

Estudo de caso da evolução das redes FTTH no Brasil: impactos da transição das tecnologias PONs na expansão da banda larga.

Case study on the evolution of FTTH networks in Brazil: impacts of the transition of PON technologies on broadband expansion.

¹Ana Laura Magalhães de Sousa, ²Nathalia Rodrigues da Silva, ³Kelias de Oliveira, ⁴João Batista José Pereira.

¹Engenheira Eletricista – Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia (ana.mgs@outlook.com)

²Engenheira Eletricista – Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia (nathalia15rs@gmail.com)

³Doutor em Engenharia Eletrônica e Computação – Professor Titular – Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia (kelias.oliveira@ifg.edu.br)

⁴Doutor em Engenharia Elétrica – Professor Titular – Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia (jb@ifg.edu.br)

RESUMO: As redes FTTH consolidaram-se como a principal solução tecnológica no Brasil, em razão de sua elevada capacidade de transmissão, baixa latência e maior estabilidade em comparação às tecnologias baseadas em meios metálicos. Este trabalho analisou, de forma teórica e experimental, a evolução das tecnologias de Redes Ópticas Passivas (PON), com ênfase nas tecnologias EPON, GPON e XGS-PON, avaliando suas características técnicas, limitações operacionais e potencial de expansão no contexto dos provedores regionais brasileiros. A pesquisa adotou uma abordagem metodológica qualitativa e experimental. Os experimentos demonstraram que a tecnologia EPON já não atende de forma satisfatória às exigências atuais de capacidade e escalabilidade, enquanto a GPON se mostra adequada ao cenário presente do provedor analisado, sobretudo pelo equilíbrio entre desempenho e custo. Os dados experimentais indicam que a XGS-PON representa a alternativa mais preparada para atender às demandas futuras, principalmente em função de sua maior capacidade de transmissão, simetria de faixa e possibilidade de coexistência com tecnologias anteriores na mesma infraestrutura óptica.

Palavras Chave: Redes GPON. Fibra ótica. Latência. Taxa de transmissão.

ABSTRACT: FTTH networks have established themselves as the main technological solution in Brazil, due to their high transmission capacity, low latency and greater stability compared to technologies based on metallic media. This work analyzed, both theoretically and experimentally, the evolution of Passive Optical Network (PON) technologies, with an emphasis on EPON, GPON, and XGS-PON technologies, evaluating their technical characteristics, operational limitations, and expansion potential in the context of Brazilian regional providers. The research adopted a qualitative and experimental methodological approach. The experiments demonstrated that EPON technology no longer satisfactorily meets current capacity and scalability requirements, while GPON proves suitable for the current scenario of the analyzed provider, especially due to the balance between performance and cost. Experimental data indicate that XGS-PON represents the most prepared alternative to meet future demands, mainly due to its higher transmission capacity, bandwidth symmetry, and the possibility of coexistence with previous technologies on the same optical infrastructure.

Keywords: GPON networks. Optical fiber. Latency. Transmission Rate.

Recebido em:
17/06/2026
Publicado em:
06/07/2026

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fluxos de informação e dados cada vez mais rápidos e eficientes tem impulsionado a evolução das tecnologias de telecomunicações, especialmente no que se refere ao acesso à *Internet*. O desenvolvimento das redes de computadores e da própria

Internet se deve à necessidade de ampliar a capacidade de transmissão, reduzir latências e garantir maior confiabilidade na comunicação de dados (KUROSE, 2021).

Nesse cenário, a fibra óptica destaca-se como uma das soluções mais relevantes, tendo iniciado sua implementação no Brasil ainda na década de 1970 e consolidado, em 2020, sua posição como a principal tecnologia de acesso à *Internet* no país, conforme dados da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL, 2025). Essa consolidação decorre de suas vantagens técnicas, como alta taxa de transmissão, estabilidade, ampla capacidade de faixa, baixa latência, durabilidade e flexibilidade de implantação.

1.1 Fundamentação teórica.

A *Internet*, como conhecida atualmente, é resultado de um longo processo de inovação tecnológica e desenvolvimento científico, impulsionado, inicialmente, por demandas de natureza militar e acadêmica e, posteriormente, por interesses comerciais. Sua trajetória teve início como uma rede experimental de pesquisa e evoluiu até se consolidar como uma infraestrutura global capaz de conectar bilhões de pessoas em diferentes países, incluindo o Brasil.

Em 1969, o governo dos Estados Unidos, diante da necessidade de estabelecer um sistema de comunicação seguro e resiliente a possíveis ataques em cenários de guerra, desenvolveu o projeto ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*). Essa iniciativa conectou, a princípio, instituições acadêmicas e militares, dando origem à primeira rede de computadores baseada no princípio da comutação por pacotes (*Computer History Museum*, s.d.). A adoção desse modelo possibilitou que os dados fossem fragmentados em pequenos pacotes e transmitidos por diferentes rotas, sendo posteriormente reconstituídos no destino final. Esse mecanismo garantiu maior robustez à rede, uma vez que falhas em rotas específicas não comprometiam a comunicação como um todo, além de contribuir para a redução da latência em situações de tráfego intenso (HAFNER, 1996).

