

PROJETO DE UMA REDE GPON IMPLEMENTADA

Lennon da Cruz Cortes¹
João Padilha Moreira²
Jader Ligorio Rodrigues³

RESUMO

O seguinte tema do trabalho de conclusão de curso surgiu, diante da necessidade que temos no nosso cotidiano, a entrega de serviços de telecomunicações mais completos, maior largura de banda, segurança, assim este trabalho surge com a implantação de uma rede óptica. Abordando e demonstrando os principais aspectos dos sistemas de comunicação via fibra óptica Gigabit Passive Optical Network (GPON), adotando-se a topologia Fiber To The Home (FTTH), mostrando suas vantagens e desvantagens. Além de uma ilustração prática com a apresentação de um estudo da implementação, mostrando a parte prática de uma rede de acesso via fibra óptica. Será mostrado a fibra óptica em si, o comportamento da luz e como ela se propaga, os tipos de fibra óptica e as possíveis perdas, atenuações, principais equipamentos e componentes usados numa rede Passive Optical Network (PON).

Palavras-chave: GPON, OPTICAL, FIBER, TELECOMUNICAÇÕES, SEGURANÇA.

DESIGN OF AN IMPLEMENTED GPON NETWORK

ABSTRACT

The following theme of the course conclusion work came up, given the need we have in our daily lives, the delivery of more complete telecommunications services, greater bandwidth, security, so this work arises with the implementation of an optical network. Addressing and demonstrating the main aspects of communication systems via Gigabit Passive Optical Network (GPON) optical fiber, adopting the Fiber To The Home (FTTH) topology, showing its advantages and disadvantages. In addition to a practical illustration with the presentation of a study of the implementation, showing the practical part of an access network via optical fiber. It will be shown the optical fiber itself, the behavior of light and how it propagates, the types of optical fiber and the possible losses, attenuations, main equipment and components used in a Passive Optical Network (PON).

Keywords: GPON, OPTICAL, FIBER, TELECOMMUNICATIONS, SECURITY.

¹ Acadêmico do Curso Superior em Tecnologia em Redes de Computadores – Faculdade Alcides Maya. gabriele.konnorate@alcidesmaya.edu.br

² Professor do Curso Superior em Tecnologia em Redes de Computadores – Faculdade Alcides Maya. joao_moreira@alcidesmaya.edu.br

³ Professor do Curso Superior em Tecnologia em Redes de Computadores – Faculdade Alcides Maya. joao_moreira@alcidesmaya.edu.br



INTRODUÇÃO

Evolução da internet e demanda de dados

A internet, ao longo dos anos, vem se desenvolvendo cada vez mais. Praticamente todos os anos aparecem novas atividades que podem ser feitas por meio dela, seja pesquisas sobre algo, downloads de uma música ou fazer uma compra online. Porém, nem sempre foi assim, no começo de sua existência.

A criação da rede, que conhecemos hoje como internet, aconteceu por volta dos anos 60. Sua criação se deu por meio das agências de defesa dos EUA, que tiveram a ideia de criar uma rede confiável, voltado para os militares e os acadêmicos, que continuasse funcionando mesmo em época de guerra. A intenção era que cada equipamento conectado pudesse operar de maneira "autônoma". Caso alguma parte da rede fosse afetada, todo o resto podia continuar em operação. A partir daí, criou-se a ARPANET.(FELIPE, 2013)

