



INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA

**COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Alessandro Wesley de Oliveira Montenegro

**PROJETO DE MIGRAÇÃO DE REDE ÓPTICA GPON
PARA XGSPON – ESTUDO DE CASO NO PROVEDOR
WI-NET EM FEIRA DE SANTANA - BAHIA**

João Pessoa, julho de 2022.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

M777p Montenegro, Alessandro Wesley de Oliveira.

Projeto de migração de rede óptica *GPON* para *XGSPON* –
um estudo de caso no provedor *Wi-Net* em Feira de Santana –
Bahia / Alessandro Wesley de Oliveira Montenegro. – 2022.
47 f. : il.

TCC (Graduação - Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação da Paraíba /
Unidade Acadêmica de Processos Industriais, 2022.

Orientação : Prof^o Dr. Luís Romeu Nunes.

1. Rede passiva de acesso óptico. 2. Migração de tecnologia.
3. Tecnologia *GPON*. 4. *XGS-PON*. 5. Provedor *Wi-Net*. I. Título.

CDU 004.738.5:621.39(043)

Lucrecia Camilo de Lima
Bibliotecária - CRB 15/132

Alessandro Wesley de Oliveira Montenegro

**PROJETO DE MIGRAÇÃO DE REDE ÓPTICA GPON
PARA XGSPON – ESTUDO DE CASO NO PROVEDOR
WI-NET EM FEIRA DE SANTANA - BAHIA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Elétrica do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia da
Paraíba, como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Engenheiro
Eletricista.**

Orientador:

Prof. Dr. Luís Romeu Nunes

João Pessoa, julho de 2022.

ATA 70/2022 - CCSBEE/UA3/UA/DDE/DG/JP/REITORIA/IFPB

Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Elétrica
CCSBEE-JP

**ATA DE APRESENTAÇÃO PÚBLICA E AVALIAÇÃO DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ATA Nº:	263/2022
(Nº / ANO)	

Às vinte horas do dia onze do mês de julho do ano de dois mil e vinte e dois, de modo virtual, foi realizada a Apresentação Pública e Avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "**PROJETO DE MIGRAÇÃO DE REDE ÓPTICA GPON PARA XGSPON - ESTUDO DE CASO NO PROVEDOR WI-NET EM FEIRA DE SANTANA - BAHIA**", do aluno **ALESSANDRO WESLEY DE OLIVEIRA MONTENEGRO**, requisito obrigatório para conclusão do CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, com os membros da Banca Examinadora **Luís Romeu Nunes, Dr.** (Orientador, IFPB), **Adaildo Gomes D'Assunção Junior, Dr.** (Examinador, IFPB) e **Rossana Moreno Santa Cruz, Dra.** (Examinadora, IFPB). Após a apresentação e as considerações da Banca Examinadora, o trabalho foi considerado **APROVADO**, com nota **95** sendo esta composta pela média aritmética das seguintes avaliações parciais:

Texto:	Apresentação:	Defesa oral:
85	100	100

Eu, **Luís Romeu Nunes, Dr.** (Orientador, IFPB), lavrei a presente Ata, que segue assinada por mim e pelos demais membros da Banca Examinadora.

Observações:

Documento assinado eletronicamente por:

- **Luís Romeu Nunes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO**, em 06/08/2022 23:31:10.
- **Adaildo Gomes D Assuncao Junior, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - CCSTST-JP**, em 07/08/2022 09:22:40.
- **Rossana Moreno Santa Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO**, em 07/08/2022 21:57:48.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/08/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código: 322281
Verificador: 33bd7189c8
Código de Autenticação:



AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amor e pela misericórdia derramada sobre a minha vida, bem como por iluminar a minha mente nos momentos difíceis, dando-me força e coragem para seguir.

Agradeço aos meus pais, Ricardo e Andreia que, apesar da distância, sempre estiveram presentes na minha vida, acompanhando e aconselhando a minha trajetória. Muito Obrigado.

Agradeço aos meus avós, Elvira, Argenor, Hya e Genildo, que com humildade e honestidade, criaram-me com excelência e fizeram-me melhor. A vocês todo meu amor e minha gratidão.

Ao meu filho, a quem chamo de Ricardinho, que é minha fonte de motivação para continuar crescendo na minha caminhada. Você é a razão da minha vida e de todas as minhas conquistas.

A minha esposa, Vitória, por todo o suporte, apoio e compreensão nos diversos momentos em que precisei abdicar de sua presença para escrever este trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Luís Romeu, que me auxiliou e esteve presente sempre que necessitei, contribuindo com o desenvolvimento e aprimoramento do trabalho.

Por fim, quero agradecer a todos os meus amigos, com quem divido todas as minhas alegrias e angústias.

RESUMO

O presente trabalho tem como motivação a problemática apresentada na rede de acesso óptico de um provedor de serviços de internet, localizado na cidade de Feira de Santana – BA. Devido à superlotação dos cabos de *backbone* e à necessidade de expansão de rede, tanto para proporcionar instalação de novos pontos de atendimento quanto para possibilitar a oferta de planos mais velozes, foram realizados estudos que indicaram a migração de parte da rede para uma tecnologia que pudesse atender aos novos requisitos estipulados como o melhor caminho a ser seguido. Dentre as opções de redes de acesso disponíveis no mercado, duas se apresentaram economicamente e tecnicamente viáveis: XG-PON e XGS-PON. Dentre elas, a XGS-PON foi a selecionada devido a sua maior taxa de *upstream* e maior relação custo-benefício, permitindo a oferta de planos mais atraentes para a nova demanda de internet. É apresentado o estudo de compatibilidade da infraestrutura inicialmente existente com a nova tecnologia, assim como a possibilidade de coexistência de ambas as tecnologias na mesma infraestrutura a fim de se diminuir o tempo de desconexão dos clientes e tornar o processo de migração o menos problemático possível. No final do processo, foi realizada a migração de cerca de 1500 usuários da rede GPON para a rede XGS-PON. Concomitantemente, através da possibilidade de instalação adicional de 128 Caixa de Terminações Ópticas de 1x16, aumentou-se a capacidade de atendimento na região migrada de 2048 usuários GPON para 4096 usuários XGS-PON.

Palavras-Chave: Rede passiva de acesso óptico, Migração de tecnologia, GPON, XGS-PON.

ABSTRACT

The present work deals with the solution to a problem in the optical access network in an internet service provider, in the city of Feira de Santana – BA state: the overcrowding of their backbone cables and the need for network expansion. Studies were carried out in order to enable the installation of new service points and simultaneously offer faster bitrate transfer. To meet the stipulated requirements, results indicated the migration of part of the network to a new technology as the best way forward. Among the access network technologies available on the market, two have proved to be technically viable: XG-PON and XGS-PON. Between the two, XGS-PON was selected due to its higher upstream rate and higher cost-benefit ratio, allowing the offer of more attractive plans for a new internet demand. It is shown the study compatibility between the existing infrastructure and the new one. It is also studied the coexistence of both technologies in the same network infrastructure, aiming to reduce the customer disconnection time and causing the migration process as less troublesome as possible. At the end of the process, about 1500 users were migrated from the GPON network to the XGS-PON network. At the same time, through the possibility of additional installation of 128 1x16 Optical Termination Box in the migrated region, it was increased the service capacity from 2048 GPON users to 4096 XGS-PON users.

Keywords: Passive Optical Access Network, Technology Migration, GPON, XGS-PON.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ofertas de Planos de Super Velocidades.....	12
Figura 2 – Representação de uma rede óptica passiva	14
Figura 3 –Evolução das redes PON.....	15
Figura 4 - Arquitetura GPON Downstream.....	16
Figura 5 - Arquitetura GPON Upstream	17
Figura 6 - Área de Atendimento no projeto inicial.....	19
Figura 7 - Áreas de Atendimento Atual.....	20
Figura 8 - Topologia da Rede.....	22
Figura 9 - OLT Huawei ma5800 - x17	24
Figura 10 – CTO FIBRACEM NAP	25
Figura 11 – CEO FIBRACEM DUAL SVT.....	26
Figura 12 – Distribuição de CTOs e CEOs – Área 01.....	26
Figura 13 – Distribuição de CTOs e CEOs – Área 02.....	27
Figura 14 – Distribuição de CTOs e CEOs – Área 03.....	27
Figura 15 – Rotas dos Backbones do projeto inicial	28
Figura 16 – Principais expansões do projeto inicial	30
Figura 17 – Curva de atenuação por comprimento de onda	33
Figura 18 – OLT XGS-PON Microplug.....	34
Figura 19 – Especificações técnicas OLT XGS-PON Microplug	34
Figura 20 – Huawei H901CSHF	35
Figura 21 – ONU OXG-99G	35
Figura 22 – Módulo WDM1r.....	36
Figura 23 – Diagramação do Módulo WDM1r	37
Figura 24 – Diagrama Cenário 1	37
Figura 25 – Diagrama Cenário 2	39
Figura 26 – Diagrama Cenário 3	40

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparativo GPON, XG-PON e XGS-PON.....	17
Tabela 2 - Atenuação Máxima para splitters balanceados	22

LISTA DE SIGLAS

- APON** – Passive Optical Network over Asynchronous Transfer Mode (Rede Óptica Passiva sobre Modo de Transferência Assíncrono)
- ATM** – Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferência Assíncrono)
- BPON** – Broadband Passive Optical Network (Rede Óptica Passiva de Banda Larga)
- B2B** – Business to Business (Empresa para Empresa)
- B2C** – Business to Client (Empresa para Cliente)
- CEO** – Caixa de Emenda Óptica
- CTO** – Caixa de Terminação Óptica
- CWDM** – Coarse Wavelength Division Multiplexing (Multiplexação por larga Divisão de Comprimentos de Onda)
- WDM** – Wavelength Division Multiplexing (Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda)
- DIO** – Distribuidor Interno Óptico
- EPON** – Ethernet Passive Optical Network (Ethernet Rede Óptica Passiva)
- FO** – Fibra Óptica
- FTB** – Fused Biconical Taper (Conicidade Bicônica Fundida)
- FTTH** – Fiber to the home (Acesso Óptico a Residências)
- GEAPON** – Gigabit Ethernet Passive Optical Network (Gigabit Ethernet Rede Óptica Passiva)
- GPON** – Gigabit Passive Optical Network (Gigabit Rede Óptica Passiva)
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ITU-T** – International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector (União Internacional de Telecomunicações – Setor de Padronização de Telecomunicações)
- LWP** – Low Water Peak (Baixo Pico D'água)
- NGA** – New Generation Access (Novas Gerações de Redes de Acesso)
- ODN** – Optical Distribution Network (Rede Óptica de Distribuição)
- OLT** – Optical Line Terminal (Terminal de Linha óptica)
- ONT** – Optical Network Terminal (Terminal de Rede Óptica)
- ONU** – Optical Network Unit (Unidade de Rede Óptica)
- PLC** – Planar Lightwave Circuit (Circuito Planar de Ondas de Luz)
- PON** – Passive Optical Network (Rede Óptica Passiva)
- PPPOE** – Point-to-Point Protocol Over Ethernet (Protocolo Ponto a Ponto sobre Ethernet)
- SFP** – Small Form-Factor Pluggable (Elemento Plugável de Forma Pequena)
- TDMA** – Time Division Multiplexing Access (Multiplexação por Divisão de Tempo)