No Brasil, a *Internet* chegou inicialmente aos ambientes acadêmicos e científicos. Em 1989, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) estabeleceu uma das primeiras conexões internacionais do país, por meio da rede *Bitnet*, possibilitando a troca de mensagens eletrônicas e arquivos entre pesquisadores brasileiros e instituições estrangeiras (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa, 2022). Esse marco representou o começo da inserção do Brasil no cenário global de redes de computadores.

No entanto, a verdadeira transformação na qualidade e capacidade das conexões à *Internet* ocorreu com a popularização da fibra óptica. Essa tecnologia emprega pulsos luminosos para a transmissão de dados ao longo de filamentos de vidro ou plástico, oferecendo vantagens expressivas em relação aos meios metálicos, como maiores taxas de transmissão, elevada largura de faixa, menor latência e imunidade a interferências eletromagnéticas. Diante disso, a intensificação da implantação de infraestruturas baseadas em fibra óptica nas últimas décadas modificou de forma substancial a experiência de acesso à *Internet* no Brasil, viabilizando a expansão de serviços como streaming de alta definição, computação em nuvem e aplicações de *Internet* das Coisas (IoT) (PASCHOAL, 2013).

O presente estudo teve como objetivo analisar a evolução das tecnologias PONs aplicadas às redes FTTH no Brasil, investigando sua trajetória histórica, características técnicas, vantagens e limitações. Para isso, adotou-se uma abordagem teórica e experimental, a qual envolve a revisão bibliográfica sobre os fundamentos da fibra óptica e das arquiteturas FTTH, bem como a realização de testes práticos em protótipos reais de redes FTTH, desenvolvidos em parceria com um provedor local. Esses testes possibilitou a avaliação de

parâmetros como: a potência do sinal óptico, a latência, a taxa de transmissão e o gerenciamento das unidades de rede óptica.

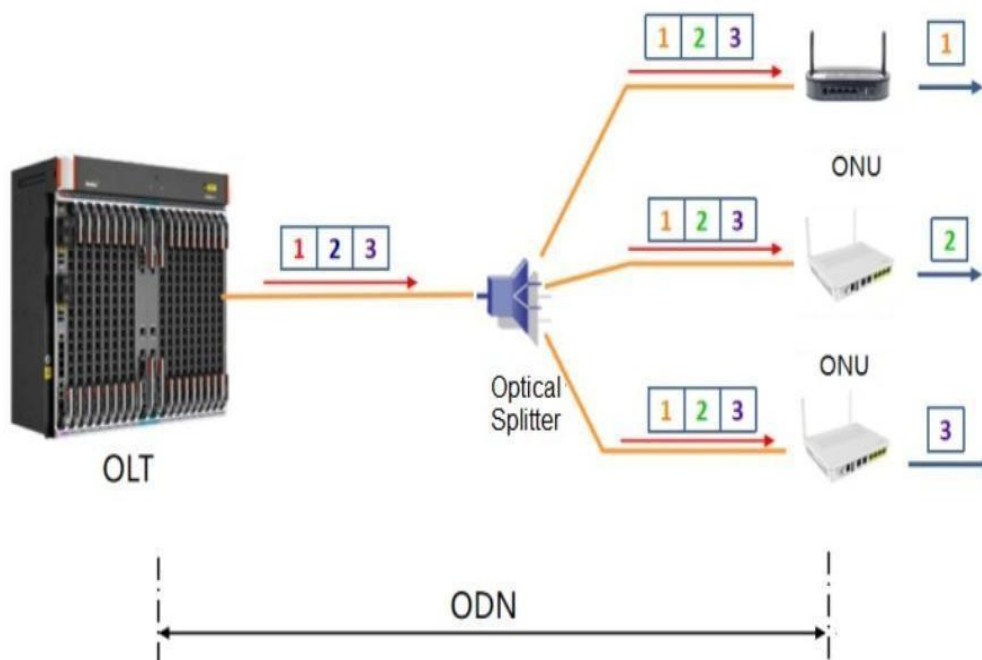
1.2 Estrutura de uma rede FTTH: elementos, funcionalidades e tipos de tecnologias.

A transformação digital no Brasil tem acelerado a migração das infraestruturas de telecomunicações baseadas em cabos metálicos para aquelas fundamentadas em fibra óptica. Nesse contexto, a arquitetura FTTH estabeleceu-se como uma das tecnologias de acesso à banda larga mais avançadas, ao possibilitar que o meio de transmissão, a fibra óptica, seja estendido desde a central do provedor até a residência ou outro ponto final do usuário. Essa característica confere à FTTH maior capacidade de transmissão, estabilidade e escalabilidade em comparação às tecnologias baseadas em cobre (SOUTO, 2023).

A evolução das redes PON ocorreu por meio de diferentes tecnologias ao longo do tempo. A EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) representou uma das primeiras soluções implementadas, porém tornou-se gradualmente obsoleta. Em seguida, a GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) consolidou-se como o padrão predominante no Brasil, em função de sua capacidade de atender a um maior número de usuários por porta e de oferecer elevadas taxas de transmissão (INTELBRÁS, 2025).