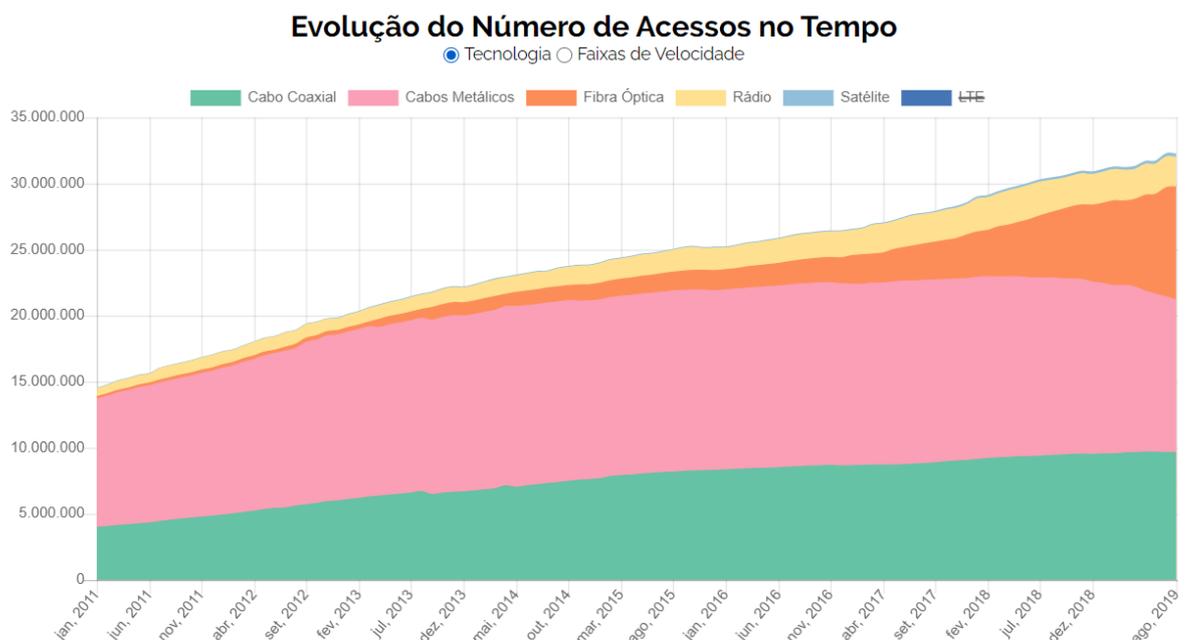
Naquela época, as primeiras redes de computadores tinham o único objetivo de interligar diversos institutos através de cabos. Poucas atividades eram realizadas, resumindo-se a troca de mensagens e transferência de arquivos. Alguns anos depois, o público em geral já começava a ter acesso a essa rede, utilizando-se da internet discada, que era acessada por meio da linha telefônica, como o próprio nome sugere. A velocidade de conexão ainda era bastante lenta, o que fazia com que a grande maioria das informações contidas na internet fossem somente páginas de texto.

A criação do World Wide Web (WWW) possibilitou o acesso de conteúdos multimídia na internet. Dessa forma o usuário final começava a ter acesso a imagens, vídeos e músicas. Serviços como videoconferência, downloads de vídeo, música, entre outros, causaram uma grande expansão no uso de internet nos anos 2000. Mais recentemente, com a popularização dos smartphones associado com o nascimento das redes sociais, aplicativos de troca de mensagens instantâneas, streaming de vídeos, jogos, Internet Protocol

Television (IPTV), Internet of Things (IoT), causaram mais uma grande mudança na forma de utilizar a internet.

Com essa evolução e demanda vem exigindo meios de comunicação cada vez mais rápidos e eficientes.

A fibra ótica vem surgindo como um meio eficiente, eficaz, constituído de matéria prima abundante e barata, o que a torna um meio de comunicação com um excelente custo benefício, além de suportar toda essa demanda. A evolução do consumo de dados no Brasil entre 2011-2019. Note que o crescimento de consumo de dados e principalmente o aumento da fibra optica nos últimos anos.



Fonte: ANATEL

OBJETIVO

Realizar uma análise da tecnologia GPON, com objetivo de demonstrar através de um projeto, a solução para serviços de telecomunicações. Apresenta-se a necessidade de oferecer serviços de uma rede convergente, que oferece aos clientes a possibilidade de entrega de dados, voz e vídeo em uma mesma transmissão.