WI-FI – Wireless Fidelity (Fidelidade sem fio)

XGPON – 10 Gigabit Passive Optical Network (10 Gigabit Rede Óptica Passiva)

XGSPON – 10 Gigabit Synchronous Passive Optical Network (10 Gigabit Sincrona Rede Óptica Passiva)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE SIGLAS	8
SUMÁRIO	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 FATORES QUE LEVAM A NECESSIDADE DE EXPANSÃO DE REDE	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 REDES PON (PASSIVE OPTICAL NETWORK)	14
3 PROJETO INICIAL	19
3.1 A EMPRESA.....	19
3.2 DIMENSIONAMENTO E CARACTERÍSTICAS DA REDE	20
4 EXPANSÕES DO PROJETO INICIAL	30
5 PROCESSO DE MUDANÇA DE TECNOLOGIA	32
5.1 ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE DO PROTOCOLO XGS-PON COM A INFRAESTRUTURA EXISTENTE.....	32
5.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	33
5.3 ANÁLISE DO BALANÇO DE POTÊNCIA	37
5.4 PROCESSO DE MIGRAÇÃO.....	41
6 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O mercado de telecomunicações é marcado pela procura cada vez maior de serviços que requerem uma alta capacidade de transmissão de dados e pela própria evolução da internet, que tem colocado o setor de telecomunicações diante de variáveis cada vez mais complexas e desafiadoras quando se fala na oferta e no uso de novos serviços de comunicação (MUYLDER, 2018).

As tecnologias evoluem rapidamente, mas a implantação de uma infraestrutura de rede robusta que atenda às novas necessidades de acesso é um grande desafio em termos de investimentos, de gestão, de opções tecnológicas e de políticas regulatórias.

Um dos maiores desafios que envolve a operação de um provedor de internet é a migração de tecnologia de atendimento devido às necessidades de expansão da rede, seja para aumento da região de atendimento ou para aumento nas velocidades dos planos ofertados.

Em casos mais críticos, para que seja possível a expansão da rede existente e o atendimento das novas demandas impostas, faz-se necessário a criação de um processo de mudança de tecnologia que tem como objetivo, de forma geral, o aproveitamento da infraestrutura de rede existente, seja por motivos econômicos, técnicos ou de regulamentação.

1.1 FATORES QUE LEVAM À NECESSIDADE DE EXPANSÃO DE REDE

Os principais fatores que levam à necessidade de expansão de rede são:

- Diminuição da taxa de crescimento da base de clientes do provedor;
- Ofertas de super velocidades;
- A nova demanda por internet.

1.1.1 DIMINUIÇÃO DA TAXA DE CRESCIMENTO DA BASE DE CLIENTES DO PROVEDOR

Uma vez que a infraestrutura de atendimento está construída em uma determinada região e esta é posta à venda pela equipe de Marketing e Vendas, a curva de Taxas de instalação/mês desta região cresce vertiginosamente até atingir seu pico em aproximadamente 6 meses, após isso, o número de taxas de instalação diminui de forma drástica a um nível chamado de Taxa de Manutenção do Crescimento.

A fim de se obter um novo aumento considerável na base de clientes, uma das estratégias utilizadas é buscar novas regiões de operação de forma a alcançar novamente o aumento da taxa de instalação.

1.1.2 OFERTAS DE SUPER VELOCIDADES

Uma excelente estratégia de Marketing e Vendas é a oferta de planos com velocidades cada vez maiores e preços promocionais cada vez mais baixos, os chamados planos de Super Velocidades, a exemplo do citado na Figura 1, considerando-se que os preços médios praticados na região sejam de R\$109,90 pela taxa de 200 MB.

Figura 1 – Ofertas de Planos de Super Velocidades.

300MB	500MB	700MB
Wi-fi Mega	Wi-fi Mega	Wi-fi Mega
R\$ 79,99 49,99 / Mês	R\$ 99,99 49,99 / Mês	R\$ 119,99 49,99 / Mês
INSTALAÇÃO GRÁTIS*	INSTALAÇÃO GRÁTIS*	INSTALAÇÃO GRÁTIS*
DOWNLOAD 300 MB UPLOAD 150 MB	DOWNLOAD 500 MB UPLOAD 250 MB	DOWNLOAD 700 MB UPLOAD 350 MB
Promoção válida por 3 (três) meses	Promoção válida por 3 (três) meses	Promoção válida por 3 (três) meses

Fonte: Winet, 2022.

Este tipo de prática faz com que clientes comecem a migrar entre provedores em busca de ofertas mais favoráveis. Dessa forma, é criada a necessidade de oferta de planos com maiores taxas de transmissão, muitas vezes, sendo necessário que os provedores invistam em expansão da capacidade da rede por meio de mudanças de tecnologia de atendimento a fim de diminuir as taxas de cancelamento e se tornarem mais atrativo ao público.

1.1.3 A NOVA DEMANDA POR INTERNET

Nos últimos anos, o mercado de banda larga via fibra óptica cresceu vertiginosamente no Brasil. De acordo com os dados emitidos pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) no Relatório de Acompanhamento do Setor de Telecomunicações, o serviço de acessos de Banda Larga Fixa terminou o segundo semestre de 2021 com um total de 41,1 milhões de

acessos no país, representando um aumento de cerca de 5,2 milhões de acessos em relação ao ano de 2020 (Anatel, 2022).

Os serviços de *streaming*, por exemplo, colaboraram para isso acontecer, uma vez que as pessoas procuraram melhorar a qualidade e velocidade de sua internet para aproveitar esses serviços de uma melhor forma, por exemplo, Netflix, Globoplay, etc.

Além disso, a migração de trabalhadores para o sistema de *home office* e estudantes para o ensino à distância, causada pela Pandemia do Covid-19, também impulsionaram a busca de planos de internet residenciais de maiores velocidades.

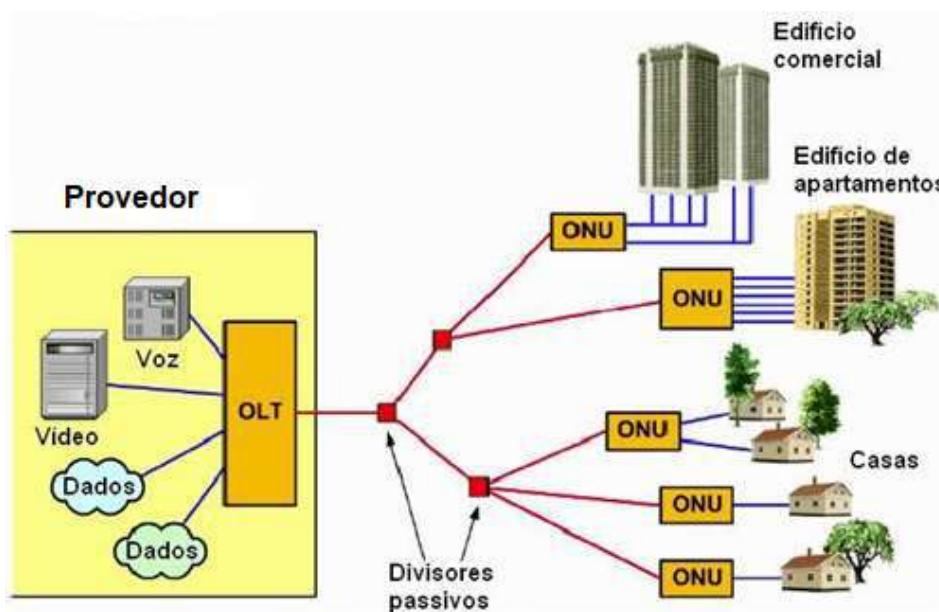
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REDES PON (PASSIVE OPTICAL NETWORK)

A rede óptica passiva é baseada no uso de comprimentos de onda em CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing* - Multiplexação por Divisão de Largos Comprimentos de Onda) e transmissão bidirecional em uma única fibra óptica. Em sua topologia, não existem componentes ativos entre a central de equipamentos e as instalações do usuário final. Apenas componentes passivos são inseridos no enlace de rede para proporcionar o tráfego dos sinais ópticos, em comprimentos de ondas específicos, entre a central de equipamentos e os equipamentos terminais (PINHEIRO, 2017).

O termo passivo se origina da principal característica dessa rede, uma vez que não existem elementos ativos, isto é, elementos que necessitam de energia elétrica para o funcionamento entre o cliente e a central de equipamentos, conforme observado na Figura 2.

Figura 2 – Representação de uma rede óptica passiva.



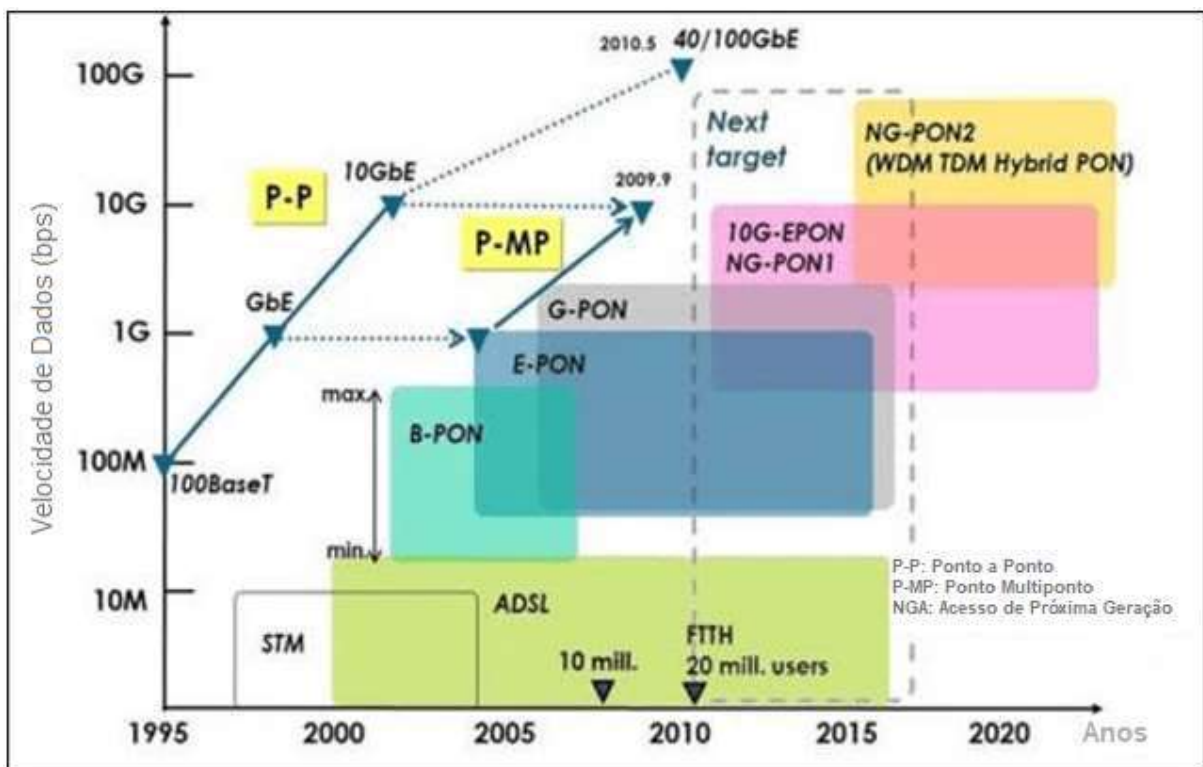
Fonte: RIBEIRO, RAFAEL - 2008.