Mais recentemente, as tecnologias XG-PON (*10 Gigabit Passive Optical Network*) e XGS-PON (*10 Gigabit Symmetrical Passive Optical Network*) surgiram como alternativas promissoras, capazes de suprir a crescente demanda por maiores larguras de faixa e serviços simétricos, apontando para a substituição progressiva das soluções atualmente dominantes (INFRANEWS, 2019). A Figura 1 exemplifica a arquitetura de uma rede FTTH.

Figura 1 – Arquitetura de uma rede FTTH.



Fonte: Glsunmall (2025).

1.3 Diferença e evolução das tecnologias PON - EPON, GPON, XGPON, XGSPON

A tecnologia EPON surgiu a partir da necessidade de estender a eficiência a eficiência do padrão *Ethernet* às redes de acesso. No início dos anos 2000, perante o crescimento da demanda por serviços de banda larga, as operadoras de telecomunicações passaram a buscar soluções mais eficientes e economicamente viáveis do que as arquiteturas ponto a ponto, que exigiam a utilização de uma fibra dedicada para cada cliente.

A GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) surgiu como uma evolução da tecnologia EPON, com o objetivo de atender à crescente demanda por largura de faixa observada nos últimos anos. Enquanto a EPON foi padronizada pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), por meio da norma IEEE 802.3ah, a GPON é definida e normatizada pela ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*), o que lhe conferiu maior solidez normativa e ampla adoção no cenário global de telecomunicações (ITU-T, 2014).

A evolução mais recente das tecnologias PON inclui a XG-PON (*10-Gigabit-capable Passive Optical Network*), especificada pela recomendação ITU-T G.987. Trata-se de uma tecnologia assimétrica capaz de fornecer taxas de transmissão de até 10 Gbps no sentido *downstream* (OLT → ONU) e 2,5 Gbps no sentido *upstream* (ONU → OLT). Um dos principais diferenciais da XG-PON é a possibilidade de coexistência com redes GPON e EPON, uma vez que essas tecnologias operam em diferentes comprimentos de onda. Enquanto a XG-PON utiliza 1577nm para *downstream* e 1270nm para *upstream*, as redes GPON e EPON operam, respectivamente, em 1490nm e 1310nm. Essa separação espectral faz com que diferentes tecnologias atendam usuários distintos sobre a mesma infraestrutura de fibra óptica, facilitando a migração gradual das redes existentes (ITU-T, 2014).

Um estudo desenvolvido que apresenta uma análise voltada à viabilidade técnica e estratégica da migração de redes GPON para XGS-PON em um provedor real, com ênfase no planejamento de expansão e na necessidade de aumento de capacidade frente ao crescimento da demanda por taxa de transmissão foi abordado por (MONTENEGRO, 2024). Diferentemente da sua abordagem, que se concentra predominantemente nos aspectos de migração e modernização da infraestrutura existente, este trabalho incorpora uma análise experimental comparativa entre EPON, GPON e XGS-PON, com medições práticas de potência óptica e desempenho de transmissão.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Foram desenvolvidos dois protótipos funcionais de três redes FTTH, baseadas nas tecnologias EPON, GPON e XGS-PON, com o objetivo de demonstrar, de forma prática, as principais diferenças entre essas arquiteturas. Desse modo, evidenciou-se a evolução dessas tecnologias ao longo do tempo, considerando a crescente demanda do mercado por maiores taxas de transmissão, maior eficiência no uso da largura de faixa e melhor desempenho operacional. O estudo ressaltou como a arquitetura FTTH possibilita a migração entre diferentes tecnologias PON com impacto mínimo sobre a infraestrutura passiva existente.

Para a verificação das informações operacionais em sistema, foi usado o *software* UNM2000 (*Universal Network Management System*), desenvolvido pela *Huawei* e adotado por operadoras de telecomunicações para o gerenciamento, monitoramento e manutenção de redes de acesso e transporte. O sistema permite o gerenciamento centralizado de equipamentos como OLTs, ONUs, *switches* e roteadores em uma interface gráfica unificada.

