ou seja, os dados são transportados pela OLT até a ONU . Já no upstream , refere-se ao tráfego de

dados que vai da ONU para a OLT , como quando o usuário envia dados para a rede, por exemplo, em uploads de arquivos ou durante chamadas de vídeo.

- CEO (Caixa de emenda óptica)

A caixa de emenda é utilizada em redes aéreas e subterrâneas, com a principal função de acomodação e proteção de fibras ópticas contra condições ambientais adversas. Ela serve como um alojamento seguro para as emendas das fibras, ou seja, onde ocorre a fusão das fibras que conectam os diferentes componentes da rede. Além de proteger as emendas, a caixa de emendas também garante a integridade da rede para evitar danos físicos nas fibras.

- CTO (Caixa de terminação óptica)

A CTO recebe o sinal de fibra óptica e o distribui para os usuários finais, geralmente utilizando splitters de 1x8 ou 1x16 . Além disso, ela também pode ser usada para acomodar fusões de fibra óptica. A partir do CTO, a rede é finalizada com a conexão entre o CTO e a ONU do cliente final , feita através dos cabos drop de fibra .

- Cabos de fibra óptica

O cabo óptico é formado por uma ou mais fibras ópticas e projetado para oferecer resistência mecânica e proteção contra condições ambientais adversas, sendo escolhido de acordo com a aplicação específica (SOUTO, 2020). Um exemplo prático disso pode ser fornecido nas redes de fibra óptica em Catarina, onde, geralmente, cabos de 6FO e 12FO são usados para compor a estrutura principal da rede. Já na conexão entre o CTO e o cliente final , é o destinatário o cabo drop , garantindo a distribuição eficiente do sinal até o usuário.

2.2 Desafios Técnicos na Implementação e Manutenção de Redes FTTH

A expansão das redes FTTH exige uma abordagem estratégica para superar desafios técnicos que surgem tanto na instalação quanto na manutenção da infraestrutura óptica. A implantação de postes, especialmente em áreas rurais, pode representar um obstáculo devido à necessidade de novas estruturas e regulamentações específicas. Além disso, a atenuação do sinal ao longo das fibras ópticas exige soluções eficientes para minimizar perdas e garantir a qualidade da transmissão. A fusão precisa das fibras é outro fator crítico, pois conexões mal executadas podem comprometer o desempenho da rede. Por fim, o planejamento para a expansão

da rede deve considerar a escalabilidade da infraestrutura, permitindo futuras ampliações sem comprometer a eficiência e a estabilidade do serviço (SOUTO; JUNIOR, 2023).

2.2.1 Implantação de Postes e Infraestrutura

A zona rural possui uma particularidade que a zona urbana não tem: a falta de postes em alguns trechos de rotas de fibra. Para sanar essa carência de infraestrutura, as operadoras fazem a implantação de novos postes. No entanto, essa instalação enfrenta diversos desafios, como terrenos acidentados, que dificultam o transporte e a fixação dos postes, além da necessidade de obtenção de autorizações ambientais e de proprietários rurais para a instalação em áreas privadas. Além disso, em locais de difícil acesso, como regiões montanhosas ou alagadas, a logística de transporte dos materiais e a execução da obra tornam-se mais complexas e onerosas, exigindo planejamento detalhado para minimizar impactos e custos.

Nas áreas urbanas, os provedores de internet (ISPs) enfrentam desafios como a saturação dos postes, sendo obrigados a compartilhar os mesmos com concorrentes e com fios de outras operadoras, como as de energia elétrica. Esse compartilhamento pode gerar conflitos de espaço e dificultar a expansão da infraestrutura de telecomunicações. Tanto na zona urbana quanto na rural, é fundamental realizar um mapeamento detalhado dos postes utilizados na rede, o que é essencial para cumprir as regulamentações locais. Além disso, o aluguel dos postes é cobrado por unidade, o que pode impactar diretamente os custos operacionais das operadoras.

2.2.2 Atenuação do Sinal e Soluções

Outros desafios significativos na implementação e manutenção de redes FTTH é a atenuação do sinal. A atenuação ocorre quando os sinais de luz transmitidos através da fibra perdem intensidade ao longo do percurso, resultando em uma degradação na qualidade da conexão. Isso pode ser causado por diversos fatores, como distâncias excessivas entre os postes de fixação, que, se mal ancorados ou com suportes inadequados, podem gerar o desvio do sinal. Além disso, fusões mal executadas ou conectores mal feitos também podem contribuir para a perda ou distorção do sinal óptico.

Para minimizar esses problemas, é fundamental garantir que a infraestrutura siga padrões rigorosos de qualidade, utilizando splitters e cabos de alta performance. A experiência e competência dos prestadores de serviços também são cruciais, uma vez que são responsáveis por realizar fusões e manter a infraestrutura conectada de maneira eficiente, com o menor nível

possível de perda de sinal e latência (OLIVEIRA, 2021).

2.2.3 Fusão de Fibras e sua Importância

As fusões desempenham um papel crucial na infraestrutura das redes FTTH. Elas são responsáveis pela emenda das fibras e pela instalação de splitters, garantindo a distribuição eficiente do sinal óptico, ao mesmo tempo que minimizam a perda de sinal (dBs). Realizar a fusão corretamente é essencial para manter a rede funcional e com boa performance, sem comprometer a qualidade da transmissão.

É importante ressaltar que esse serviço exige o uso de equipamentos especializados, como a máquina de fusão, OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) e power meters. Esses dispositivos são necessários não apenas para realizar as fusões, mas também para identificar possíveis falhas e medir a intensidade do sinal ao longo da rede. Como mencionado na seção anterior, a qualificação da mão de obra é um fator determinante para garantir que as fusões sejam feitas de forma adequada, assegurando uma rede estável, eficiente e de alta qualidade (OLIVEIRA, 2021).

2.2.4 Expansão da Rede e Planejamento para Crescimento

O planejamento adequado das redes FTTH é essencial para garantir a viabilidade de futuras expansões. Durante a fase de elaboração, é fundamental realizar cálculos precisos e dimensionar a quantidade de fibras necessárias, levando em conta não apenas a demanda atual, mas também a necessidade de reservas para futuras ampliações. Um planejamento bem estruturado assegura que, à medida que novos usuários forem integrados à rede, a infraestrutura já estará dimensionada para acomodá-los sem comprometer a qualidade do serviço.

Além disso, é crucial adotar estratégias que garantam a escalabilidade da rede. Isso inclui a instalação de equipamentos e componentes que possam suportar o aumento da demanda, bem como a adoção de práticas de manutenção preventiva. A manutenção regular e a análise contínua da rede ajudam a identificar possíveis gargalos e a minimizar falhas, assegurando que a rede possa crescer de maneira eficiente, sem interrupções ou degradação no desempenho.

2.3 Comparação entre Ambientes Urbanos e Rurais

2.3.1 *Densidade Populacional e Impacto na Viabilidade*

A densidade populacional é um fator crucial a ser considerado no planejamento de redes FTTH, uma vez que o número de habitantes, que também corresponde ao número de possíveis assinantes, pode influenciar diretamente a viabilidade do projeto. Em áreas urbanas, o principal desafio é garantir a disponibilidade de portas de atendimento suficientes para atender a demanda crescente. Já nas zonas rurais, a grande distância entre os assentamentos ou a baixa concentração populacional podem tornar a viabilidade do projeto comprometida, devido ao alto custo e à complexidade da infraestrutura necessária. Por isso, é fundamental realizar um levantamento detalhado do número de residências, habitantes e potenciais assinantes, para avaliar a demanda real e planejar a rede de maneira eficiente e sustentável.

2.3.2 *Distâncias e Desafios de Cabeamento*

Nas áreas urbanas, um dos principais desafios enfrentados na implantação de redes FTTH é o congestionamento nos postes, que precisam ser compartilhados entre cabos de energia elétrica, telefonia e outros provedores de internet. Isso resulta em uma infraestrutura limitada, o que dificulta a expansão da rede, especialmente em áreas com alta densidade de usuários. Além disso, a instalação de cabos em distâncias curtas, comum nas zonas urbanas, exige uma gestão eficiente do espaço e dos recursos.

Já nas áreas rurais, a grande distância entre os clientes e a falta de infraestrutura adequada exigem uma abordagem mais complexa. Muitas vezes, é necessário instalar novos postes e dutos de transporte para cobrir as longas distâncias entre os usuários, o que implica em custos mais altos e maior tempo de implementação. Essa disparidade entre áreas urbanas, com cabos mais curtos e maior infraestrutura existente, e áreas rurais, com distâncias longas e necessidade de criação de infraestrutura própria, é um fator determinante no planejamento e na viabilidade da implantação de redes FTTH.