A tecnologia PON (*Passive Optical Network* – Rede Óptica Passiva) é empregada desde 1995, quando operadoras e fabricantes iniciaram uma discussão para uma solução de acesso para voz, dados e vídeo. Na época, duas opções surgiram para protocolo e transmissão: as tecnologias ATM (*Asynchronous Transfer Mode* – Modo de Transferência Assíncrona) e PON.

Através da criação destas tecnologias, surgiram as derivações: APON (*Passive Optical Network over Asynchronous Transfer Mode* – Rede Óptica Passiva sobre Modo de Transferência assíncrona), utilizada para a transmissão de informações em redes ATM; BPON (*Broadband Passive Optical Network* – Rede Óptica Passiva de Banda Larga), usada para transmissões de vídeo; EPON (*Ethernet Passive Optical Network* – Rede Óptica Passiva Ethernet), utilizada na transmissão de informações com o protocolo Ethernet; chegando aos modelos atuais: GEAPON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network* – Rede Óptica Passiva Gigabit Ethernet), baseadas em redes ethernet gigabit; GPON (*Gigabit Passive Optical Network* – Rede Óptica Passiva Gigabit), baseadas em redes ATM Gigabit (GONÇALVES, 2009).

A Figura 3 representa a evolução das redes ópticas passivas, em função da velocidade de transmissão (OLIVEIRA, 2010).

Figura 3 –Evolução das redes PON.



Fonte: OLIVEIRA, 2010.

Como consequência dos avanços tecnológicos desenvolvidos ao longo do tempo e da constante busca por maiores capacidades de transferência de dados e velocidades de transmissões, surge a NG-PON1 com as tecnologias de nova geração (NG-PON1 e 10G EPON).

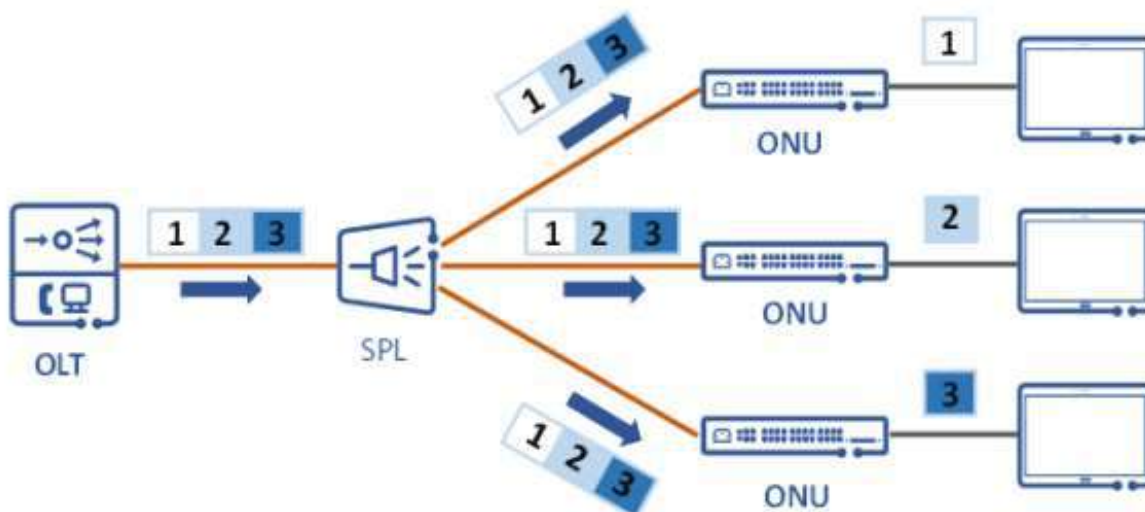
A NG-PON 1 é constituída pelos protocolos XG-PON (10 *Gigabit Passive Optical Network*) e a XGS-PON (10 *Gigabit Synchronous Passive Optical Network*) que equivalem à primeira etapa das redes de nova geração. (TECWI, 2019)

NG PON 2 é uma rede óptica passiva multi-comprimento de onda capaz de trabalhar com 40 a 80 Gb/s. Além disso, funciona com três taxas de canais diferentes. Esses canais variam de 10/10 Gbit/s a 2,5/2,5 Gbit/s e 10/2,5 Gbit/s por usuário. No entanto, a NG PON 2 tem a capacidade de produzir de 1 a 4 sinais de comprimentos de onda diferentes nas Bandas Ópticas. Isso garante o aumento da largura de banda para torná-la o mais simétrica possível usando as bandas L e C (TECWI, 2019).

2.1.1 REDES GPON

Dentre as arquiteturas citadas anteriormente, a GPON ou Gigabit PON, é a segunda geração de uma série de recomendações da ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*), publicada em 2003, como a G.984. No sentido de *downstream* (central-cliente), a transmissão dos pacotes ocorre com taxa de transmissão de 2,5 Gbits/s, em *broadcast*, no comprimento de onda de 1490 nm, a partir do OLT (*Optical Line Terminal*), passando pelos *splitters* da rede de distribuição (apontados na Figura 4 como “SPL”) até cada ONU/ONT (*Optical Network Unit/Optical Network Terminal*), que identifica o tráfego por meio de endereçamento, como ilustrado na Figura 4.

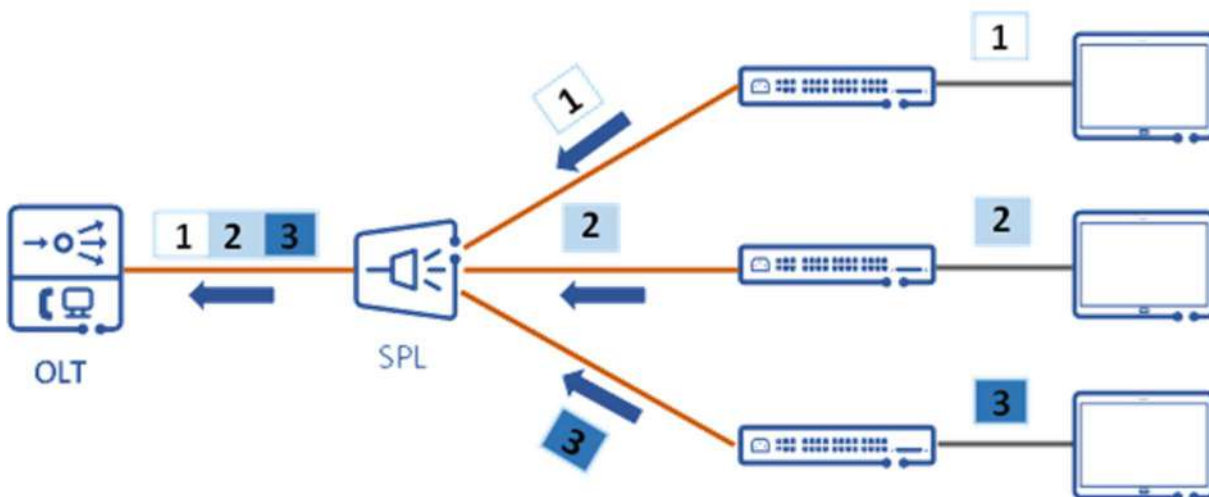
Figura 4 - Arquitetura GPON Downstream.



Fonte: Huawei, 2020.

No sentido de *upstream* (cliente-central), a transmissão dos pacotes ocorre com taxa de 1,5 Gbits/s, no comprimento de onda de 1310 nm, onde o meio de transmissão é compartilhado entre todas as ONU's utilizando a técnica de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA – *Time Division Multiplexing Access*) que, por alocação de *time slots*, permite controlar o instante em que cada ONU pode transmitir sua rajada de dados, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Arquitetura GPON Upstream.



Fonte: Huawei, 2020.

2.1.2 REDES XG-PON E XGS-PON

Novos tipos de serviços com taxas de transferências de dados cada vez mais altas e o desenvolvimento de tecnologias de acesso ao lado do usuário que continuam aumentando a largura de banda de acesso do usuário tornam a tecnologia GPON sobrecarregada em termos de largura de banda.

Com a evolução da arquitetura GPON é desenvolvida as Arquiteturas XG-PON, regida pela normatização ITU-T G.987, publicada em 2012, e a XGS-PON, regida pela normatização ITU-T. G9807.1, publicada em 2016.

Tanto para a XG-PON quanto para a XGS-PON, no sentido de *downstream* (central-cliente), a transmissão dos pacotes ocorre com taxa de transmissão de 10 Gbits/s, em *broadcast*, no comprimento de onda de 1577 nm, a partir do OLT, passando pelos *splitters* da rede de distribuição até cada ONU/ONT, que identifica o tráfego por meio de endereçamento.

Já no sentido de *upstream* (cliente-central), a transmissão dos pacotes ocorre com taxa de 2,5 Gbits/s para a XG-PON e a 10 Gbits/s para a XGS-PON, ambas no comprimento de onda de 1270 nm, onde o meio de transmissão é compartilhado entre todas as ONU's utilizando a

técnica de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA – *Time Division Multiplexing Access* – Acesso de Multiplexação por Divisão de Tempo) que, por alocação de *time slots*, permite controlar o instante em que cada ONU pode transmitir sua rajada de dados. É possível notar a diferença entre as tecnologias a partir da Tabela 1:

Tabela 1- Comparativo GPON, XG-PON e XGS-PON.