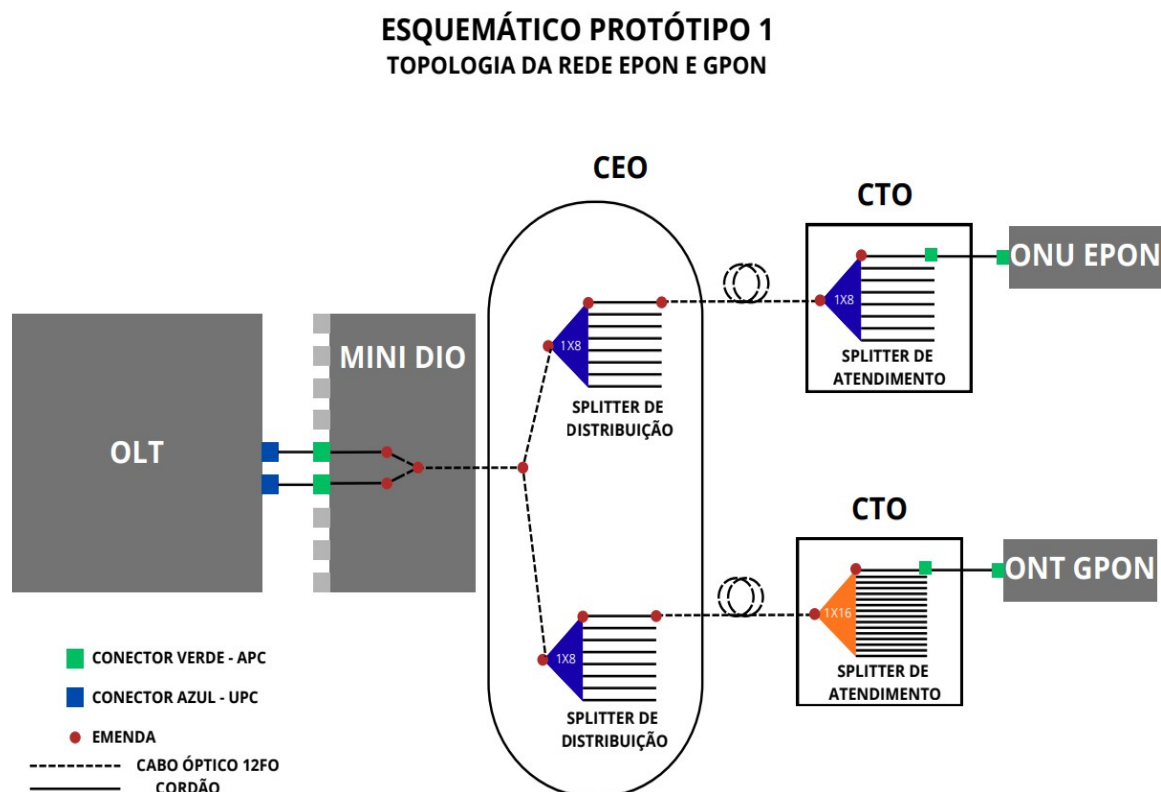
Utilizou-se o sistema IXC, uma plataforma de gestão operacional e comercial adotada por provedores de serviços de *Internet*, em especial em ambientes FTTH. No contexto da rede

de acesso, o IXC propicia o provisionamento e a liberação de clientes, o acompanhamento do *status* das ONUs, o controle de planos de taxa e a integração com equipamentos de rede, como OLTs, facilitando a ativação e o gerenciamento dos serviços.

Para a rede GPON, foi utilizada a porta PON 3 do *slot* 16 de uma placa GPON já em operação na OLT. Para a rede EPON, foi instalada uma placa OLT EPON *Fiber Home EC8B 8PON C++ (CC)* no *slot* 17, utilizando-se uma porta PON dedicada.

No protótipo 1 desenvolvido, utilizaram-se apenas as fibras 1 e 2 desse cabo, sendo a fibra 1 destinada à rede EPON e a fibra 2 à rede GPON. Esse cabo foi responsável por transportar os sinais ópticos até a caixa de emenda. A Figura 2 ilustra o protótipo 1.

Figura 2 – Projeto esquemático do protótipo 1.



A Figura 3 mostra o protótipo 1 completo montado em laboratório de teste.

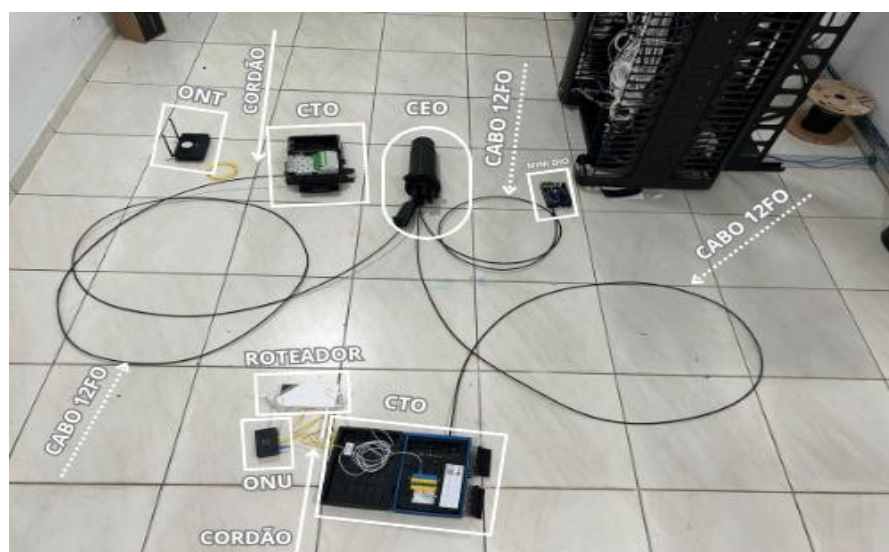
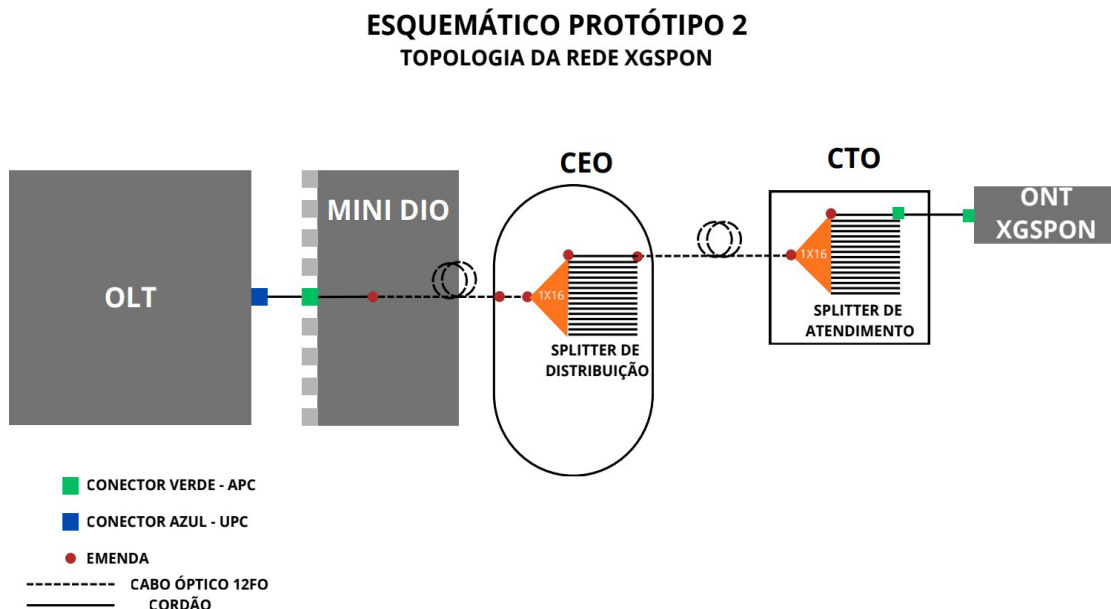