2.3.3 *Demanda por Serviços e Perfil dos Usuários*

A demanda por serviços de internet varia significativamente entre as áreas urbanas e rurais, refletindo a diferença na densidade populacional e no perfil dos usuários. Nas áreas urbanas, com uma grande concentração de habitantes e empresas, há uma demanda constante

e elevada por banda larga de alta velocidade. Isso se deve ao uso intensivo da internet para trabalho, acesso a redes sociais, serviços de streaming, comércio eletrônico, entre outros. Já nas áreas rurais, o consumo é consideravelmente mais baixo, principalmente pela menor quantidade de assinantes e pela escassez de empresas que dependem de uma conexão de alta qualidade. Além disso, os serviços disponíveis nas zonas rurais são frequentemente mais limitados, o que agrava a disparidade entre as regiões no que diz respeito à qualidade e velocidade da conexão.

2.4 Aspectos Econômicos: CAPEX e OPEX

2.4.1 Definição de CAPEX e OPEX

Na implementação de redes, os custos podem ser divididos em duas categorias principais: CAPEX (Capital Expenditure) e OPEX (Operational Expenditure). As despesas de capital (CAPEX) referem-se aos custos iniciais necessários para a configuração da infraestrutura e a instalação dos equipamentos essenciais para o funcionamento da rede. Já as despesas operacionais (OPEX) englobam os custos recorrentes relacionados à manutenção, reparo e operação contínua da rede. Um planejamento eficiente da rede FTTH busca equilibrar os custos de CAPEX e OPEX, minimizando as despesas em ambas as frentes. No entanto, um foco exclusivo em reduzir um dos tipos de custos pode gerar prejuízos a longo prazo. Por exemplo, ao economizar no planejamento do CAPEX, adquirindo fibras de baixa qualidade para reduzir os custos iniciais, a empresa pode enfrentar um aumento significativo nos custos operacionais (OPEX) no futuro, devido a falhas, rompimentos ou a necessidade de manutenção mais frequente da infraestrutura.

2.4.2 Principais Custos Envolvidos na Implementação

A construção de uma rede FTTH envolve uma série de custos relacionados à infraestrutura e aos equipamentos que compõem a rede. Os principais investimentos incluem a compra de fibras ópticas, equipamentos de transmissão como OLTs e ONUs, além de splitters e conectores. O licenciamento de softwares e equipamentos também deve ser considerado, pois é necessário garantir que toda a rede esteja em conformidade com as regulamentações. Outro aspecto relevante são os custos com a instalação da infraestrutura, como postes, dutos, e materiais para o cabeamento, além da mão de obra de profissionais especializados, como técnicos e engenheiros, que são responsáveis pela execução da rede de forma segura e eficiente.

2.4.3 Custos de Operação e Manutenção

Os custos operacionais de uma rede FTTH são compostos por uma série de despesas recorrentes essenciais para garantir a continuidade do serviço e a qualidade da rede. Esses custos incluem a substituição e atualização periódica de equipamentos, como ONUs, OLTs e outros dispositivos ativos que podem se desgastar com o tempo ou com o avanço tecnológico. Além disso, há os custos com o suporte técnico, que envolve a contratação de profissionais especializados para realizar a manutenção preventiva e corretiva da rede, como a substituição de cabos danificados e a realização de ajustes de configuração. O consumo de energia também é um custo significativo, uma vez que a rede FTTH exige o funcionamento contínuo de equipamentos que demandam eletricidade para manter a transmissão de sinais ópticos e a infraestrutura de distribuição ativa. A manutenção também inclui gastos com combustíveis e peças de reposição para veículos que são utilizados nas manutenções externas, garantindo que a rede esteja sempre disponível e eficiente.

2.4.4 Comparação de Custos entre Áreas Urbanas e Rurais

A pandemia acelerou a implementação de redes FTTH em diversas regiões, mas poucos estudos comparam diretamente os custos e desafios enfrentados nos ambientes urbanos e rurais. Grande parte da literatura aborda cada contexto separadamente, sem estabelecer uma análise comparativa entre eles. Diante disso, este estudo apresenta, a seguir, os aspectos técnicos e econômicos da implantação de redes FTTH, começando pelas zonas urbanas e, posteriormente, abordando as zonas rurais, com ênfase nas particularidades e nos desafios de cada cenário.

Embora as zonas urbanas contem com uma infraestrutura de ruas praticamente pronta para a implementação da FTTH, a viabilização do serviço exige a consideração de outros fatores. Um dos principais desafios é a implantação de um Ponto de Presença (POP), elemento essencial para a distribuição do sinal de fibra óptica. A construção desse ponto requer investimentos expressivos em equipamentos como racks, sistemas retificadores, bancos de baterias, switches, OLTs e fibras ópticas, tornando-se um fator decisivo no custo total da implantação da rede (SOUTO; JUNIOR, 2023; JUNIOR, 2023).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

3.1 Introdução à Revisão de Trabalhos Relacionados

A revisão de trabalhos relacionados é fundamental para contextualizar o estudo dentro do panorama atual da implementação de redes FTTH. Algumas pesquisas têm explorado os aspectos técnicos e econômicos envolvidos na adoção dessa tecnologia. A análise desses estudos permite compreender os principais fatores que influenciam a expansão da infraestrutura de fibra óptica, incluindo desafios como custos de implementação, regulamentação, disponibilidade de infraestrutura existente e impactos econômicos. No entanto, percebe-se uma carência de estudos que realizem comparações diretas entre os ambientes urbanos e rurais, dificultando uma visão ampla sobre as diferenças nos custos e na viabilidade técnica dessa tecnologia em diferentes contextos.

Diante disso, este estudo se apoia em pesquisas que abordam a implantação de redes FTTH, tanto em áreas urbanas quanto rurais, destacando os principais desafios técnicos e econômicos mencionados nesses estudos. Além disso, busca identificar lacunas na literatura e propor uma análise comparativa detalhada, contribuindo para um melhor entendimento dos fatores que influenciam a viabilidade da FTTH em distintos cenários.

3.2 Estudos sobre Implantação de Redes FTTH

Alguns estudos destacam o crescimento global na implementação de redes de fibra óptica durante o período pandêmico. Com a adoção do isolamento social, muitas empresas se viram obrigadas a migrar para o home office, o que aumentou significativamente a demanda por uma conexão de alta qualidade. Pessoas que antes dependiam de conexões móveis 3G/4G para uso pessoal precisaram, então, aderir a planos residenciais de internet para atender às novas necessidades de trabalho e estudos online (SOUTO, 2020; OKI; LAWRENCE, 2022; SKOUFIS *et al.*, 2023). Nesse contexto, as redes FTTH se mostraram essenciais, oferecendo maior estabilidade e velocidade, características imprescindíveis para suportar as exigências da comunicação remota. A pandemia acelerou a transição para o modelo de conectividade em fibra, tornando-a não apenas uma alternativa, mas uma necessidade para muitas famílias e empresas.

3.3 Estudos sobre CAPEX e OPEX em Redes FTTH

No contexto de redes FTTH, poucos estudos abordam a relação entre os custos de implantação (CAPEX) e os custos operacionais (OPEX). Um dos estudos encontrados foi de (ASGARIRAD; JAHROMI, 2020), que propõem uma análise detalhada dos custos envolvidos na implementação de redes FTTH, especialmente com relação ao modelo GPON. O artigo destaca que, embora o CAPEX inicial seja substancialmente dominado pelos custos de instalação da fibra até as residências, representando cerca de 60% do custo total de capital, existe uma oportunidade de redução de custos por meio de um planejamento inteligente de rede.

Os autores argumentam que, para garantir a viabilidade econômica a longo prazo, um modelo de custo integrado, que leve em conta tanto o CAPEX quanto o OPEX, é essencial para otimizar as decisões de investimento. Além disso, a análise comparativa entre diferentes arquiteturas, como GPON e AON, revela que redes GPON, embora apresentem um CAPEX mais baixo com um número elevado de assinantes, possuem um custo de implantação mais elevado antes de atingirem uma massa crítica de clientes. O estudo também sugere que, ao considerar as flutuações nos custos dos componentes ao longo do tempo e as variações na taxa de adesão, uma abordagem mais dinâmica e adaptável para o cálculo de CAPEX e OPEX se mostra necessária.

Por outro lado, o estudo de (SKOUFIS *et al.*, 2023) realiza uma avaliação técnico-econômica da migração gradual para a implementação de redes FTTH no mercado de telecomunicações grego, com foco na comparação entre os custos de implementação de redes de diferentes estágios de migração. Este estudo considera o uso de tecnologias como VDSL2 com vetorização e G.Fast antes de alcançar o estágio final com FTTH. Utilizando modelos técnico-econômicos, o artigo calcula o CAPEX, OPEX, fluxos de caixa e índices financeiros, como NPV (Net Present Value) e (ROI Return on Investment).