Tecnologia		GPON	XG-PON	XGS-PON
Velocidade de Transmissão	<i>Downstream:</i>	2.5 Gbit/s	10 Gbit/s	10 Gbit/s
	<i>Upstream:</i>	1.25 Gbit/s	2.5 Gbit/s	10 Gbit/s
Divisão Máxima	-	1:128	1:256	1:256
Comprimento de Onda (nm)	<i>Downstream:</i>	1490 nm	1577 nm	1577 nm
	<i>Upstream:</i>	1310 nm	1270 nm	1270 nm
Coexistência	-	XG-PON e XGS-PON	GPON	GPON

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ITU-T G.984 e ITU-T G.987.

A partir da leitura dos dados da Tabela 1 é notável a possibilidade de coexistência entre a rede GPON e suas evoluções. Devido aos diferentes comprimentos de onda utilizados para as comunicações de *Downstream* e *Upstream*, utilizando um combinador óptico, é possível o de compartilhamento do canal entre as duas tecnologias facilitando assim o processo de migração da rede.

3 PROJETO INICIAL

3.1 A EMPRESA

A Wi-Net foi fundada em março de 2020 em Feira de Santana – Bahia, com o objetivo de prover aos clientes acesso à internet de qualidade e custo acessível.

O projeto inicial (dezembro de 2019 a março de 2020), teve como proposta o atendimento 100% em fibra óptica em 3 áreas da cidade, Figura 6.

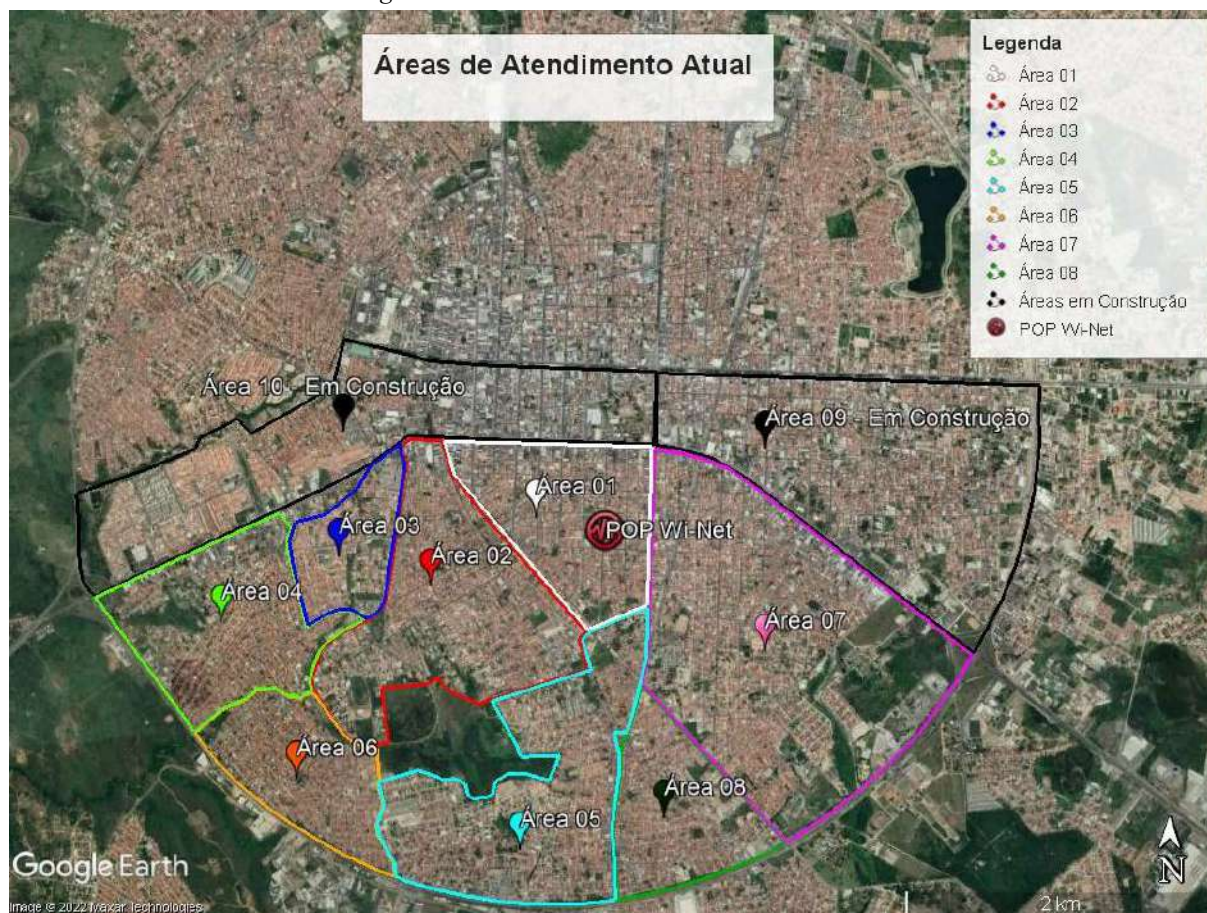
Figura 6 - Área de Atendimento no projeto inicial.



Fonte: Elaboração Própria.

A construção da rede iniciou-se em março de 2020. Em julho de 2020 iniciava-se a operação do provedor com a conexão dos seus primeiros clientes. Desde então, a empresa cresce oferecendo serviços de internet banda larga e telefonia fixa para aproximadamente 5.000 assinantes espalhados em 8 áreas de atendimento, Figura 7.

Figura 7 - Áreas de Atendimento Atual.



Fonte: Elaboração Própria.

3.2 DIMENSIONAMENTO E CARACTERÍSTICAS DA REDE

3.2.1 INFORMAÇÕES SOBRE A REGIÃO E EXIGÊNCIAS DE PROJETO

Conforme mencionado anteriormente, o projeto inicial foi realizado para atendimento das áreas 01, 02 e 03.

Segundo o censo de 2010, realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), as regiões compreendidas pelas áreas 01, 02 e 03 possuíam cerca de 9.579 residências.

Apesar de serem dados divulgados no censo de 2010, analisando as imagens de satélite e tendo em vista que a região analisada faz parte do conglomerado central da cidade, região essa já populada e com baixa taxa de crescimento residencial, conclui-se então que não houve mudanças significativas na quantidade de residências das regiões mencionadas, sendo este número utilizado para dimensionamento da rede.

Pesquisas de mercado encomendadas pelos sócios de forma preliminar à elaboração do projeto indicaram que a região em que se pretendia montar o provedor já era atendida por 2 provedores de serviços de internet que utilizam a fibra óptica para atendimento ao cliente.

Esta mesma pesquisa apontou que cerca de 30% dos entrevistados não estavam satisfeitos com os seus contratos de serviços de internet, seja por preço, qualidade de serviços ou atendimento ao cliente.

Devido às limitações financeiras, foi determinado pelos sócios que as 3 áreas deveriam ser atendidas por 2 Placas GPON de 16 portas, totalizando 32 portas PON.

3.2.2 TAXA DE PENETRAÇÃO E PREVISÃO DE CRESCIMENTO

A taxa de penetração é um percentual das unidades habitacionais efetivamente ocupadas que deverão ser atendidas pela rede óptica em determinada área (PINHEIRO, 2017).

Como visto no item 3.2.1, existem 9.579 residências (IBGE) na região do projeto e apenas 2 provedores de serviços de internet por fibra óptica. Desta forma, pode-se considerar que o mercado ficaria dividido em 3 empresas.

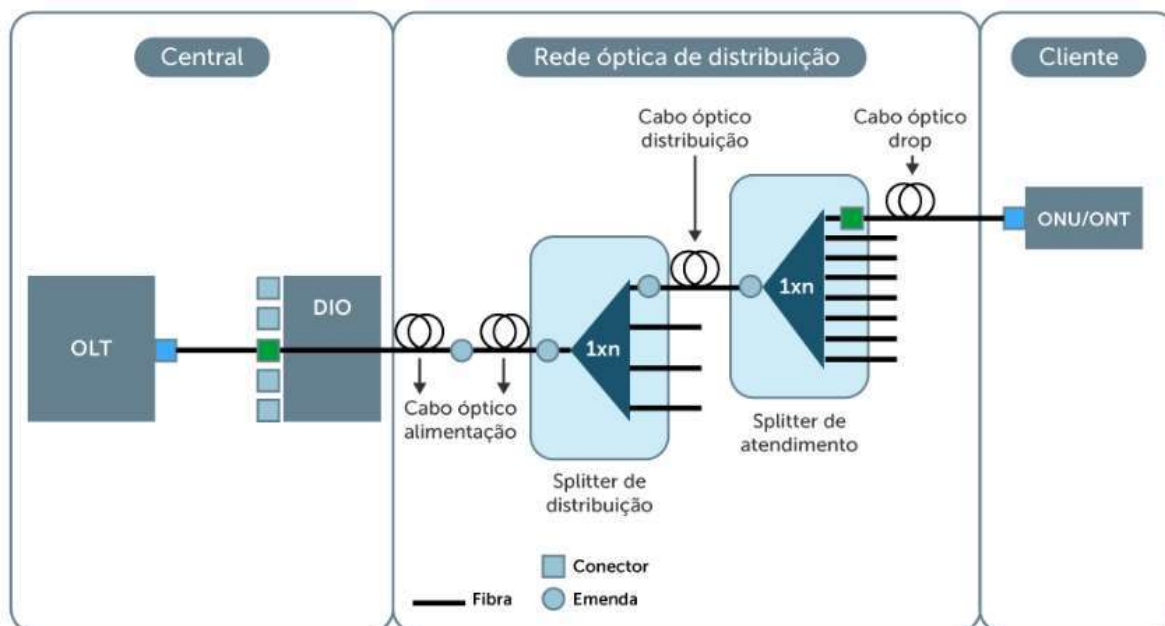
Associando essas informações à pesquisa de mercado e conhecendo as limitações de quantidade de porta PON determinada pelos sócios, foi escolhida uma taxa de penetração de 20%.

Considerando a crescente demanda por conexão de internet, a previsão de crescimento da rede considerada pelo projeto foi de 100%, ou seja, a taxa de penetração final pode chegar a até 40%.

3.2.3 RAZÃO DE DIVISÃO DA REDE E ORÇAMENTO DE POTÊNCIA

A razão de divisão da rede é um indicador do projeto que mostra quantos assinantes a rede atenderá por uma única fibra que sai da central. Para a arquitetura GPON, a razão de divisão pode chegar até uma taxa de 1/128 (Lê-se: 1 para 128). Desta forma, para atingir a razão de 1/64 (que foi a escolhida para a taxa de penetração inicial), foi definida uma topologia balanceada com dois *splitters* de 1x8 cascadeados, sendo os *splitters* de primeiro nível localizados nas caixas de emenda, fazendo a distribuição para os ramais de atendimento e os *splitters* de segundo nível localizados nas caixas de atendimentos como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Topologia da Rede.



Fonte: Intelbras, 2021.