Figura 3 – Protótipo 1 completo montado.

Para a tecnologia XGS-PON, utilizou-se um segundo ponto de presença (POP), equipado com uma OLT distinta, visto que a OLT inicialmente empregada não possuía suporte à essa tecnologia. Na rede XGS-PON, adotou-se uma arquitetura de divisão óptica em dois estágios, composta por um *splitter* 1×16 seguido de outro *splitter* 1×16, como ilustra a Figura 4.

Figura 4 – Projeto esquemático do protótipo 2.



A OLT utilizada nesse protótipo foi esquematizada conforme a Figura 4 e possui capacidade para apenas um *slot*, sendo empregada a porta PON 1 desse *slot*. De forma análoga às metodologias adotadas nas tecnologias anteriores, instalou-se um mini DIO para a conexão do cordão óptico ao cabo responsável por transportar o sinal da OLT até a caixa de emenda. Na caixa de emenda, realizou-se a fusão do primeiro *splitter* óptico 1×16, responsável por dividir o sinal em 16 ramificações iguais. Em seguida, uma dessas ramificações foi encaminhada até a CTO, onde se instalou o segundo *splitter* óptico, também

do tipo 1×16, promovendo uma nova divisão do sinal. Dentre as portas disponíveis na CTO, utilizou-se apenas uma para a conexão da ONT de teste, ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Protótipo 2 completo montado.



3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

3.1 Análise da potência do sinal óptico

A atenuação total de um enlace óptico resulta da soma das perdas relacionadas à fibra por quilômetro, às perdas introduzidas por conectores e emendas e às perdas decorrentes da utilização de divisores ópticos. Nesse contexto, o projeto da rede deve assegurar uma margem de potência suficiente para manter o nível do sinal recebido dentro dos limites de sensibilidade do receptor, garantindo a operação adequada do sistema (KEISER, 2014).

3.2 Potência do sinal óptico na rede EPON

A medição da potência óptica na saída da OLT foi realizada com um *power meter* PON ORIENTEK TPN-35, conectado ao módulo óptico por meio de um cordão óptico apropriado. O valor obtido para a potência de saída foi de +3,73 dBm, no comprimento de onda de 1490nm, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Medição da potência óptica na saída da OLT EPON.



3.3 Potência do sinal óptico na rede GPON

Semelhantemente foi realizado na saída da GPON, o valor obtido para a potência de saída foi de +7,07 dBm, no comprimento de onda de 1490nm, conforme ilustrado na Figura 7. Esse resultado demonstra que a GPON, por suportar um número maior de clientes por porta PON, demanda níveis mais elevados de potência óptica de transmissão, uma vez que o sinal será submetido a um maior número de divisões ao longo da rede.

Figura 7 – Medição da potência óptica na saída da OLT GPON.



3.4 Potência do sinal óptico na rede XGS-PON

Para a rede XGS-PON, foi empregado um módulo óptico *Huawei* SFP XG-PON/GPON OLT classe C+, conforme especificações do fabricante. Foi realizado na saída da XGS-PON, o valor obtido para a potência de saída foi de +4,21 dBm, no comprimento de onda de 1577nm, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Medição da potência óptica na saída da OLT XGS-PON.



No que se refere às medições de potência óptica, os valores observados ao longo do enlace mostraram-se compatíveis com o cenário montado, considerando-se as divisões de sinal adotadas, as perdas introduzidas por conectores e emendas e os comprimentos curtos de fibra usados no ambiente de laboratório. As variações identificadas entre as tecnologias analisadas refletem as características dos módulos ópticos empregados, destacando-se o GPON classe C++, o qual exibe maior orçamento óptico e, conseqüentemente, maior tolerância a perdas e maior alcance operacional.