O artigo revela que a implementação de uma rede FTTH em um único estágio envolve um CAPEX elevado, o que pode sobrecarregar o provedor, especialmente em uma escala nacional. Por isso, uma abordagem de migração gradual, começando com a implementação de VDSL2 e G.Fast antes de alcançar o FTTH, pode ser mais vantajosa em termos de custos. Dessa forma, os lucros gerados nas fases iniciais poderiam cobrir os custos da fase final, onde o FTTH seria finalmente implementado.

Apesar de poucos estudos focarem especificamente na análise de CAPEX e OPEX em redes FTTH, a pesquisa técnico-econômica desempenha um papel essencial na implementação dessas redes. A compreensão detalhada desses custos, aliados a uma abordagem quantitativa

sólida, é fundamental para a tomada de decisões estratégicas eficientes, principalmente quando se trata de viabilizar a implantação e garantir a sustentabilidade econômica de projetos de rede de grande escala. Isso torna o estudo quantitativo indispensável para a implementação bem-sucedida de redes FTTH, uma vez que fornece os dados necessários para que os provedores possam planejar, avaliar riscos e maximizar retornos financeiros.

3.4 Lacunas na Literatura e Contribuições do Trabalho

Embora existam diversos estudos sobre a implementação de redes FTTH em áreas urbanas e rurais, não foram encontrados trabalhos que realizassem uma comparação detalhada entre esses dois cenários. A maior parte das pesquisas analisadas aborda cada contexto separadamente, sem explorar as diferenças nos desafios técnicos e econômicos enfrentados em cada ambiente.

Além disso, um dos principais desafios identificados na literatura está na falta de uma metodologia padronizada para a análise de CAPEX e OPEX. Alguns estudos abordam esses custos de forma isolada, utilizando abordagens distintas, o que dificulta a comparação direta entre diferentes modelos de implementação. Essa falta de padronização compromete a compreensão dos impactos financeiros da FTTH, tornando desafiadora a definição de estratégias para otimizar investimentos e reduzir custos operacionais.

Diante dessas lacunas, este estudo busca contribuir trazendo uma análise comparativa detalhada, não apenas em termos de custos (CAPEX e OPEX), mas também considerando as particularidades técnicas da implementação da FTTH em diferentes ambientes. Entre esses aspectos, destacam-se a densidade populacional, a infraestrutura pré-existente, a topologia da rede e os desafios logísticos enfrentados em cada cenário. Além disso, a pesquisa se baseia em dados reais, permitindo uma avaliação mais precisa dos investimentos necessários e do retorno financeiro esperado para provedores que desejam expandir suas operações, seja em áreas urbanas ou rurais. Dessa forma, o estudo oferece uma visão aplicada e relevante, auxiliando na tomada de decisões estratégicas para a implantação eficiente da tecnologia FTTH.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo utiliza uma abordagem mista, integrando elementos qualitativos e quantitativos. Em relação aos objetivos, caracteriza-se como uma pesquisa descritiva e aplicada, com aspectos exploratórios. O caráter descritivo está no detalhamento dos aspectos técnicos, geográficos e logísticos presentes nos cenários urbanos e rurais. O caráter aplicado decorre da utilidade prática dos resultados, que podem orientar provedores e gestores na tomada de decisões relacionadas à expansão de redes ópticas. Já o caráter exploratório se justifica pela necessidade de compreender, de forma comparativa, padrões e desafios ainda pouco discutidos na literatura sobre FTTH em diferentes contextos populacionais.

A estratégia metodológica utilizada foi o estudo de caso, permitindo investigar situações reais de implantação de redes FTTH em localidades brasileiras com características distintas. A pesquisa foi realizada em três localidades do interior do Ceará: o município de Catarina, a cidade de Arneiroz e o distrito de Trussu, pertencente ao município de Acopiara. Essas regiões foram selecionadas por apresentarem cenários contrastantes, áreas urbanas consolidadas e áreas rurais dispersas, o que possibilita uma análise comparativa consistente entre densidades populacionais, extensões de rede e modelos de expansão. A escolha também se deu pela disponibilidade dos projetos técnicos fornecidos pelos provedores locais e pela experiência prévia do autor no setor, fatores que facilitaram a coleta e a interpretação dos dados.

A abordagem qualitativa da pesquisa consistiu na análise documental dos projetos FTTH cedidos por dois provedores de internet, complementada por entrevistas semiestruturadas com técnicos responsáveis pela implantação, manutenção e operação das redes. As entrevistas permitiram identificar desafios práticos enfrentados em campo, limitações estruturais, particularidades de cada território e estratégias adotadas pelos provedores para lidar com ambientes urbanos e rurais.

A abordagem quantitativa envolveu a coleta, organização e análise de dados financeiros relacionados aos custos de implantação e operação das redes. Os investimentos foram agrupados em CAPEX (Despesas de Capital), englobando materiais, equipamentos ópticos (como OLTs e ONTs), bobinas de fibra, infraestrutura e aluguel de postes; e OPEX (Despesas Operacionais), incluindo folha de pagamento, manutenção de rede, substituição de equipamentos, energia elétrica, combustível para deslocamentos técnicos e demais despesas recorrentes. A partir desses dados, foram calculados indicadores como CAPEX por usuário, CAPEX por quilômetro (rede local e rede troncal), OPEX por usuário e OPEX por quilômetro. Estes indicadores permitiram

comparar, de forma proporcional e padronizada, as diferenças entre os cenários urbanos e rurais.

Essa combinação de métodos e dados possibilitou construir uma análise aprofundada sobre a viabilidade técnica e econômica da FTTH nos diferentes contextos estudados, permitindo identificar padrões, contrastes e fatores que influenciam a eficiência e o custo das redes ópticas nos territórios analisados.

5 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

5.1 Apresentação dos dados coletados

Os dados obtidos nesta pesquisa foram coletados através de pesquisas em campo e entrevistas com responsáveis de dois provedores regionais que atuam no centro-sul do estado do Ceará: provedor A e provedor B. Cada empresa disponibilizou projetos e dados de implantação e manutenção de redes FTTH em diferentes localidades, abrangendo tanto áreas urbanas quanto rurais.

Para representar o cenário urbano, foram analisados projetos de fibra de Catarina-CE e Arneiroz-CE, já o cenário rural foi representado pelo distrito Trussu de Acopiara-CE e a localidade de São Francisco em Catarina-CE. As informações técnicas foram obtidas através de projetos FTTH disponibilizados pelos provedores em formato georreferenciado (KML/KMZ) e analisados por meio da plataforma Google Earth, permitindo analisar rotas ópticas, número de postes, caixas de emenda, CTOs, bem como toda a rede de cada localidade.

Essas informações foram base para a análise e cálculo de custos de implantação (CAPEX) e dos custos de operação (OPEX), viabilizando a comparação entre os ambientes rurais e urbanos, com foco e destaque para os fatores que mais impactam a execução ou avanço de projetos FTTH em regiões com diferentes tipos de terrenos, disponibilidade de infraestrutura e densidades populacionais .

5.1.1 *Caracterização Técnica das Redes*

O estudo abrange quatro redes FTTH distribuídas entre dois provedores regionais. O Provedor A é responsável pela rede urbana da cidade de Catarina e pela rede rural da comunidade de São Francisco. Já o Provedor B atua na rede urbana da cidade de Arneiroz e na rede rural do distrito de Trussu, em Acopiara-CE.

A rede urbana de Catarina, atende atualmente cerca de 1.200 clientes ativos e foi dimensionada para suportar até 2.048 assinantes, com possibilidade de expansão futura. O projeto conta com aproximadamente 18 km de extensão de fibra óptica, distribuída em 786 postes, e possui 128 CTOs instaladas, além do POP principal, localizado na sede da empresa, responsável pelo gerenciamento e alimentação da rede. O provedor A conta com dois links de alimentação, sendo um proveniente de uma derivação do Cinturão Digital do Ceará, na cidade de Acopiara-CE, e outro fornecido por uma empresa terceirizada que lançou fibra até a localidade de Cachoeira de

Fora, ponto até o qual a GP implantou seu próprio enlace óptico.

A rede rural de São Francisco, atende 36 clientes ativos. O link de atendimento dessa localidade foi lançado pela própria empresa, a partir de um ramal da rede principal, com aproximadamente 10 km de extensão até a entrada da comunidade. A rede interna da localidade possui cerca de 1,5 km de fibra óptica, distribuída em 34 postes, com 8 CTOs capazes de atender até 64 conexões simultâneas.