A topologia foi pensada de tal forma que, ao se esgotar todas as portas do *splitter* de segundo nível de 1x8 localizados nas caixas de emenda, basta fazer a substituição do *splitter* para um de 1x16 tendo assim, aquela caixa na sua capacidade máxima.

Dessa forma, com a expansão de todas as caixas de atendimento para o *splitter* 1x16, a rede se encontrará no cenário de máxima taxa de penetração (40%) e ainda assim, a taxa de divisão máxima do protocolo GPON (1/128) será respeitada.

A fim de definir todas as perdas acumuladas em uma rede FTTH no caminho entre a central até o cliente, a título de projeto, foram consideradas as seguintes atenuações:

- Atenuação por conectorização: 0,5 dB;
- Atenuação por fusão: 0,1 dB;
- Atenuação característica da fibra óptica: 0,35 dB/km;
- Atenuação dos *splitters*: Conforme a Tabela 02.

Vale notar que, com os comprimentos de onda utilizados pelo XGS-PON, a fibra não está operando na sua posição espectral de menor atenuação (0,2 dB/km). Entretanto, essa situação não compromete a operabilidade do sistema, conforme será demonstrado nos próximos capítulos.

Tabela 2 - Atenuação Máxima para splitters balanceados.

Modelos	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Banda Óptica passante	1260 ~ 1650 nm					
Perda de Inserção Máxima (Desconsiderar Perdas das Conexões)	3,5 dB	7,1 dB	10,5 dB	13,7 dB	17,1 dB	20,5 dB
Uniformidade	0,5 dB	0,6 dB	1,0 dB	1,3 dB	1,5 dB	1,7 dB
Sensibilidade à Polarização Máxima	0,2 dB	0,2 dB	0,25 dB	0,3 dB	0,4 dB	0,5 dB
Diretividade	>55 dB					
Perda de Retorno	>55 dB					

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Furukawa, 2021.

Analisando a Figura 8, observa-se que existem 4 conectores (2,0 dB), 4 fusões (0,4 dB) e 2 *splitters* de 1x8 cascadeados (21 dB). A distância entre a central e o cliente mais distante da rede é de aproximadamente 3,0 km, portanto, a perda pela atenuação característica da fibra óptica será de 1,050 dB. Sendo assim, a perda total na rede será de aproximadamente 24,5 dB.

3.2.4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Todos os equipamentos ativos e passivos da rede foram escolhidos visando as futuras expansões do provedor.

3.2.4.1 OLT e ONU

A OLT selecionada para o projeto foi a Huawei MA5800-x17. Uma OLT tipo Chassi com 17 *slots* de serviço onde cada *slot* de serviço possui capacidade de transferência de 200 Gbit/s. Cada *slot* de serviço recebe uma placa de acesso que pode ser GPON, XG-PON e XGS-PON podendo operar as 3 tecnologias simultaneamente no mesmo chassi.

Esse equipamento foi selecionado devido à sua alta performance, confiabilidade e capacidade de expansão, quando comparada com marcas concorrentes, assim como a compatibilidade com o protocolo XGS-PON de forma facilitada.

Associadas ao Chassi, foram adicionadas 2 placas GPHF de 16 Portas GPON C++. Conforme o próprio nome diz, cada uma dessas placas possui 16 portas SFP (*Small Form Factor Pluggable*) GPON. Cada porta é alimentada com laser Padrão C++, potência de transmissão de 6 a 10 dBm, sensibilidade de recepção de -35dBm, velocidade de *Downstream* de 2,5 Gbit/s, *Upstream* 1,25 Gbit/s e capacidade de atendimento de até 128 clientes. Desta forma cada placa pode atender até 2048 usuários.

Figura 9 - OLT Huawei ma5800 - x17.



Fonte: Huawei, 2022.

No lado do cliente, foi utilizada a ONU Huawei EG8010H com uma interface óptica padrão B+ com potência de 1,5 a 5 dBm, sensibilidade de -28 dBm e uma interface elétrica de 1 Gbit/s que é conectada a um roteador para acesso *wi-fi* e controle de PPPOE (Point-to-Point Protocol over Ethernet – Protocolo Ponto a Ponto sobre Ethernet).

Uma vez que são conhecidas as atenuações totais máximas, as potências e sensibilidades tanto da OLT quanto da ONU, é realizado o balanço de potência.

Sabendo que a potência recebida pode ser verificada como sendo a diferença entre a potência transmitida e a atenuação total e que, para haver comunicação, a potência recebida nunca pode ser menor que a sensibilidade do equipamento, tem-se que:

- Para a ONU

$$P_{RXONU}(dBm) = P_{TXOLT} - A_{TOT} \quad (1)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = 6 \text{ dBm} - 24,5 \text{ dB} \quad (2)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = -18,5 \text{ dBm} \quad (3)$$

- Para a OLT

$$P_{RX}OLT(dBm) = P_{TX}ONU - A_{TOT} \quad (1)$$

$$P_{RX}ONU(dBm) = 1,5 \text{ dBm} - 24,5 \text{ dB} \quad (2)$$

$$P_{RX}ONU(dBm) = -23 \text{ dBm} \quad (3)$$

Dessa forma percebe-se que tanto a potência recebida na OLT quanto a potência recebida na ONU são maiores que suas respectivas sensibilidades.

Vale notar que ao fazer a substituição do *splitter* de segundo nível da caixa de atendimento de 1x8 para 1x16, é adicionado 3,2 dB (referente a um *splitter* de 1x2) de atenuação no sistema e mesmo assim, as potências de recepção são maiores que suas respectivas sensibilidades, podendo assim afirmar que a comunicação entre os equipamentos se dará de forma normal, tanto na capacidade original, quanto na capacidade expandida da caixa de atendimento.

3.2.4.2 CAIXA DE TERMINAÇÃO ÓPTICA (CTO), CAIXA DE EMENDA ÓPTICA (CEO) E SPLITTERS

Tanto as caixas de terminação óptica (CTO) quanto as caixas de emenda óptica (CEO) que foram utilizadas no projeto são fabricadas pela Fibracem, sendo as seguintes: CEO DUAL SVT (Figura 11), e caixa CTO NAP com *splitter* 1x8 e capacidade para atendimento de até 16 clientes (Figura 10).

Figura 10 – CTO FIBRACEM NAP.



Fonte: Fibracem, 2020.

Figura 11 – CEO FIBRACEM DUAL SVT.



Fonte: Fibracem, 2020.

O posicionamento das caixas CTO foi planejado de forma que para qualquer instalação nunca se utilize mais de 150 metros de cabo DROP. Dessa forma, as instalações além de serem mais econômicas, são mais rápidas, evitando-se assim longos períodos de cabeamento.

Para o atendimento das 3 áreas citadas anteriormente, foram necessárias 28 caixas de emenda e 229 caixas de atendimento distribuídas conforme apresentado nas Figuras 12, 13 e 14.

Figura 12 – Distribuição de CTOs e CEOs – Área 01.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 13 – Distribuição de CTOs e CEOs – Área 02.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 14 – Distribuição de CTOs e CEOs – Área 03.



Fonte: Elaboração própria.

3.2.4.3 CABOS DE FIBRAS ÓPTICAS E ROTAS DE CABEAMENTO

Para a construção da rede foram utilizados cabos autossustentados para vãos de até 80 metros (AS80) com capacidades de 12, 24 e 48 Fibras Ópticas (FO), sendo os de 12 FO geralmente utilizados para cabeamentos secundários (ramais que conectam as CEOs às CTOs), e os cabos de 24 FO e 48 FO como cabeamento principal (*backbones* que conectam o provedor às CEOs) fabricados pela Prysmian Group.

Todo os cabos foram construídos com fibras do Padrão ITU-T G.652D (ITU-T, 2016) que apresentam um pico de água reduzido (*Low Water Peak – LWP*), otimizadas para utilização na região de comprimento de onda entre 1.260 nm e 1.625 nm.

Durante o dimensionamento da rede, para atendimento das 229 CTOs alocadas no projeto inicial, considerando os *splitters* de primeiro nível de 1x8, conclui-se que o cabeamento principal necessitaria ter no mínimo 30 fibras disponíveis para o atendimento da região.

Para evitar o acúmulo de cabos saindo do provedor, foi pensado em um cabemamento de saída utilizando cabos de 48 FO. Este cabemamento circunda o quarteirão e todos os outros backbones lançados partirão de caixas de emendas localizadas neste cabo.

Para o projeto inicial foram dimensionados 2 *backbones* de 24 FO, dividindo assim o atendimento das regiões em 2 rotas de atendimento, Uma no sentido norte/oeste do POP e outra no sentido sul/oeste do POP, conforme indicado na figura 15, totalizando uma capacidade de 48 fibras para distribuição do sinal óptico.

Figura 15 – Rotas dos Backbones do projeto inicial.



Fonte: Elaboração própria.

A rota dos cabos foi pensada de forma a dividir o atendimento das regiões de forma igualitária, balanceando a distribuição das caixas de atendimento entre os dois cabos. Ainda para melhorar esse balanceamento, foi pensando a utilização de um *bypass* que faz a conexão direta de algumas fibras dos dois *backbones* de 24 FO. Dessa forma, no máximo apenas 50% dos clientes conectados seriam atingidos no caso de um possível rompimento dos cabos principais. Além disso, cada *backbone* ainda teria 9 fibras disponíveis para futuras expansões (regiões próximas, condomínios residenciais, redes dedicadas ponto a ponto). Pode-se observar a rota dos *backbones* do projeto inicial na Figura 15.

4 EXPANSÕES DO PROJETO INICIAL

Após o lançamento do provedor no Mercado, a proposta de oferecer planos de supervelocidades a preços baixos fizeram com que as solicitações de instalações crescessem vertiginosamente e assim as necessidades de expansão da rede física apareceram.

Dentro do projeto inicial, foi adquirida mais uma placa GPHF de 16 Portas GPON C++ e ainda, utilizando os mesmo *backbones* de 24FO, foram construídas mais 2 regiões: Bairro Pedra do Descanso (Área 4) e Região da Vila das Flores (complemento da área 3) – Figura 16.

Figura 16 – Principais expansões do projeto inicial.



Fonte: Elaboração própria.

Para a Região da Vila das Flores foram adicionadas mais 16 CTOs ocupando mais 2 fibra do *backbone* e 2 portas PON da OLT.

Na expansão da área 4, foi construída uma rede com capacidade máxima de 1760 assinantes. Para isso foram instaladas mais 110 CTOs e utilizadas mais 15 Fibras dos *backbones* de 24 FO e mais 15 Portas da OLT.

Dessa forma, ao final do primeiro semestre de operação já tinham sido instaladas cerca de 355 CTOs e 47, das 48 fibras dos *backbones*, ocupadas.