Outro fator importante diz respeito à quantidade de clientes suportada por porta PON. À medida que esse número aumenta, é preciso empregar um maior número de divisões ópticas, o que implica acréscimo de perdas ao longo do enlace. Esse comportamento foi claramente verificado nos protótipos analisados, em especial na tecnologia XGS-PON, que adota mais divisões para viabilizar maior densidade de usuários.

A tabela 1 mostra os valores esperados que acordo com o *datasheet* dos fabricantes. A tabela 2 mostra os valores medidos nos protótipos 1 e 2.

Tabela 1. Potências ópticas esperadas (dBm).

	Saída OLT	Saída CEO	Saída CTO
PON	4	- 6,5	- 17
GPON	7	- 3,5	- 17,2
XGS-PON	5	- 8,7	- 22,4

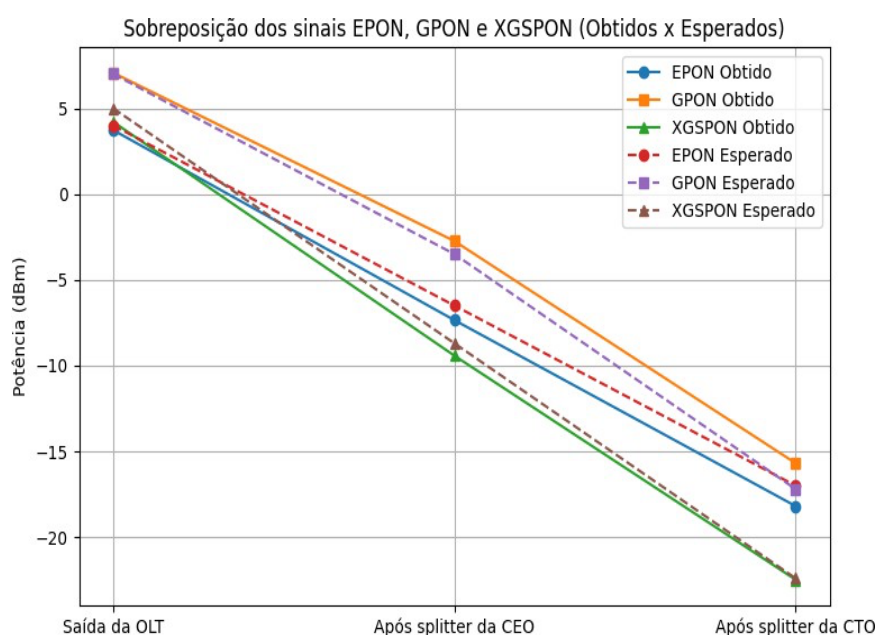
Tabela 2. Potências ópticas medidas (dBm).

	Saída OLT	Saída CEO	Saída CTO
PON	3,73	- 7,35	- 18,19
GPON	7,07	- 2,74	- 15,69
XGS-PON	4,21	- 9,42	- 22,48

No que se refere às medições de potência óptica, os valores observados ao longo do enlace mostraram-se compatíveis com o cenário montado, considerando-se as divisões de sinal adotadas, as perdas introduzidas por conectores e emendas e os comprimentos curtos de fibra usados no ambiente de laboratório. As variações identificadas entre as tecnologias analisadas refletem as características dos módulos ópticos empregados, destacando-se o GPON classe C++, o qual exibe maior orçamento óptico e, consequentemente, maior tolerância a perdas e maior alcance operacional.

A proximidade entre os valores medidos e teóricos confirma a coerência do projeto experimental e valida os cálculos de orçamento óptico adotados, demonstrando que as diferenças notadas se mantiveram dentro de margens esperadas para esse tipo de rede, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Sobreposição dos sinais EPON, GPON e XGSPON.



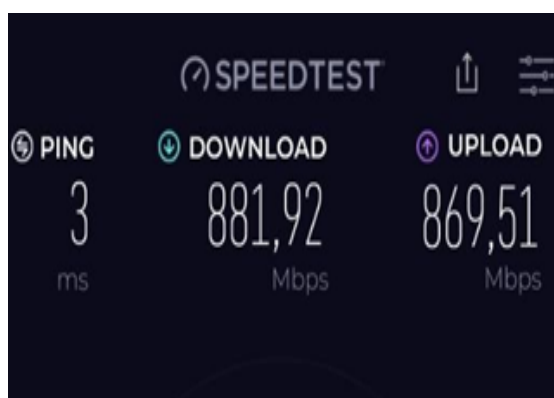
3.5 Testes na taxa de transmissão, ping e latência

Com o objetivo de avaliar o desempenho das tecnologias implementadas no ambiente de laboratório, foram realizados testes de taxa de transmissão, contemplando as métricas de *downstream*, *upstream*, *ping* e latência. Esses parâmetros são utilizados para caracterizar a qualidade do serviço percebida pelo usuário final em redes FTTH, visto que impactam diretamente aplicações sensíveis a atraso e variação de tempo de resposta, como videoconferências, jogos *on-line* e serviços baseados em computação em nuvem (KUROSE, 2021).