Já a rede urbana da cidade de Arneiroz tem 132 clientes ativos e foi projetada para suportar até 424 pontos de conexão. Essa rede cobre uma área de cerca de 6,5 km, distribuída em 245 postes, com 53 CTOs instaladas. O link principal é proveniente de uma derivação do Cinturão Digital, controlado por uma empresa terceirizada que fornece conectividade à cidade.

O quarto projeto analisado refere-se à rede rural do distrito de Trussu, em Acopiara-CE. A rede abrange aproximadamente 3 km de extensão, distribuída em 59 postes e 18 CTOs, atendendo 97 clientes ativos, com capacidade para 144 conexões e expansão futura. O link que alimenta essa localidade parte diretamente do POP localizado na sede do provedor B, em Catarina, distante cerca de 18 km, sendo implantado por uma equipe terceirizada.

Essas informações são fundamentais para compreender as diferenças de escala e estrutura entre as redes urbanas e rurais, servindo como base para os cálculos de CAPEX e OPEX apresentados nas seções seguintes.

5.2 Cálculo do CAPEX

O CAPEX (Capital Expenditure) refere-se ao capital investido em infraestrutura de longo prazo, como a aquisição de equipamentos e materiais necessários para a implantação e expansão de uma rede de fibra óptica. Os custos de implementação foram levantados a partir do preço unitário médio de equipamentos, ferramentas e serviços de mão de obra utilizados durante a execução de todos os projetos, conforme informações fornecidas pelos provedores. O cálculo considerou os preços médios de mercado, multiplicados pelas quantidades utilizadas em cada categoria.

A tabela 1 apresenta o resumo dos custos de investimento (CAPEX) associados às principais categorias de cada projeto, abrangendo os cenários urbano e rural analisados.

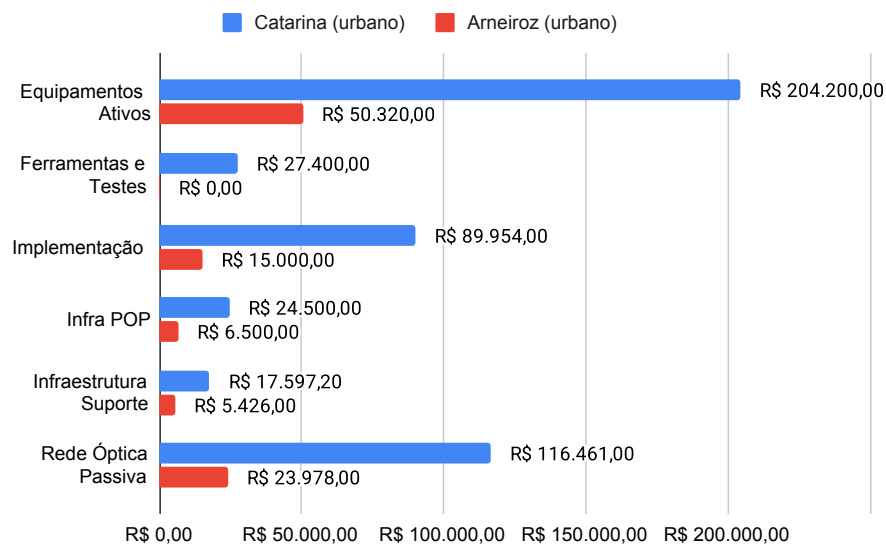
Tabela 1 – Custos totais de CAPEX das redes FTTH urbanas e rurais

Categoria	Catarina	Arneiroz	São Francisco	Trussu
Equipamentos Ativos	R\$ 204.200,00	R\$ 50.320,00	R\$ 11.960,00	R\$ 25.170,00
Ferramentas e Testes	R\$ 27.400,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Implementação	R\$ 89.954,00	R\$ 15.000,00	R\$ 8.414,20	R\$ 27.000,00
Infraestrutura POP	R\$ 24.500,00	R\$ 6.500,00	R\$ 0,00	R\$ 2.000,00
Infraestrutura Suporte	R\$ 17.597,20	R\$ 5.425,50	R\$ 904,90	R\$ 1.366,95
Rede Óptica Passiva	R\$ 116.461,00	R\$ 23.978,00	R\$ 6.975,30	R\$ 13.384,60
Total CAPEX	R\$ 480.112,20	R\$ 101.223,50	R\$ 28.254,40	R\$ 68.921,55

Fonte: Elaboração própria (2025).

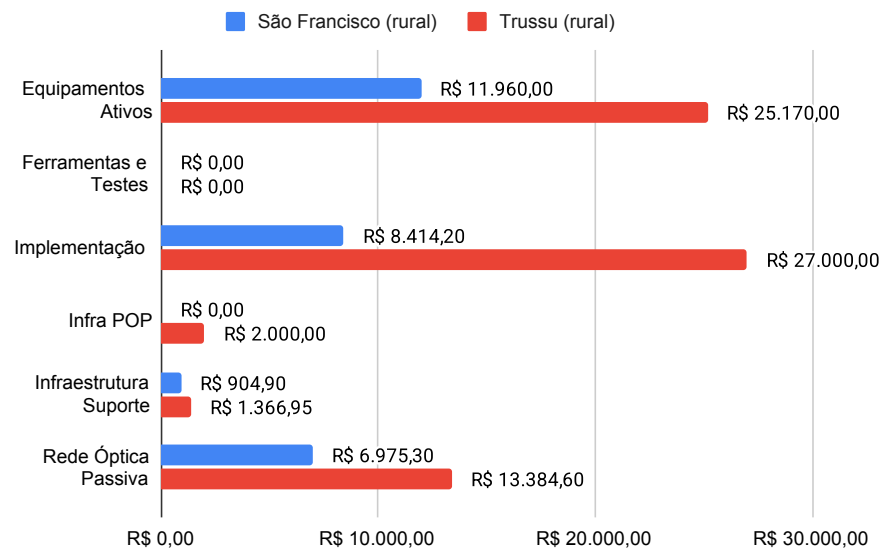
Para melhor visualização das diferenças de investimento entre os projetos, as Figuras 1 e 2 apresentam os gráficos comparativos de CAPEX, agrupando respectivamente as redes urbanas (Catarina e Arneiroz) e as redes rurais (São Francisco e Trussu).

Figura 1 – Gráfico comparativo de CAPEX das redes FTTH urbanas (Catarina e Arneiroz).



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 2 – Gráfico comparativo de CAPEX das redes FTTH rurais (São Francisco e Trussu).



Fonte: Elaboração própria (2025).

Pode-se observar, a partir das Figuras 1 e 2, que a distribuição das categorias de investimento é semelhante entre os cenários urbano e rural, o que demonstra que a estrutura básica de uma rede FTTH mantém a mesma composição de custos, independentemente da localidade. No entanto, as proporções de investimento em cada categoria variam significativamente conforme a categoria, escala da rede e o número de clientes atendidos.

Nas redes urbanas, como a de Catarina, nota-se um investimento mais elevado em equipamentos ativos, superando R\$ 200 mil, valor condizente com o porte do projeto e sua capacidade de atendimento de até 2.048 clientes. Em seguida, destacam-se as categorias de rede óptica passiva e implementação, que representam, respectivamente, o segundo e o terceiro maiores custos do cenário urbano.

Já nas redes rurais, a ordem de relevância dos custos apresenta variações. No Trussu, por exemplo, a implementação foi a categoria de maior despesa, seguida pelos equipamentos ativos e, em terceiro lugar, pela rede óptica passiva. Essa diferença se deve principalmente à necessidade de lançamento de links dedicados para transporte do sinal óptico, o que elevou os gastos de implantação.

Um exemplo expressivo é justamente a rede do Trussu, em que apenas o link de alimentação representou cerca de R\$ 19.000,00 em equipamentos e R\$ 8.000,00 em serviços de mão de obra terceirizada especializada. Nesse caso, o valor total destinado à implantação superou o custo com equipamentos ativos, demonstrando o impacto direto que a logística e a terceirização

exercem sobre o investimento final. É importante destacar que o provedor B adota, de forma recorrente, a terceirização da implantação de suas redes FTTH, o que justifica a elevação dos custos nessa fase do projeto quando comparada ao provedor A, que realiza a maior parte das implantações com equipe própria.

Além da análise dos valores absolutos, foram calculados indicadores relativos de investimento, considerando o CAPEX por usuário e o CAPEX por quilômetro total de rede implantada (rede local somada aos links troncais). Esses indicadores permitem comparar o desempenho e a eficiência econômica entre as redes com diferentes escalas e densidades de atendimento.