Notou-se então que para continuar as expansões que se faziam necessárias, era preciso que fossem lançadas novas rotas de *backbones*, aumentando assim a capacidade de distribuição de novas caixas nas áreas lotadas, ou que fosse realizada a migração para uma tecnologia que permitisse uma maior taxa de divisão (mudando de 128 clientes por porta PON para 256 clientes por porta PON) de forma que a infraestrutura existente fosse reaproveitada.

A demanda de expansão física da rede, a pressão do mercado e a demanda dos clientes por planos cada vez maiores foram fatores determinantes para a escolha da estratégia de mudança de tecnologia.

Dessa forma, mudando os clientes conectados a uma das placas GPON para XGS-PON, abria-se a possibilidade de construção de mais 128 caixas de atendimento na região migrada, possibilitando a conexão de mais 2048 assinantes a rede.

5 PROCESSO DE MUDANÇA DE TECNOLOGIA

Uma vez escolhida a opção de mudança de tecnologia, é de extrema importância estudar-se a compatibilidade da nova tecnologia com a rede já existente. Além disso, definir um processo de migração que seja eficiente, financeiramente viável e com o menor tempo de desconexão possível é primordial para evitar transtornos à base de clientes.

Conforme apontado no item 1.1.3, a migração de trabalhadores para o sistema de home office, estudantes para o ensino à distância e o desenvolvimento de jogos on-line cada dia mais complexos e cheios de detalhes, provocam o aumento na procura por planos com maiores taxas de upload. Sabendo disso, foi escolhido o protocolo XGS-PON como tecnologia de migração devido a sua taxa de *Upstream* de 10 Gbit/s contra 2,5 Gbit/s oferecidos pelo protocolo XG-PON.

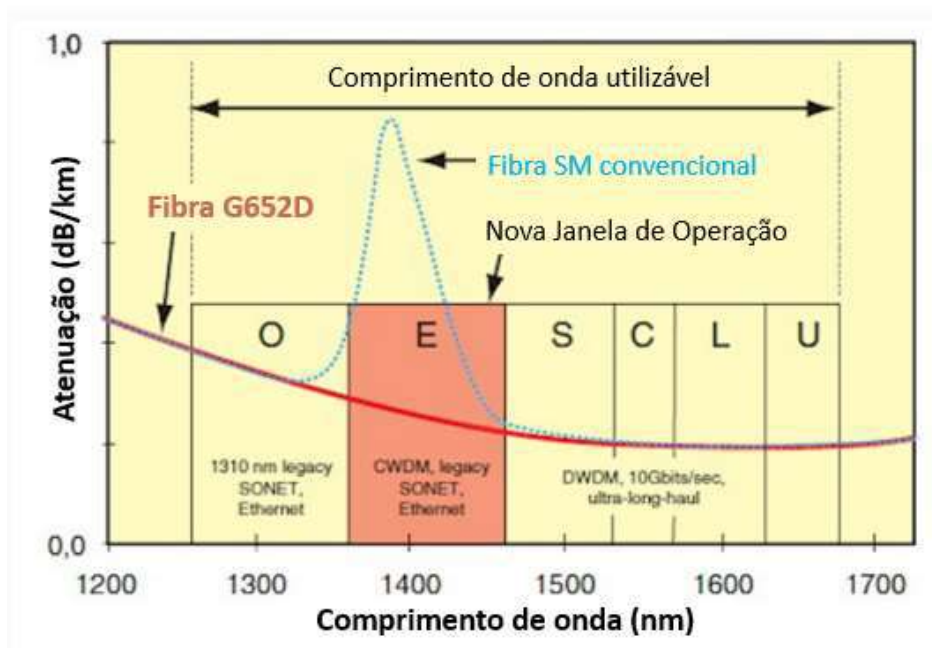
Não foram consideradas as tecnologias aplicadas no NG-PON 2 devido seu elevado custo e dificuldade de aquisição no mercado.

5.1 ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE DO PROTOCOLO XGS-PON COM A INFRAESTRUTURA EXISTENTE

Conhecendo as especificações do protocolo XGS-PON, apresentado no Item 2.1.2, a primeira verificação que precisa ser feita é se os comprimentos de onda utilizados no XGS-PON estão dentro da banda óptica passante de todos os componentes passivos da infraestrutura.

Como todas as fibras ópticas utilizadas tanto nos cabos de distribuição quanto nos cabos de atendimento (Cabo DROP) foram fabricadas no padrão G.652D, observando o comportamento da curva de atenuação por comprimento de onda (Figura 17) foi constatado que a operabilidade do protocolo XGS-PON na rede existente não seria um problema.

Figura 17 – Curva de atenuação por comprimento de onda.



Fonte: ISPMAIS, 2017.

Conforme apontado no item 3.2.3, Tabela 2, todos os *splitters* presentes na infraestrutura também seriam capazes de operar nos novos comprimentos de onda do protocolo XGS-PON que fora proposto para a migração.

5.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

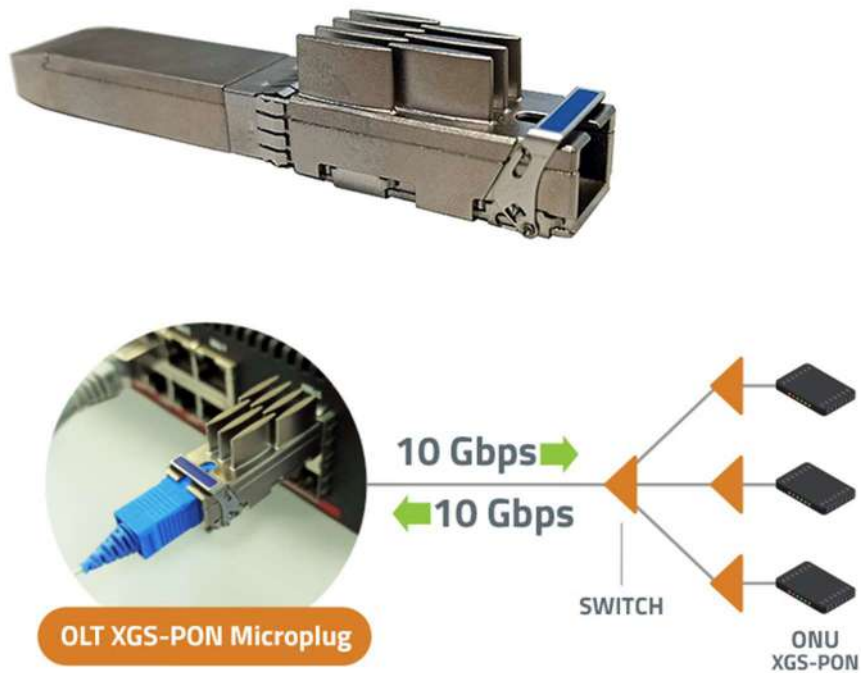
Sabendo que todos os elementos passivos da infraestrutura eram compatíveis com os comprimentos de onda utilizados no novo protocolo que seria implementado, iniciou-se a busca pelos equipamentos que seriam adicionados ou substituídos na rede.

5.2.1 OLT PLUGÁVEL PARA TESTES

Para iniciar os testes em bancada foi escolhida a solução de OLT XGS-PON Plugável e virtualizável, fabricada pela Venko Networks (Figura 18), que seria conectada diretamente em uma porta de 10 Gbit/s do *switch* de borda da rede, transformando-a em uma porta PON para conexões tanto com ONUs padrão XGS-PON quanto com ONUs Plugáveis da Venko Network.

Dessa forma tem-se uma porta XGS-PON para testes, sem necessidade de aquisição de uma placa XGS-PON conectada ao Chassi Huawei Existente.

Figura 18 – OLT XGS-PON Microplug.



Fonte: Venko Networks, 2021 (adaptado).

Através de uma OLT (Optical Line Terminal) XGS-PON em formato SFP+ *hot-pluggable* é possível transformar *switches* e roteadores com soquetes SFP+ em uma OLT XGS-PON de alta performance para a entrega de serviços B2B (*Business to Business*, fornecimento de internet do provedor para outros provedores) e B2C (*Business to Client*, fornecimento de internet do provedor diretamente para o cliente final). Pode-se observar suas especificações técnicas a partir da Figura 19.

Figura 19 – Especificações técnicas OLT XGS-PON Microplug.

OLT Microplug SFP+ Normal Temp.	
Portas	
10 GE	1x SFP+
2.5 GE	-
XGS-PON	1x SC/UPC
Interface XGS-PON	
Potência TX [dBm]	4 a 7
Sensibilidade RX [dBm]	-28
Overload RX [dBm]	-7
Comprimento de onda TX [nm]	1577
Comprimento de onda RX [nm]	1270

Fonte: Venko Networks, 2021 (adaptado).

5.2.2 PLACA XGS-PON

Como exposto no item 3.2.4.1, a OLT Chassi que já existia no provedor também era compatível com o protocolo XGS-PON. Dessa forma, foi escolhida a placa Huawei H901CSHF MA5800 16 PON (Figura 20).

A placa é composta por 16 portas SFP e lasers Padrão C+, potência de transmissão de 6 a 10 dBm, sensibilidade de -32 dBm, velocidade de *downstream* de 10 Gbit/s, *upstream* 10 Gbit/s e capacidade de atendimento de até 256 clientes.

Figura 20 – Huawei H901CSHF.



Fonte: Telecomate, 2022.

5.2.3 ONU

O modelo de ONU escolhido para a migração dos clientes foi a OXG-99G (Figura 21) fabricado pela ORFA OPTIC com taxa de download de até 10 Gbit/s, taxas de upload de até 2,5 Gbit/s, potência de transmissão de 4 a 9 dBm e sensibilidades de -28 dBm.

O modelo foi escolhido por ser compatível tanto com o OLT Plugável da Venko Networks, quando com a placa XGS-PON da Huawei que fora instalada após o período de testes.

Figura 21 – ONU OXG-99G.



Fonte: Orfa Optic, 2022.

5.2.4 MULTIPLEXADOR ÓPTICO WDM

Um fator crucial para o processo de migração de tecnologia é a coexistência de ambas as tecnologias na mesma rede de distribuição durante o período de migração. Isso porque, quando há essa possibilidade de coexistência, os impactos nos clientes são infinitamente inferiores tendo em vista que a migração pode ocorrer de forma gradual com o mínimo de tempo de desconexão da rede.

Para que ambas as tecnologias (GPON e XGS-PON) coexistam na mesma ODN (Optical Distribution Network - Rede de Distribuição Óptica), é necessário adicionar ao sistema um combinador óptico para que todos os comprimentos de onda sejam multiplexados em uma mesma fibra, que será distribuída na rede.

O combinador óptico escolhido foi o Módulo Huawei WDM1r1201 (Figura 22) um multiplexador de comprimento de onda desenvolvido para que as Novas Gerações de Acesso (NGA) coexistam com o protocolo GPON na mesma ODN.