Para a avaliação das taxas de transmissão, empregaram-se testes de tráfego bidirecional entre o equipamento do cliente e a rede do provedor, permitindo a análise independente das taxas de *download* e *upload*. Além disso, realizaram-se testes de *Ping* e latência usando tanto conexão cabeada (*Ethernet*) quanto conexão sem fio (*wi-fi*). Essa abordagem propiciou uma análise mais abrangente do desempenho da rede, considerando diferentes formas de acesso comumente empregadas pelos usuários finais.

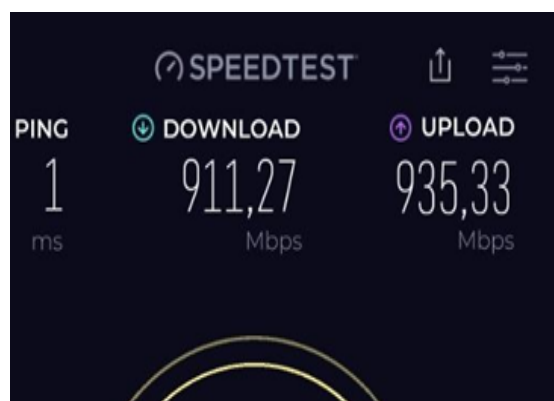
A Figura 10 mostra o resultado da medição da taxa de transmissão e o valor do *Ping* na EPON, para a rede cabeada (*Ethernet*).

Figura 10 – Medida da taxa de transmissão e *Ping* da PON.



A Figura 11 mostra o resultado da medição da taxa de transmissão e o valor do *Ping* na GPON, para a rede cabeada (*Ethernet*).

Figura 11 – Medida da taxa de transmissão e *Ping* da GPON.



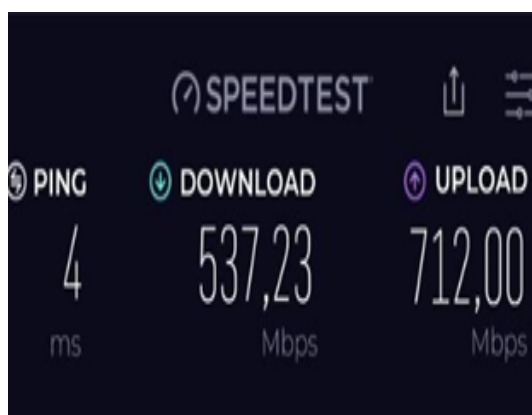
A Figura 12 mostra o resultado da medição da taxa de transmissão e o valor do *Ping* na XGS-PON, para a rede cabeada (*Ethernet*).

Figura 12 – Medida da taxa de transmissão e *Ping* da XGS-PON.



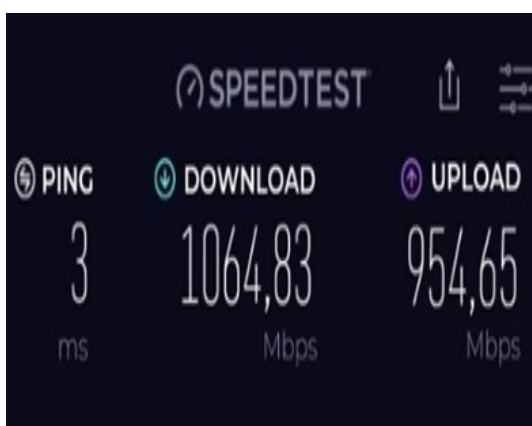
A Figura 13 mostra o resultado da medição da taxa de transmissão e o valor do *Ping* na EPON, usando a conexão *Wi-Fi*.

Figura 13 – Medida da taxa de transmissão e *Ping* da PON.



A Figura 14 mostra o resultado da medição da taxa de transmissão e o valor do *Ping* na EPON, usando a conexão *Wi-Fi*.

Figura 14 – Medida da taxa de transmissão e *Ping* da GPON.



A Figura 15 mostra o resultado da medição da taxa de transmissão e o valor do *Ping* na EPON, usando a conexão *Wi-Fi*.

Figura 15 – Medida da taxa de transmissão e *Ping* da XGS-PON.



4. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo analisar, de forma teórica e prática, a evolução das tecnologias PON aplicadas às redes FTTH no contexto brasileiro, investigando suas características técnicas, limitações e potencial de expansão, a partir da montagem e análise experimental de protótipos EPON, GPON e XGS-PON. O problema de pesquisa que orientou o estudo foi compreender se as tecnologias atualmente adotadas pelos provedores são capazes de atender às demandas crescentes por largura de faixa e densidade de clientes, bem como identificar qual tecnologia se apresenta como alternativa mais adequada para a evolução da rede.

Com base nos resultados obtidos, o problema de pesquisa foi respondido. Os experimentos demonstraram que a tecnologia EPON já não atende de forma satisfatória às exigências atuais de capacidade e escalabilidade, enquanto a GPON se mostra adequada ao cenário presente do provedor analisado, sobretudo pelo equilíbrio entre desempenho e custo. No entanto, os dados experimentais indicam que a XGS-PON representa a alternativa mais preparada para atender às demandas futuras, principalmente em função de sua maior capacidade de transmissão, simetria de faixa e possibilidade de coexistência com tecnologias anteriores na mesma infraestrutura óptica.