Tabela 2 – Indicadores relativos de investimento (CAPEX/clientes e CAPEX/km total)

Localidade	CAPEX	Clientes	KM	CAPEX/clientes	CAPEX/km Total
Catarina	R\$ 480.112,20	1200	142,5	R\$ 400,09	R\$ 3.369,21
Arneiroz	R\$ 101.223,50	132	6,4	R\$ 766,84	R\$ 15.816,17
Trussu	R\$ 68.921,55	97	22,1	R\$ 710,53	R\$ 3.118,62
São Francisco	R\$ 28.254,40	36	11,5	R\$ 784,84	R\$ 2.456,90

Fonte: *Elaboração própria (2025).*

A análise desses indicadores evidencia que, embora a rede de Catarina apresente o maior investimento total em valores absolutos, ela também se mostra a mais eficiente economicamente, apresentando o menor CAPEX por usuário. Esse desempenho é resultado direto da elevada densidade de clientes atendidos, que permite diluir os custos fixos da infraestrutura ao longo de uma base ampla de assinantes.

Em contraste, Arneiroz, apesar de se tratar de um cenário urbano, apresenta um CAPEX por cliente significativamente superior ao de Catarina. Essa diferença está associada principalmente à menor quantidade de usuários conectados em uma rede relativamente compacta, o que reduz a capacidade de diluição dos investimentos. Esse comportamento torna-se ainda mais evidente ao se observar o CAPEX por quilômetro total, que em Arneiroz alcança R\$ 15.816,17/km, valor substancialmente superior ao observado em Catarina R\$ 3.369,21/km.

Nos cenários rurais, observa-se que o investimento total é menor em termos absolutos; entretanto, o CAPEX por usuário permanece elevado, refletindo a baixa densidade populacional e a necessidade de longos enlaces troncais para interligação dessas localidades à rede principal. No caso do Trussu, por exemplo, embora o CAPEX/km total seja relativamente próximo ao de Catarina, o número reduzido de clientes faz com que o custo por usuário se mantenha elevado. Em São Francisco, essa característica é ainda mais acentuada, devido à menor escala da rede e à dispersão geográfica dos atendimentos.

De forma geral, os resultados indicam que projetos urbanos tendem a exigir maiores investimentos iniciais, porém apresentam melhor aproveitamento da infraestrutura instalada e menores custos relativos por cliente, aumentando o potencial de retorno financeiro. Já os projetos rurais, embora demandem menor capital absoluto, enfrentam limitações relacionadas à dispersão territorial e à baixa densidade de usuários, o que reduz a eficiência econômica do investimento.

5.3 Cálculo do OPEX

O OPEX (Operational Expenditure) corresponde aos desembolsos necessários para manter a rede FTTH em funcionamento após a sua implantação. Estas despesas englobam gastos recorrentes, como mão de obra técnica, energia elétrica, aluguel de postes, tributos, veículos e reposição de materiais para manutenção da rede. As informações para o cálculo, foram coletadas juntamente com os dois provedores, considerando a média mensal dos gastos analisados. Os valores foram calculados a partir dos custos reais verificados em cada região possibilitando uma representação fiel do funcionamento das redes estudadas.

As categorias de OPEX consideradas neste estudo foram organizadas de acordo com os principais grupos de despesas operacionais informados pelos provedores. A categoria Impostos inclui gastos com consultoria, tributos, contratos de softwares administrativos e aluguel de postes. A categoria Rede abrange despesas com reposição de materiais, substituição de equipamentos danificados, energia consumida no POP e pagamentos relacionados ao link IP. Os gastos com Logística correspondem às despesas com combustível, manutenção e operação dos veículos utilizados nas atividades de campo. Por fim, a categoria Pessoal contempla custos com salários e encargos das equipes técnica e administrativa, responsáveis pela manutenção e atendimento das localidades.

Para a categoria de pessoal, adotou-se um critério de proporcionalidade, considerando que as equipes técnicas e administrativas atendem simultaneamente mais de uma localidade. Assim, o custo total mensal de mão de obra de cada provedor foi distribuído conforme a participação relativa de clientes atendidos em cada rede estudada. No caso do provedor A, os 1.236 clientes de Catarina e São Francisco foram utilizados como base; enquanto no provedor B o custo da equipe foi dividido proporcionalmente entre Arneiroz e Trussu, totalizando 229 clientes atendidos.

A Tabela 3 apresenta os valores totais de OPEX referentes a cada localidade estudada, organizados conforme as categorias operacionais analisadas. Esses dados permitem uma visão sólida dos principais gastos mensais necessários para manter o funcionamento das redes FTTH

nos cenários urbano e rural.

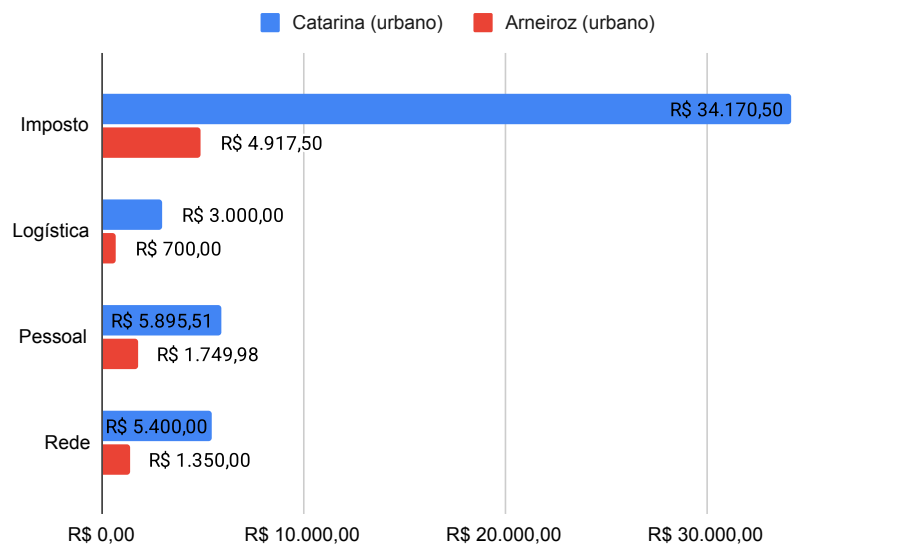
Tabela 3 – Custos totais de OPEX das redes FTTH urbanas e rurais

Categorias	Catarina	Arneiroz	São Francisco	Trussu
Imposto	R\$ 34.170,50	R\$ 4.917,50	R\$ 1.610,00	R\$ 3.036,00
Logística	R\$ 3.000,00	R\$ 700,00	R\$ 100,00	R\$ 200,00
Pessoal	R\$ 5.895,51	R\$ 1.749,98	R\$ 176,49	R\$ 1.286,02
Rede	R\$ 5.400,00	R\$ 1.350,00	R\$ 160,00	R\$ 1.040,00
Total OPEX	R\$ 48.466,01	R\$ 8.717,48	R\$ 2.046,49	R\$ 5.562,02

Fonte: Elaboração própria (2025).

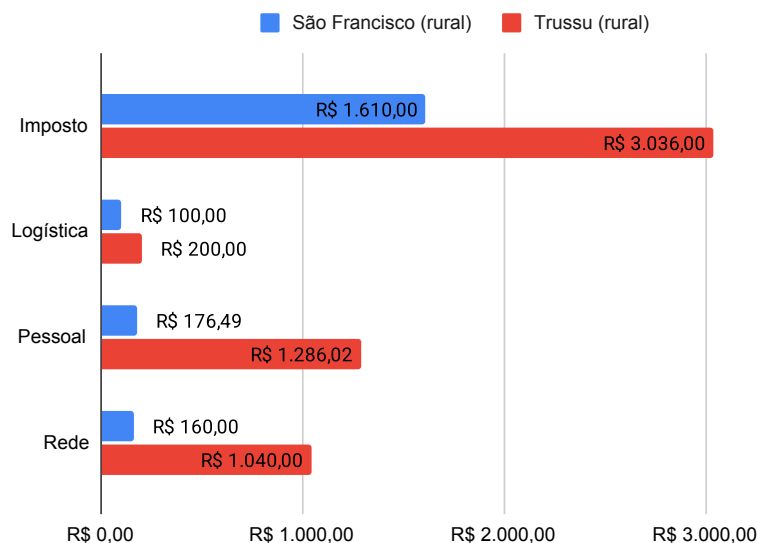
Para facilitar a interpretação dos dados apresentados, os valores de OPEX foram representados graficamente. Dessa forma, as Figuras 3 e 4 permitem visualizar de maneira mais intuitiva as diferenças entre os cenários urbanos e rurais.

Figura 3 – Gráfico comparativo de OPEX das redes FTTH urbanas (Catarina e Arneiroz).



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 4 – Gráfico comparativo de OPEX das redes FTTH rurais (São Francisco e Trussu).



Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise dos gráficos apresentados nas Figuras 3 e 4 evidencia que, embora as categorias de OPEX se mantenham as mesmas em todos os cenários, a relevância relativa de cada uma varia de acordo com o porte da rede, a densidade populacional atendida e a estrutura necessária para sua operação.

Nas redes urbanas, observa-se que a categoria Impostos é a que exerce maior impacto sobre os gastos mensais. Em Catarina, por exemplo, essa categoria representa aproximadamente 70% do OPEX total, resultado principalmente do alto custo com aluguel de postes — que totaliza R\$ 19.170,50 — e do pagamento do DAS (Documento de Arrecadação do Simples Nacional), que alcança cerca de R\$ 11.000,00 mensais. Em seguida, destacam-se os gastos com Pessoal, relacionados aos salários dos técnicos e do setor administrativo; a categoria Rede, que inclui reposição de materiais, energia dos POPs e despesas com o link IP; e, por fim, Logística, que se mantém como o menor gasto mensal em todos os cenários analisados.

Nas redes rurais, o comportamento segue tendência semelhante, mas com particularidades importantes. No Trussu, por exemplo, a categoria Impostos também aparece como o maior custo operacional, devido ao elevado valor do aluguel dos postes do link troncal de 19 km que conecta a localidade ao POP central em Catarina. Esse único componente representa mais de dois terços de todo o OPEX mensal do distrito, evidenciando o peso dos enlaces troncais em áreas de baixa densidade populacional. Já no São Francisco, observa-se um OPEX significativamente menor em todas as categorias, reflexo do baixo número de clientes atendidos, da pequena extensão da

rede local e do link troncal reduzido, de aproximadamente 10 km.

Além da análise dos valores absolutos de OPEX, torna-se relevante avaliar indicadores proporcionais que permitam comparar a eficiência operacional das redes estudadas independentemente do seu porte. Para isso, foram calculados o OPEX por usuário e o OPEX por quilômetro de rede (incluindo trechos locais e troncais). Esses indicadores possibilitam identificar quais localidades apresentam maior custo relativo para manter seus serviços em operação, fornecendo uma visão mais precisa sobre o impacto da densidade populacional, da extensão da rede e do modelo de atendimento adotado pelos provedores. A Tabela 4 apresenta esses resultados consolidados.

Tabela 4 – Indicadores de OPEX por cliente e por quilômetro

Localidade	OPEX Total	Clientes	km Totais	OPEX/clientes	OPEX/km
Catarina	R\$ 48.466,01	1200	142,5 km	R\$ 40,39	R\$ 340,75
Arneiroz	R\$ 8.717,48	132	6,4 km	R\$ 66,04	R\$ 1.362,10
São Francisco	R\$ 2.046,49	36	11,5 km	R\$ 56,85	R\$ 177,95
Trussu	R\$ 5.562,02	97	22,1 km	R\$ 57,34	R\$ 251,68

Fonte: Elaboração própria (2025).

Apesar de os custos operacionais totais da rede de Catarina atingirem cerca de R\$50 mil mensais, sua alta densidade de usuários dilui significativamente as despesas, resultando no menor OPEX por cliente entre todos os cenários analisados. Esse efeito também se reflete no OPEX por quilômetro, considerando a presença de dois links troncais extensos (60 km e 65 km). Caso fosse considerado apenas o trecho de rede local, o custo operacional por quilômetro seria de aproximadamente R\$2.769,48, valor semelhante ao observado em Arneiroz — município que não possui link troncal próprio, uma vez que o provedor recebe o link diretamente na entrada da cidade. Ainda assim, Arneiroz apresenta o maior OPEX por usuário entre todos os cenários devido à combinação entre baixa quantidade de clientes e uma rede relativamente curta, o que impede a diluição dos custos fixos.

Nos cenários rurais, observa-se que o custo por cliente tende a ser inferior ao urbanos, mesmo com redes pequenas. Isso ocorre porque, embora a densidade populacional seja baixa, os provedores dessas localidades realizam investimentos mais enxutos na operação diária com menor uso de mão de obra, infraestrutura simplificada e poucas reposições de materiais. Assim, o custo operacional total é reduzido, e mesmo dividido por um número limitado de clientes, resulta em valores unitários mais equilibrados quando comparados à realidade urbana compacta de Arneiroz.

5.4 Análise Comparativa Urbano x Rural

A comparação integrada entre os cenários urbanos (Catarina e Arneiroz) e rurais (São Francisco e Trussu) evidencia como a densidade populacional, a extensão da rede e a presença de enlaces troncais influenciam diretamente a eficiência econômica dos projetos FTTH. A Tabela 5 apresenta os resultados consolidados.

Tabela 5 – Indicadores de Densidade de Clientes por Extensão da Rede

Localidade	Clientes	km Local	km Total	Clientes/km Local	Clientes/km Total
Catarina	1200	17,5 km	142,5 km	68,57	8,42
Arneiroz	132	6,4 km	6,4 km	20,62	20,62
São Francisco	36	1,5 km	11,5 km	24	3,13
Trussu	97	3,1 km	22,1 km	31,29	4,38

Fonte: *Elaboração própria (2025).*

Os valores apresentados evidenciam diferenças marcantes entre redes urbanas e rurais. No contexto urbano, ao se considerar apenas a rede local, observa-se uma elevada densidade de clientes em Catarina (68,57 clientes/km), refletindo sua grande concentração populacional no perímetro urbano. Arneiroz, por sua vez, apresenta densidade local de 20,62 clientes/km, coerente com sua rede compacta de apenas 6,4 km e o número mais reduzido de assinantes atendidos.

Nas redes rurais, Trussu apresenta uma densidade local de 31,29 clientes/km, valor superior ao observado em Arneiroz. Esse resultado está associado à menor extensão da rede local em Trussu (3,1 km), o que eleva a razão clientes por quilômetro, mesmo com um número absoluto de assinantes inferior ao do cenário urbano. Entretanto, essa relação muda significativamente quando se considera a extensão total da rede, incluindo os enlaces troncais. Esse efeito não é exclusivo das áreas rurais, sendo também observado em cenários urbanos que dependem de links provenientes de outras cidades. Em Catarina, por exemplo, a densidade de clientes cai de 68,57 clientes/km na rede local para apenas 8,42 clientes/km quando considerada a extensão total da infraestrutura, evidenciando o impacto direto dos enlaces troncais na eficiência da rede.

Ao incluir os enlaces troncais no cálculo, o cenário se altera de forma expressiva: a densidade total cai para 4,38 clientes/km em Trussu e para 3,13 clientes/km em São Francisco, refletindo a necessidade de longos trechos de fibra para conectar áreas rurais dispersas. Estes valores traduzem a característica típica da zona rural, onde grandes distâncias e baixa concentração habitacional ampliam a malha de rede e elevam o custo proporcional por cliente atendido.

No conjunto, os resultados demonstram que redes urbanas são mais eficientes economi-

camente devido à maior densidade populacional e à infraestrutura local mais compacta. Já as áreas rurais enfrentam maior impacto econômico por conta da baixa densidade, longas distâncias e dependência de enlaces troncais. Esses achados reforçam que a viabilidade das redes FTTH está diretamente associada ao equilíbrio entre demanda, densidade territorial e extensão da infraestrutura.

5.5 Limitação dos Dados

Embora os resultados obtidos neste estudo ofereçam uma visão consistente sobre os custos de implantação (CAPEX) e operação (OPEX) de redes FTTH em cenários urbanos e rurais, algumas limitações devem ser consideradas para evitar generalizações indevidas.

Primeiro, os dados utilizados refletem um recorte específico de tempo, baseado no período de coleta realizado junto aos provedores. Os custos de mão de obra, materiais, equipamentos e serviços podem sofrer variações sazonais ou ser impactados por oscilações de mercado, mudanças contratuais, reajustes tributários ou atualizações tecnológicas. Portanto, os valores apresentados representam uma fotografia do momento analisado.

Além disso, parte dos custos foi padronizada com base em preços médios de mercado e fornecedores locais, já que alguns projetos não possuíam registros históricos completos dos valores utilizados na época da implantação. Essa padronização foi necessária para manter a comparabilidade entre os cenários, mas pode introduzir desvios em relação aos gastos reais originalmente incorridos pelos provedores.

Outro aspecto relevante refere-se às características operacionais específicas de cada provedor analisado. Por razões éticas e de confidencialidade, os provedores participantes não foram identificados nominalmente, visto que os dados analisados incluem informações técnicas e financeiras sensíveis. Cada empresa possui modelos próprios de gestão, níveis distintos de terceirização, políticas de aquisição e estratégias de expansão, fatores que influenciam diretamente o CAPEX e o OPEX e que podem não representar a realidade de outros provedores, mesmo em localidades com características semelhantes.