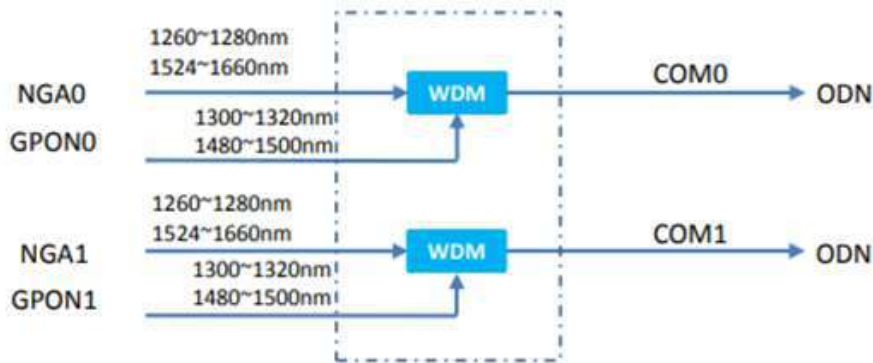
Figura 22 – Módulo WDM1r



Fonte: Huawei, 2015

O módulo é composto por 2 Portas de Entrada NGA com perda de inserção máxima de 1,2 dB (utilizadas para conexão da porta XGS-PON), 2 portas de entrada GPON com perda de inserção máxima de 1 dB e 2 saídas combinadas NGA + GPON, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Diagramação do Módulo WDM1r.



Fonte: Huawei, 2015.

5.3 ANÁLISE DO BALANÇO DE POTÊNCIA

Antes de se adquirir os equipamentos descritos no item acima, utilizando as informações das especificações técnicas deles, foi feita a análise do balanço de potência em todos os cenários propostos a fim de se ter a certeza de que os equipamentos selecionados operariam dentro de suas margens de sensibilidade.

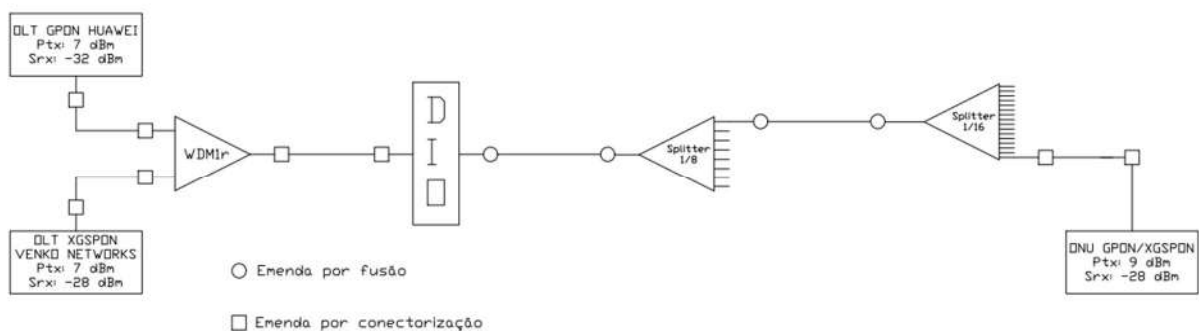
5.3.1 CENÁRIO 1 – XGS-PON VENKO NETWORKS + GPON HUAWEI

O primeiro cenário (Figura 24) é o cenário de teste utilizando a OLT Plugável da Venko Networks.

Como na rede GPON existente algumas caixas de atendimento já haviam sido expandidas (*splitter* de atendimento substituído de 1x8 para 1x16) foi considerada essa configuração como sendo o pior cenário.

Além disso, para garantir que todos os clientes conectados nos *backbones* 1 e 2 pudessem ser migrados para o XGS-PON, foi considerada a maior distância da rota (distância entre o cliente mais longe e provedor) como sendo de 4,5 km.

Figura 24 – Diagrama Cenário 1.



Fonte: Elaboração própria.

Analisando a Figura 24, pode-se observar que existem 6 conectores (3,0 dB), 4 fusões (0,4 dB), 1 Multiplexador WDM1r (1,2 dB), 1 *splitter* de 1x8 (10,5 dB), 1 *splitter* de 1x16 (foi adotado 14 dB para facilitar os cálculos), considerando a distância entre a central e o cliente mais distante da rede de aproximadamente 4,5 km (1,575 dB). Sendo assim, a perda total na rede será de aproximadamente 30,7 dB. Dessa forma:

- Para a ONU

$$P_{RXONU}(dBm) = P_{TXOLT} - A_{TOT} \quad (1)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = 7 \text{ dBm} - 30,7 \text{ dB} \quad (2)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = -23,7 \text{ dBm} \quad (3)$$

- Para a OLT

$$P_{RXOLT}(dBm) = P_{TXONU} - A_{TOT} \quad (1)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = 9 \text{ dBm} - 30,7 \text{ dB} \quad (2)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = -21,7 \text{ dBm} \quad (3)$$

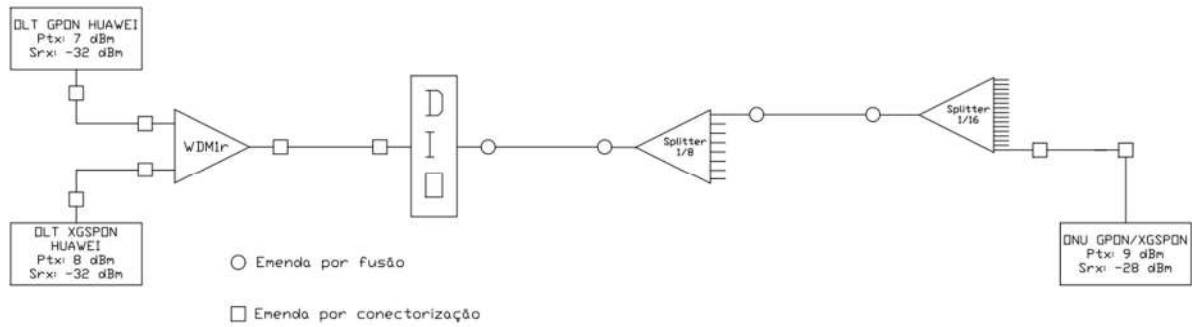
Percebe-se que tanto a potência recebida na OLT quanto a potência recebida na ONU são maiores que suas respectivas sensibilidades com margens chegando a 6,3 dB para OLT e 4,3 dB para ONU.

Considerando as taxas de transmissão de 2,5 Gbit/s para o GPON e 10 Gbit/s para o XGS-PON e a taxa de divisão de 1/128 deste cenário, conclui-se que os clientes conectados à rede GPON teriam 20 Mbit/s de taxa de transmissão de forma dedicada. Já os clientes conectados à rede XGS-PON contam com aproximadamente 80 Mbit/s de taxa de transmissão de forma dedicada.

5.3.2 CENÁRIO 2 – XGS-HUAWEI + GPON HUAWEI

Levando em consideração as mesmas premissas do cenário 1, o cenário 2 (Figura 25) difere apenas da substituição da OLT Plugável da Venko Networks pela placa XGS-PON da Huawei uma vez que todos os testes e homologações internas fossem realizadas.

Figura 25 – Diagrama Cenário 2.



Fonte: Elaboração própria.

Como não houve nenhuma mudança física na estrutura da rede de distribuição podemos continuar considerando a atenuação total da rede como sendo 30,7 dB. Dessa forma:

- Para a ONU

$$P_{RXONU}(dBm) = P_{TXOLT} - A_{TOT} \quad (1)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = 8 \text{ dBm} - 30,7 \text{ dB} \quad (2)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = -22,7 \text{ dBm} \quad (3)$$

- Para a OLT

$$P_{RXOLT}(dBm) = P_{TXONU} - A_{TOT} \quad (1)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = 9 \text{ dBm} - 30,7 \text{ dB} \quad (2)$$

$$P_{RXONU}(dBm) = -21,7 \text{ dBm} \quad (3)$$

Percebe-se que tanto a potência recebida na OLT quanto a potência recebida na ONU são maiores que suas respectivas sensibilidades com margens chegando a 10,3 dB para OLT e 5,3 dB para ONU.

Considerando as taxas de transmissão de 2,5 Gbit/s para o GPON e 10 Gbit/s para o XGS-PON e a taxa de divisão de 1/128 deste cenário, conclui-se que os clientes conectados à rede GPON teriam 20 Mbit/s de taxa de transmissão de forma dedicada. Já os clientes conectados à rede XGS-PON contam com aproximada 80 Mbit/s de taxa de transmissão de forma dedicada.

5.3.3 CENÁRIO 3 – XGS-HUAWEI COM REDE EXPANDIDA 1/256

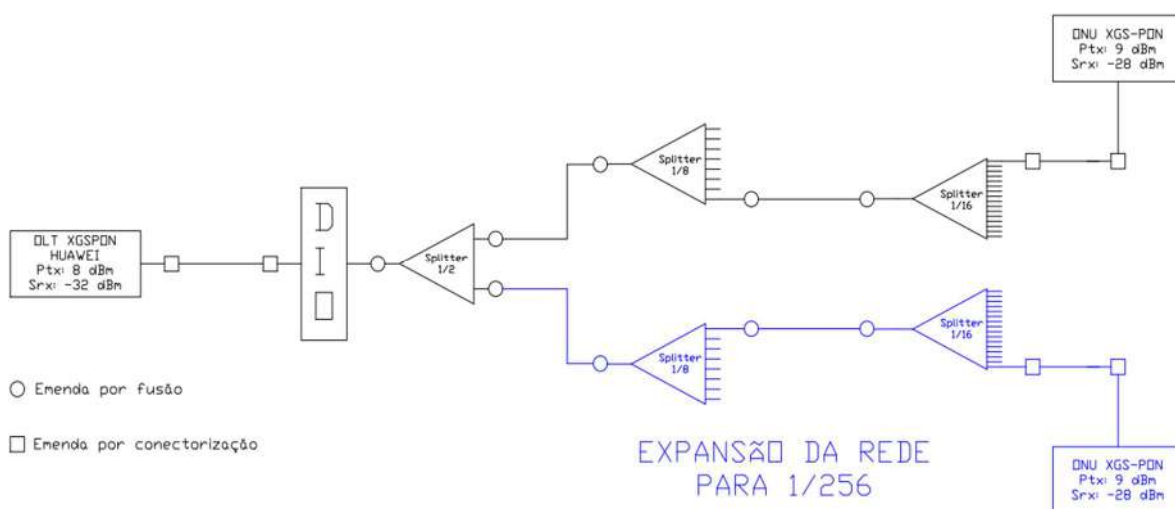
Uma vez que todo o processo de migração fosse concluído, ou seja, todos os clientes de determinada porta PON já fossem atendidos pela tecnologia XGS-PON foi possível dar início ao processo de expansão da rede para a taxa de divisão de 1/256.

Essa expansão seria realizada adicionando um *splitter* de 1/2 antes do *splitter* primário de 1/8.