A análise comparativa das tecnologias PON a partir de uma abordagem experimental, foi atendida também nas medições de potência óptica ao longo do enlace e da execução de testes de taxa de transmissão, *Ping* e latência, cujos resultados foram analisados de forma crítica. Os objetivos específicos foram contemplados pela caracterização técnica das tecnologias estudadas, pela avaliação do orçamento óptico com base na comparação entre valores teóricos e experimentais, pela verificação do desempenho das redes em cenários distintos de acesso (conexão cabeada e sem fio) e pela análise da viabilidade de migração tecnológica, levando em conta a capacidade de transmissão, densidade de clientes e coexistência das tecnologias na mesma infraestrutura óptica.

Os resultados revelaram que os valores de potência óptica medidos mantiveram-se próximos aos valores teóricos esperados, validando os cálculos de orçamento óptico e confirmando a coerência do projeto experimental. Em relação às taxas de transmissão, percebeu-se que os limites práticos percebidos não decorreram de restrições da rede óptica, e sim das limitações dos equipamentos terminais utilizados nos testes. Essa constatação reforça

que o desempenho percebido pelo usuário final é resultado tanto da tecnologia de acesso, quanto da capacidade do *hardware* local.

No que se refere às contribuições do estudo, destaca-se, do ponto de vista prático, a validação experimental de cenários reais de migração tecnológica em redes FTTH, a qual oferece subsídios técnicos para provedores que planejam a evolução de suas infraestruturas. Do ponto de vista acadêmico, o trabalho corrobora ao integrar teoria e prática, demonstrando de forma aplicada conceitos relacionados a redes ópticas passivas, orçamento de potência e desempenho de protocolos PON.

Entre as limitações da pesquisa, ressalta-se o fato de os experimentos terem sido realizados em ambiente controlado e com comprimentos de fibra curtos, o que não possibilita reproduzir integralmente as condições de uma rede em larga escala. Além disso, a indisponibilidade de equipamentos terminais com interfaces superiores a 2,5 Gbps limitou a validação completa das taxas máximas teóricas da tecnologia XGS-PON.

5. REFERÊNCIAS

- ANATEL, 2025. **Agência Nacional de Telecomunicações**. Disponível em <https://www.gov.br/anatel/pt-br/fibra-óptica/expansão>. Acesso em 10 de outubro de 2025.
- HAFNER, K.; LYON, M. **Where Wizards Stay Up Late: the origins of the Internet**. New York: Simon & Schuster, 1996. 304 pg.
- INFRANEWS TELECOM. **GPON e xGPON em redes de acesso banda larga**. [S. l.]: Infra News Telecom, 2019. Disponível em: <https://www.infranewstelecom.com.br/gpon-exgpon-nas-redes-banda-larga/>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- INTELBRAS. Diferença entre EPON e GPON. [S. l.]: **Blog Intelbras, 2025**. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/diferenca-entreepon-e-gpon/>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- ITU. Recommendation ITU-T G.987.3: **10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): transmission convergence layer specification**. Genebra: International Telecommunication Union, 2014.
- KEISER, G. **Comunicações por fibras ópticas**. 4. Ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2014. 696 pg.
- MONTENEGRO, A. W. O. **Projeto de migração de rede óptica GPON para XGS-PON: um estudo de caso no provedor Wi-Net em Feira de Santana – Bahia**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal da Paraíba, Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2024.
- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. 8 ed. São Paulo: Pearson, 2021. 656 pg.

PASCHOAL, F. **Apostila para treinamento: módulo I – fibra óptica.** Versão 2. Florianópolis: Cianet, 2013. Disponível em: <https://online.fliphtml5.com/gmnrp/ppdf/>. Acessado em 10 out. 2025.

SOUTO, D. H.; MACHADO JUNIOR, D. M. **Os desafios da rede FTTH no Brasil.** [S. l.]: Libertas Faculdades Integradas, 2023. Disponível em: <https://repositorio.pesquisaextensaolibertas.com.br/index.php/ril/article/download/20/20/62>. Acesso em: 3 ago. 2025.

NOTAS

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito: K. Oliveira, J.B.J. Pereira.

Coleta de dados: A.L.M. Sousa, N.R. Silva.

Análise de dados: A.L.M. Sousa, N.R. Silva.

Discussão dos resultados: A.L.M. Sousa, N.R. Silva, K. Oliveira, J.B.J. Pereira.

Revisão e aprovação: K. Oliveira, J.B.J. Pereira.

PREPRINTS

O manuscrito não é um preprint.

AGRADECIMENTOS

As autoras Ana Sousa e Nathalia Rodrigues agradecem a empresa *Linq Telecom* pelo apoio na construção do protótipo e ao Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia. Os professores Kelias Oliveira e João Batista agradecem ao Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia e ao Núcleo de pesquisa em Telecomunicações.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PESQUISA E OUTROS MATERIAIS

A pesquisa não possui dados. O artigo não contém dados coletados ou obtidos por meio de análises a partir de fontes primárias.

ANUÊNCIA DE AVALIAÇÃO ABERTA

Não se aplica.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.