Por fim, destaca-se que a análise comparativa considera quatro cenários com escalas distintas de atendimento, o que limita a extrapolação dos resultados para regiões metropolitanas ou redes estruturadas em arquiteturas diferentes daquelas estudadas. Assim, os achados deste trabalho devem ser interpretados dentro do contexto analisado, servindo como referência, mas não como um padrão universal para todas as implementações FTTH.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram diferenças expressivas entre a implementação de redes FTTH em cenários urbanos e rurais, tanto no aspecto técnico quanto econômico. As análises de CAPEX e OPEX mostraram que, embora os investimentos totais em áreas urbanas sejam superiores, a maior densidade de usuários nessas regiões possibilita custos proporcionalmente menores por cliente e maior eficiência na utilização da infraestrutura.

Esse comportamento é especialmente evidente na rede de Catarina, que apresentou os menores valores de CAPEX/usuário e OPEX/usuário, refletindo um aproveitamento otimizado da rede local, uma ampla cobertura urbana e um grande volume de assinantes capazes de diluir os custos fixos. Por outro lado, Arneiroz, apesar de ser um cenário urbano, possui uma rede relativamente compacta. A baixa densidade de clientes distribuídos ao longo dessa rede reduzida resulta em custos proporcionais mais elevados, especialmente no OPEX por usuário.

Outro ponto relevante revelado pelos dados refere-se ao impacto tecnológico da FTTH na redução dos custos operacionais. Antes da chegada da fibra óptica em localidades rurais, como era o caso do São Francisco e de outros sítios próximos, o atendimento se dava por enlaces via rádio ou cabo metálico, que apresentavam alta susceptibilidade a falhas. A ausência recorrente de energia elétrica, típica do cotidiano de diversas comunidades e cidades do interior, levava à queima frequente de fontes, rádios e equipamentos instalados nas residências ou nos POPs das torres, gerando despesas significativas e imprevisíveis para os provedores. Com a adoção da FTTH, tais localidades passaram a depender de muito menos equipamentos ativos, reduzindo substancialmente os riscos de danos, a necessidade de manutenção e o impacto desses eventos no OPEX mensal.

Observou-se que, além da densidade de usuários, a qualidade do serviço ofertado influencia diretamente a viabilidade econômica das redes FTTH. Em áreas rurais, o maior custo de atendimento por cliente resulta na oferta de planos com menor capacidade de banda, enquanto nas áreas urbanas a maior concentração populacional permite planos com velocidades superiores e melhor diluição dos custos de CAPEX e OPEX. Assim, o custo de implantação não está associado apenas à quantidade de usuários, mas também às características técnicas da rede, à capacidade ofertada e às condições operacionais de cada cenário.

No conjunto, os resultados evidenciam que a viabilidade econômica das redes FTTH está diretamente associada ao equilíbrio entre densidade populacional, extensão da infraestrutura necessária e custos operacionais recorrentes. Redes urbanas tendem a apresentar maior eficiência

devido à maior concentração de clientes, enquanto redes rurais enfrentam desafios adicionais decorrentes da baixa densidade e da dependência de longos enlaces troncais, o que eleva significativamente os custos proporcionais por usuário.

Por fim, conclui-se que a expansão das redes FTTH é tecnicamente viável em ambos os cenários, mas apresenta implicações econômicas distintas. Essas diferenças reforçam a importância de um planejamento prévio rigoroso antes de qualquer implantação, incluindo estimativas realistas de demanda, levantamento de potenciais assinantes, análise da infraestrutura existente e projeções detalhadas de CAPEX e OPEX. A ausência desse diagnóstico pode resultar em investimentos desbalanceados e baixa eficiência operacional, especialmente para provedores regionais, que atuam com margens mais sensíveis e dependem de decisões estratégicas bem fundamentadas.

REFERÊNCIAS

- ADHI, M. A. K.; RAFDI, E. A.; HALIMSURYA, E.; IMRAN, M. E.; HUTASUHUT, M. A.; PUTRA, A. R.; APRIONO, C. Design of fiber to the home (ftth) for urban housing of griya mukti residence. In: **Proceedings of the International Conference on Electrical and Information Technology**. [S.l.]: IEEE, 2021. p. 257–262.
- ASGARIRAD, M.; JAHROMI, M. N. A taxonomy-based comparison of ftth network implementation costs. **Majlesi Journal of Electrical Engineering**, v. 14, n. 2, p. 71–80, 2020.
- CORTES, L. d. C.; MOREIRA, J. P.; RODRIGUES, J. L. Projeto de uma rede gpon implementada. **Seminário de Tecnologia, Gestão e Educação**, v. 2, n. 2, 2020.
- JUNIOR, J. I. G. d. F. **Análise do crescimento da infraestrutura de redes FTTH no Brasil e seus impactos: uma investigação sobre a expansão do uso da arquitetura de fibra óptica para o fornecimento de serviços de internet de alta velocidade**. Trabalho de Conclusão de Curso, 2023.
- KRAVCHENKO, Y.; TOLYUPA, S.; BARABASH, O.; TRUSH, A.; LESHCHENKO, O. Topology of optical networks ftth (fiber-to-the-home). **Bulletin of the National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute**, n. 7, p. 150–155, 2017.
- OKI, O.; LAWRENCE, M. O. The cost-effectiveness of fibre optic technology deployment in rural area: a case study of mdantsane. **Journal on Innovation and Sustainability RISUS**, v. 13, n. 2, p. 111–123, 2022.
- OLIVEIRA, F. J. R. **Análise da viabilidade técnica e econômica para implantação de redes FTTx em zonas rurais**. Trabalho de Conclusão de Curso, 2021.
- SKOUFIS, A.; CHATZITHANASIS, G.; DEDE, G.; FILIOPOULOU, E.; KAMALAKIS, T.; MICHALAKELIS, C. Technoeconomic assessment of an ftth network investment in the greek telecommunications market. **Telecommunication Systems**, Springer, v. 82, n. 2, p. 211–227, 2023.
- SOUTO, C. H. S. **A fibra óptica e suas tecnologias aplicadas a provedores de internet**. [S.l.]: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.
- SOUTO, D. H.; JUNIOR, D. M. M. Os desafios da rede ftth no brasil. **Revista de Iniciação Científica da Libertas – Faculdades Integradas**, 2023. Artigo submetido em 04 dez. 2023 e apresentado em 23 nov. 2023.

ANEXOS

.1 Dados dos projetos FTTH – Catarina

Categorias	Elemento	Quantidade	Unitário	Total
Implementação	Links de uplink	2	R\$ 0,00	R\$ 71.304,00
Implementação	Mão de obra	1	R\$ 18.000,00	R\$ 18.000,00
Implementação	Combustível	1	R\$ 650,00	R\$ 650,00
Equipamentos Ativos	OLT	1	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00
Equipamentos Ativos	Inversor -48	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Equipamentos Ativos	CCR	1	R\$ 9.500,00	R\$ 9.500,00
Equipamentos Ativos	Servidor de dados	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Equipamentos Ativos	ONU/ONT	1200	R\$ 110,00	R\$ 132.000,00
Equipamentos Ativos	Switches	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Equipamentos Ativos	retificadora	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Equipamentos Ativos	Climatização	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Equipamentos Ativos	Baterias	4	R\$ 800,00	R\$ 3.200,00
Ferramentas e Testes	Máquina de Fusão	2	R\$ 10.000,00	R\$ 20.000,00
Ferramentas e Testes	OTDR	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Ferramentas e Testes	Power Meter	3	R\$ 500,00	R\$ 1.500,00
Ferramentas e Testes	Clivador de Fibra	2	R\$ 300,00	R\$ 600,00
Ferramentas e Testes	Etiquetadora	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Infraestrutura da Rede	Postes	786	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Infraestrutura da Rede	BAP	914	R\$ 10,50	R\$ 9.597,00
Infraestrutura da Rede	Olhal	80	R\$ 6,50	R\$ 520,00
Infraestrutura da Rede	SUPA	1490	R\$ 2,80	R\$ 4.172,00
Infraestrutura da Rede	Alça Preformada	1572	R\$ 1,35	R\$ 2.122,20
Infraestrutura da Rede	Plaqueta	786	R\$ 1,00	R\$ 786,00
Infraestrutura da Rede	Etiqueta	10	R\$ 40,00	R\$ 400,00
Infraestrutura do POP	Racks/bandejas	1	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
Infraestrutura do POP	quadro eletrico	1	R\$ 7.000,00	R\$ 7.000,00
Infraestrutura do POP	Gerador	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00