Dessa forma foi aberta a possibilidade de construção de uma outra infraestrutura óptica com taxa de divisão de 1/128 (assim como a primeira já existente).

Pode-se observar o diagrama do cenário 3 na Figura 26.

Figura 26 – Diagrama Cenário 3.



Fonte: Elaboração Própria.

No novo cenário, agora já sem a necessidade do multiplexador, temos 4 conectores (2,0 dB), 5 fusões (0,5 dB), 1 *splitter* de 1x2 (3,5 dB), 1 *splitter* de 1x8 (10,5 dB), 1 *splitter* de 1x16 (14 dB) e considerando a distância de 4,5 km (1,575 dB), a perda total na rede será de aproximadamente 32,1 dB. Dessa forma:

- Para a ONU

$$P_{RX}ONU(dBm) = P_{TX}OLT - A_{TOT} \quad (1)$$

$$P_{RX}ONU(dBm) = 8 \text{ dBm} - 32,1 \text{ dB} \quad (2)$$

$$P_{RX}ONU(dBm) = -24,1 \text{ dBm} \quad (3)$$

- Para a OLT

$$P_{RX}OLT(dBm) = P_{TX}ONU - A_{TOT} \quad (1)$$

$$P_{RX}ONU(dBm) = 9 \text{ dBm} - 32,1 \text{ dB} \quad (2)$$

$$P_{RX}ONU(dBm) = -23,1 \text{ dBm} \quad (3)$$

Percebe-se que tanto a potência recebida na OLT quanto a potência recebida na ONU são maiores que suas respectivas sensibilidades com margens chegando a 8,9 dB para OLT e 3,9 dB para ONU.

Neste cenário não existe mais a presença do protocolo GPON assim como já temos a rede expandida para 1/256. Dessa forma, a taxa de transmissão dedicada para cada cliente é de 40Mbit/s.

5.4 PROCESSO DE MIGRAÇÃO

Após a verificação matemática de que todos os parâmetros estavam dentro das janelas de operação dos equipamentos, iniciou-se o período de teste e migração.

Inicialmente comprou-se a OLT Plugável da Venko Networks e um lote inicial de 10 ONUs XGS-PON. A OLT foi configurada no sistema e foi estabelecida a primeira comunicação entre OLT e ONU XGS-PON.

Em seguida, o cenário 1 (item 5.3.1) foi montado em bancada a fim de se testar a interoperabilidade entre os protocolos GPON e XGS-PON.

Nas saídas do *splitter* de segundo nível de 1/16 foram adicionadas 16 ONUs sendo 8 XGS-PON e 8 GPON que ficaram conectadas e em regimes de testes pelo time de supervisão de rede por 30 dias.

Uma vez homologado internamente, foi recebido o aval da equipe de supervisão de rede para a implementação do sistema em campo. Então, o primeiro grupo de clientes (todos conectados pela mesma porta PON) foi selecionado para a substituição das ONUs GPON por ONUs XGS-PON.

A grande dificuldade desta etapa foi agendar as substituições dos equipamentos com os clientes. Muitos não estavam disponíveis nos horários comerciais, e alguns não queriam realizar a substituição.

Todo o processo de substituição durou cerca de 60 dias. Neste período ONUs GPON e XGS-PON compartilharam o mesmo canal de comunicação de forma não interferente e sem nenhum problema surpresa.

Uma vez que todas as ONUs foram substituídas foi percebido que o processo de migração que fora elaborado era simples, eficiente, e não oferecia desconforto aos assinantes tendo em vista que só houve 3 janelas de desconexões sendo a primeira no momento em que foi adicionado o multiplexador óptico (em torno de 1 minutos), a segunda no momento da substituição da ONU (em torno de 1 minuto) e a terceira no momento da retirada do multiplexador óptico (em torno de 1 minuto).

Agora que o processo de substituição das ONUs fora concluído, mais nenhum cliente daquela porta PON estava conectado a OLT GPON. Dessa forma foi possível retirar a porta PON do multiplexador assim como o próprio multiplexador da rede óptica.

Feito isso, o processo piloto de migração da rede de GPON para XGS-PON havia sido concluído com sucesso, sem nenhum evento não planejado.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como motivação base a apresentação da elaboração do projeto inicial da rede de acesso óptico de um provedor de serviços de internet, localizado na cidade de Feira de Santana – BA. Posteriormente, a problemática apresentada devido a superlotação dos cabos de *backbone* e a necessidade de expansão de rede tanto para proporcionar instalação de novos pontos de atendimento quanto para possibilitar a oferta de planos mais velozes, motivou a realização de estudos que indicaram a migração de parte da rede para uma tecnologia que pudesse atender aos novos requisitos estipulados como o melhor caminho a ser seguido. Os estudos incidiram em diversos aspectos ao nível de engenharia e de conhecimento de mercado do setor de telecomunicações, na tentativa de compreensão do impacto na infraestrutura ocasionado pelo processo de migração.

Foi estudada a arquitetura de rede FTTH, utilizando a tecnologia GPON, e XGS-PON. Para tal, foram analisados três cenários apresentados em diferentes estágios do processo de migração. Para se fazer a análise de viabilidade de cada cenário foi necessário realizar um estudo de balanço de potência que determinasse as possibilidades de sucesso dessa topologia.

Ao todo, foi substituída 1 Placa GPON (16 portas) por uma placa XGS-PON (16 portas). Para isso foi necessário migrar cerca de 1500 clientes para a nova tecnologia. O tempo de desconexão médio gerado devido processo de migração foi de 3 minutos divididos em 3 etapas de 1 minuto:

- Desconexão da Porta PON para adição do Multiplexador Óptico WDM;
- Desconexão da ONU GPON para substituição pela ONU XGS-PON;
- Quebra da fusão do *splitter* de primeiro nível para adição do *splitter* de 1x2 expandindo a taxa de divisão da rede de 1/128 para 1/256 clientes por porta.

Do ponto de vista operacional, a migração para a tecnologia XGS-PON traz muita versatilidade para a rede de fibra óptica, possibilita a expansão em 100% da capacidade da rede construída, maior segurança na oferta de planos de supervelocidades e ainda abre a possibilidade de redução em 50% do número de fibras utilizadas nos cabeamentos principais, permitindo novas oportunidades de negócio para o provedor.

A oferta de planos de internet não se limita as taxas de transmissão apresentadas nos 3 cenários estudados. Vale lembrar que esses são valores dedicados a cada cliente, levando em conta a utilização máxima de forma contínua o que não é compatível com o perfil de utilização dos clientes.

A placa GPON e as ONUS que foram substituídas durante a mudança de tecnologia, foram reaproveitadas e utilizadas para o atendimento de novas áreas de cabeamento que foram construídas em sucessão ao processo de migração.

Atualmente, o provedor conta com uma base de aproximadamente 5.000 assinantes, onde destes, cerca de 2.100 assinantes estão conectados a rede XGS-PON.

REFERÊNCIAS

ANATEL. Relatório de Acompanhamento do Setor de Telecomunicações - Serviço de Comunicação Multimídia – Banda Larga Fixa 2º Semestre de 2021. Disponível em: encurtador.com.br/bcnBI - último acesso em 10/05/2022

FIBRACEM. Catálogo de Vendas. Disponível em: <https://www.fibracem.com/produto/caixa-de-emenda-optica-24-fibras-svt/> - último acesso em 10/05/2022

_____. Catálogo de Vendas. Disponível em: <https://www.fibracem.com/produto/caixa-terminal-optica-cto-1x8-nap-ng/> - último acesso em 10/05/2022

FURUKAWA. Especificação Técnica ET02371 v5. Disponível em: <https://www.furukawalatam.com/pt-br/versao-et-pdf/=a0A6100000blnoA> - último acesso em 10/05/2022

GONÇALVES, C. M. L. GPON / FTTH – FTTH_Fiber to the Home. Dissertação (mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Redes) – Universidade da Madeira, Região Autónoma da Madeira – Portugal, 2009

HUAWEI. Página de Suporte SmartAX MA5800 (MA5800-X17/MA5800-X15/MA5800-X7/MA5800-X2). Disponível em: <https://support.huawei.com/enterprise/en/optical-access/smartax-ma5800-pid-21484577> - último acesso em 10/05/2022

_____. WDM1r1201 Module iODNCP V100R001C16 Datasheet 01. Disponível em: [1604019658216728.pdf \(actfor.net\)](https://actfor.net/1604019658216728.pdf) - último acesso em 10/05/2022

ITU TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR (ITU-T) G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification, 2003

_____. G.987: 10-Gigabit-capable Passive Optical Networks (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations, and acronyms, 2012

_____. G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable, 2016

MUKHERJEE, Biswanath. Keynote Talk Presented at: 4th Euro NGI Conference 2008.

Disponível:http://www.kt.agh.edu.pl/ngi2008/keynotes_material/Biswanath_Mukherjee_NGI_2008_keynote.pdf - último acesso em 03/05/2022

MUYLDER, Cristina: A competitividade do setor de telecomunicações brasileiro, Revista Ibero-Americana de estratégia, 2018.

ORFA TECH. Catálogo de Vendas. Disponível em: <https://orfaoptic.com/> - último acesso em 10/05/2022

PINHEIRO, J. M. S. Redes Ópticas de Acesso em Telecomunicações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

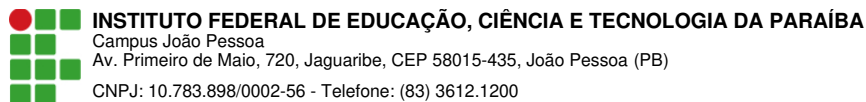
RIBEIRO, Rafael. Passive Optical Network (PON). Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/rafael_ribeiro/E-PON.html- último acesso em 17/05/2022

TECWI Evolução GPON (XGPON, NG-PON e XGS-PON), 2019. Disponível em: <https://www.tecwi.com.br/blog/post/evolucoes-gpon-xg-pou-ng-pou-e-xgs-pou> Último acesso em 17/05/2022

TELECOMATE. Catálogo de Vendas. Disponível em: <https://www.telecomate.com/h901cshf.html> - último acesso em 10/05/2022

VENKO NETWORKS. Catálogo de Vendas. Disponível em: <https://venkonetworks.com/index.php> - último acesso em 10/05/2022

WINET. Catálogo de planos. Disponível em: <https://winetfsa.com.br/planos-e-servicos/> - último acesso em 17/05/2022



Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de Conclusão de Curso

Assunto: Trabalho de Conclusão de Curso
Assinado por: Alessandro Montenegro
Tipo do Documento: Relatório
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alessandro Wesley de Oliveira Montenegro, ALUNO (20141610080) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA**, em 05/01/2023 11:13:39.

Este documento foi armazenado no SUAP em 05/01/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 713874
Código de Autenticação: 3077080c58