Foi realizado o levantamento bibliográfico dos tipos de redes GPON, e os componentes que formam a rede.

Nas topologias de FTTX, no FTTH, FTTB e FTTH foi constatado que estes modelos podem ser considerados muito semelhantes, a diferença é na abordagem até o usuário final, pois cada topologia possui suas características de abordagem.

METODOLOGIA

O trabalho de pesquisa compreende um estudo de caso, que será desenvolvido para o atendimento a um condomínio residencial que irá utilizar os serviços de uma operadora de telecomunicações no formato *Triple Play* (Voz, Dados e Vídeo). Tal serviço visa o crescimento da base de clientes e a oferta de serviços de próxima geração, através de uma única fibra ótica por meio da multiplexação da informação. O projeto será desenvolvido a partir da central até a residência do cliente.

O método utilizado para fundamentação teórica e conhecimento das tecnologias abordadas, onde serão estudados os modelos de redes de fibra ótica até o cliente (FTTx).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

FIBRA ÓTICA

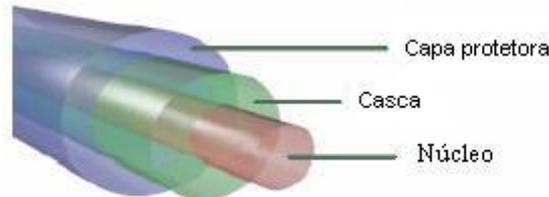
A fibra ótica foi inventada pelo físico indiano Narinder Singh Kanpany, a partir de um Fotofen, objeto que convertia sinais óticos utilizando a luz do Sol e lentes montadas em um transdutor que vibrava ao entrar em contato com o som. Os primeiros experimentos utilizando fibra ótica ocorreram em 1930 na Alemanha (CURSO FIBRA OPTICA, 2014).

Usadas para carregar sinais digitais na forma de pulsos de luz modulados, a fibra ótica é um guia de onda dielétrico com estrutura cilíndrica e seção circular reta. Ao longo do comprimento da fibra ótica a estrutura e distribuição, em geral, são uniformes (RIBEIRO, 2003).

A fibra ótica é composta de duas partes:

- Núcleo: Parte central da fibra por onde a luz é guiada.

- Casca: Parte externa da fibra ótica que envolve o núcleo, cujo índice de refração é menor que do núcleo para garantir que a luz se propague ao longo do núcleo pelo fenômeno da reflexão interna total (Furuwaka, 2010).

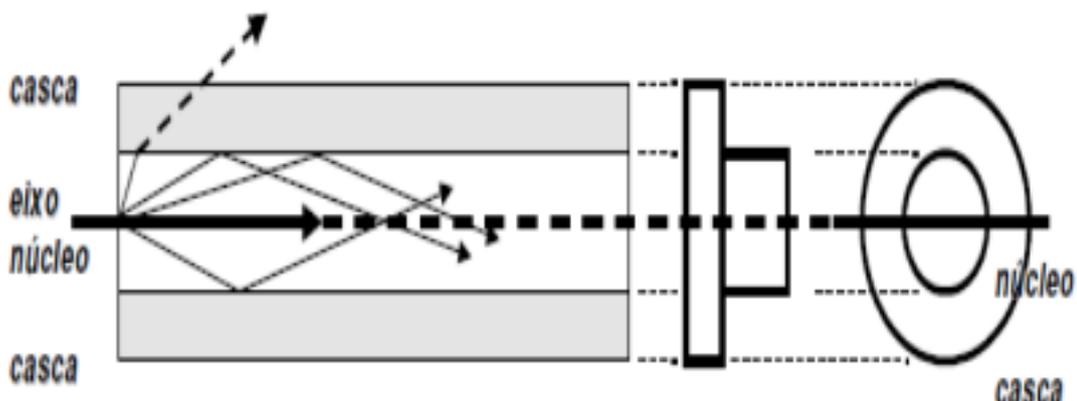


Fonte: PEREIRA (2008)

A capacidade de transmissão (banda passante) de uma fibra ótica é função de seu comprimento, da sua geometria e do seu perfil de índices de refração. Podem ser definidas duas categorias de fibras dependendo da forma como a luz se propaga no interior de cada núcleo, multimodo e monomodo (CURSO FIBRA OPTICA, 2014).