Rede Óptica Passiva	Fibra Óptica	17.590	R\$ 0,70	R\$ 12.313,00
Rede Óptica Passiva	Cabo Drop	150.000	R\$ 0,50	R\$ 75.000,00
Rede Óptica Passiva	CEO	12	R\$ 170,00	R\$ 2.040,00
Rede Óptica Passiva	CTO	128	R\$ 137,00	R\$ 17.536,00
Rede Óptica Passiva	DIO	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Rede Óptica Passiva	Splitter Óptico	12	R\$ 50,00	R\$ 600,00
Rede Óptica Passiva	Conectores Ópticos	2400	R\$ 3,40	R\$ 8.160,00
Rede Óptica Passiva	cordão óptico	24	R\$ 13,00	R\$ 312,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 480.112,20

.2 Dados dos projetos FTTH – Arneiroz

Categorias	Elemento	Quantidade	Unitário	Total
Implementação	Mão de obra	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Equipamentos Ativos	OLT	1	R\$ 25.000,00	R\$ 25.000,00
Equipamentos Ativos	ONU/ONT	132	R\$ 110,00	R\$ 14.520,00
Equipamentos Ativos	Baterias	6	R\$ 800,00	R\$ 4.800,00
Equipamentos Ativos	retificadora	1	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00
Infraestrutura da Rede	Postes	245	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Infraestrutura da Rede	BAP	298	R\$ 10,50	R\$ 3.129,00
Infraestrutura da Rede	Olhal	20	R\$ 6,50	R\$ 130,00
Infraestrutura da Rede	SUPA	450	R\$ 2,80	R\$ 1.260,00
Infraestrutura da Rede	Alça Preformada	490	R\$ 1,35	R\$ 661,50
Infraestrutura de Rede	Plaqueta	245	R\$ 1,00	R\$ 245,00
Infraestrutura do POP	Racks/bandejas	1500	R\$ 1,00	R\$ 1.500,00
Infraestrutura do POP	quadro eletrico	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Rede Óptica Passiva	Fibra Óptica	6.400	R\$ 0,70	R\$ 4.480,00
Rede Óptica Passiva	Cabo Drop	19800	R\$ 0,50	R\$ 9.900,00
Rede Óptica Passiva	CEO	2	R\$ 170,00	R\$ 340,00
Rede Óptica Passiva	CTO	53	R\$137,00	R\$ 7.261,00

Rede Óptica Passiva	DIO	1	R\$500,00	R\$ 500,00
Rede Óptica Passiva	Splitter Óptico	2	R\$50,00	R\$ 100,00
Rede Óptica Passiva	Conectores Ópticos	388	R\$3,40	R\$ 1.319,20
Rede Óptica Passiva	cordão óptico	6	R\$ 13,00	R\$ 78,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 101.223,70

.3 Dados dos projetos FTTH – São Francisco

Categorias	Elemento	Quantidade	Unitário	Total
Implementação	Links de uplink	1	R\$ 7.964,20	R\$ 7.964,20
Implantação	Combustível	1	R\$ 450,00	R\$ 450,00
Equipamentos Ativos	OLT	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Equipamentos Ativos	ONU/ONT	36	R\$ 110,00	R\$ 3.960,00
Infraestrutura da Rede	Postes	34	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Infraestrutura da Rede	BAP	42	R\$ 10,50	R\$ 441,00
Infraestrutura da Rede	Olhal	6	R\$ 6,50	R\$ 39,00
Infraestrutura da Rede	SUPA	68	R\$ 2,80	R\$ 190,40
Infraestrutura da Rede	Alça Preformada	70	R\$ 1,35	R\$ 94,50
Infraestrutura da Rede	Cordão Óptico	1	R\$ 13,00	R\$ 13,00
Infraestrutura de Rede	Plaqueta	140	R\$ 1,00	R\$ 140,00
Rede Óptica Passiva	Fibra Óptica	1493	R\$ 0,70	R\$ 1.045,10
Rede Óptica Passiva	Cabo Drop	9000	R\$ 0,50	R\$ 4.500,00
Rede Óptica Passiva	CTO	8	R\$137,00	R\$ 1.096,00
Rede Óptica Passiva	Splitter Óptico	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Rede Óptica Passiva	Conectores Ópticos	68	R\$3,40	R\$ 231,20
Rede Óptica Passiva	Etiqueta	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 28.254,40

.4 Dados dos projetos FTTH – Trussu

Categorias	Elemento	Quantidade	Unitário	Total
Implementação	Links de uplink	1	R\$ 19.000,00	R\$ 19.000,00
Implementação	Mão de obra	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Equipamentos Ativos	OLT	1	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00
Equipamentos Ativos	ONU/ONT	97	R\$ 110,00	R\$ 10.670,00
Equipamentos Ativos	Switch	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Equipamentos Ativos	Climatização	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Equipamentos Ativos	Baterias	5	R\$ 800,00	R\$ 4.000,00
Infraestrutura da Rede	Postes	59	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Infraestrutura da Rede	BAP	77	R\$ 10,50	R\$ 808,50
Infraestrutura da Rede	Olhal	6	R\$ 6,50	R\$ 39,00
Infraestrutura da Rede	SUPA	109	R\$ 2,80	R\$ 305,20
Infraestrutura da Rede	Alça Preformada	115	R\$ 1,35	R\$ 155,25
Infraestrutura de Rede	Plaqueta	59	R\$ 1,00	R\$ 59,00
Infraestrutura do POP	Racks/bandejas	1500	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
Rede Óptica Passiva	Fibra Óptica	3.408	R\$ 0,70	R\$ 2.133,60
Rede Óptica Passiva	Cabo Drop	14550	R\$ 0,50	R\$ 7.275,00
Rede Óptica Passiva	CEO	2	R\$ 170,00	R\$ 340,00
Rede Óptica Passiva	CTO	18	R\$137,00	R\$ 2.466,00
Rede Óptica Passiva	DIO	1	R\$500,00	R\$ 500,00
Rede Óptica Passiva	Splitter Óptico	2	R\$50,00	R\$ 100,00
Rede Óptica Passiva	Conectores Ópticos	160	R\$3,40	R\$ 544,00
Rede Óptica Passiva	cordão óptico	2	R\$ 13,00	R\$ 26,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 68.921,55

.5 Opex projeto FTTH Catarina

Categorias	Elemento	Quantidade	Unitário	Total
-------------------	-----------------	-------------------	-----------------	--------------

Imposto	Tributos	1	R\$ 1.400,00	R\$ 1.400,00
Imposto	Aluguel de postes e taxas operacionais	1	R\$ 32.770,50	R\$ 32.770,50
Logística	Trasnporte e combustível	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Pessoal	Equipe técnica	1	R\$ 5.895,51	R\$ 5.895,51
Rede	Reposição de materiais	1	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Rede	Equipamentos danificados	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Rede	Energia elétrica mensal	1	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Rede	Internet de trânsito (link IP)	1200	R\$ 2,00	R\$ 2.400,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 48.466,01

.6 Opex projeto FTTH Arneiroz

Categorias	Elemento	Quantidade	Unitário	Total
Imposto	Tributos e taxas operacionais	1	R\$ 2.100,00	R\$ 2.100,00
Imposto	Aluguel de postes	1	R\$ 2.817,50	R\$ 2.817,50
Logística	Trasnporte e combustível	1	R\$ 700,00	R\$ 700,00
Pessoal	Equipe técnica	1	R\$ 1.749,98	R\$ 1.749,98
Rede	Reposição de materiais	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Rede	Equipamentos danificados	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Rede	Energia elétrica mensal	1	R\$ 250,00	R\$ 250,00
Rede	Internet de trânsito (link IP)	150	R\$ 2,00	R\$ 300,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 8.717,48

.7 Opex projeto FTTH São Francisco

Categorias	Elemento	Quantidade	Unitário	Total
Imposto	Aluguel de postes	140	R\$ 11,50	R\$ 1.610,00
Logística	Trasnporte e combustível	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00

Pessoal	Equipe técnica	1	R\$ 176,49	R\$ 176,49
Rede	Equipamentos danificados	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Rede	Internet de trânsito (link IP)	30	R\$ 2,00	R\$ 60,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 2.046,49

.8 Opex projeto FTTH Trussu

Categorias	Elemento	Quantidade	Unitário	Total
Imposto	Aluguel de postes	264	R\$ 11,50	R\$ 3.036,00
Logística	Trasnporte e combustível	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Pessoal	Equipe técnica	1	R\$ 1.286,02	R\$ 1.286,02
Rede	Reposição de materiais	1	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Rede	Equipamentos danificados	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
Rede	Energia elétrica mensal	1	R\$ 110,00	R\$ 110,00
Rede	Internet de trânsito (link IP)	115	R\$ 2,00	R\$ 230,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 5.562,02