FIBRA MULTIMODO

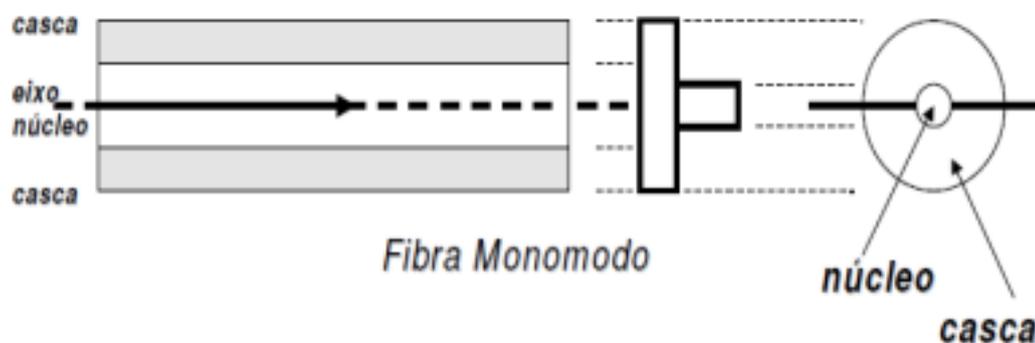
São aquelas onde o diâmetro do núcleo (normalmente 50 ou 62,5 μm) permite que a luz tenha vários modos de propagação. Essas fibras podem também ser classificadas em índice gradual ou degrau dependendo da variação do índice de refração entre o núcleo e a casca. (FURUKAWA, 2010).



Fonte Furuwaka (2010)

FIBRAS MONOMODO

Possuem menor diâmetro de núcleo (normalmente 8 a 10 μ m), e requerem conectores de maior precisão e dispositivos de alto custo e foram desenvolvidas para aplicações que envolvam grandes distâncias e elevadas taxas (CURSO FIBRA OPTICA, 2014). Também podem ser classificadas quanto ao índice de refração do núcleo em relação a casca, em índice degrau (padrão G-652) e há variações tais como: dispersão (FURUKAWA, 2010).



Fonte: Furuwaka (2010)

As principais causas de atenuação das fibras óticas são:

- Espalhamento: São causados por imperfeição da estrutura da fibra e se caracteriza pelo desvio da luz em várias direções.
- Absorção: É o processo onde várias impurezas na fibra absorvem parte da energia ótica e a dissipam em forma de calor. As impurezas são originárias do processo de fabricação da fibra ótica.
- Microcurvatura: É uma pequena deformação na fronteira entre o núcleo e a casca e ocorrem durante a fabricação da fibra ótica. Pode ter dimensões da ordem de grandeza inferior ou da mesma ordem de grandeza do raio da fibra.
- Macrocurvatura: É provocada quando a fibra ótica é curvada com um raio suficientemente pequeno de modo que os raios internos deixem de ser refletidos internamente e passem a ser absorvidos pela casca).

A dispersão é um fenômeno resultante dos atrasos relativos na propagação dos modos e componentes espectrais que transportam energia luminosa. A dispersão produz

uma distorção nos sinais transmitidos impondo limitação na capacidade de transmissão. A distorção é percebida como o alargamento do pulso que se propaga na fibra ótica.

Como qualquer meio, podemos citar algumas vantagens e algumas desvantagens das fibras óticas.

Dentre as vantagens pode-se destacar :

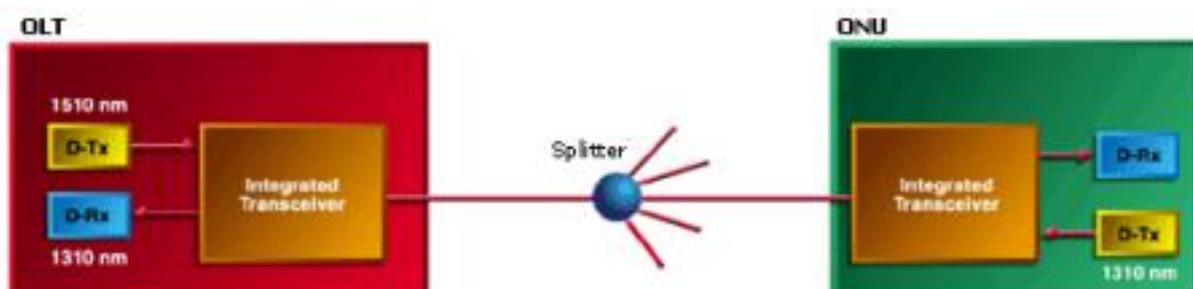
- A fibra ótica, por ser composta de material dielétrico, e imune a interferências eletromagnéticas, podendo ser utilizada em ambientes nos quais outros tipos de meios de transmissão não poderiam ser utilizados.

- Não existe nenhuma possibilidade de ocorrência de incêndios devido ao rompimento de uma fibra, já que somente há luz em seu interior.

- Alto grau de segurança para a informação transportada, pois as fibras não irradiam a luz propagada, dificultando o grameamento do sinal.

- Pequeno tamanho e peso. Esse fato contribui para diminuir o problema de espaço e de congestionamento de dutos nos subsolos das grandes cidades e em grandes edifícios comerciais.

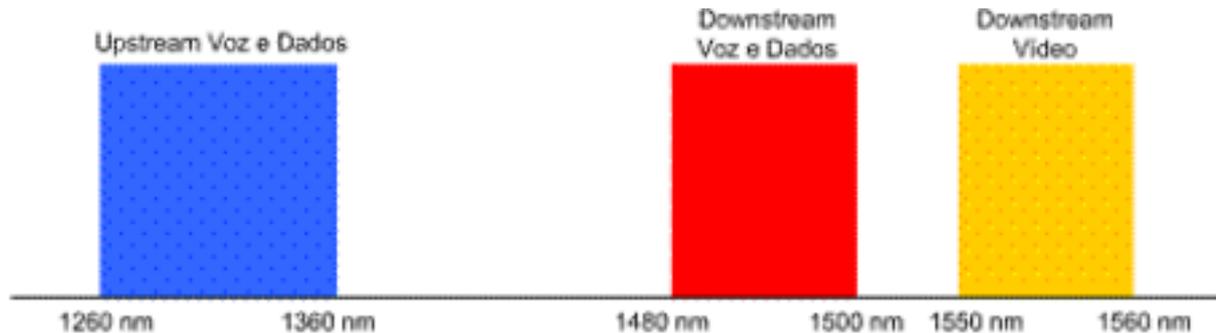
- As fibras óticas apresentam atualmente perdas de transmissão extremamente baixas (0,2 dB/km em $\lambda = 1550$ nm). Desse modo, com fibras óticas, é possível implantar sistemas de transmissão de longa distância com um espaçamento grande entre repetidores (~ 50 km), o que reduz significativamente a complexidade e custos do sistema.
- A produção de fibras óticas em larga escala tende a tornar o custo da fibra mais baixo do que outros materiais, como o cobre.



Fonte: SANCHEZ, 2004

A tecnologia de acesso por uma rede PON possui baixo custo e podem convergir serviços de dados, vídeo e voz em uma única fibra óptica através de um tráfego bidirecional com a multiplexação do comprimento de onda (OLIVEIRA, 2010).

Larguras de banda em comprimento de onda :



Fonte: OLIVEIRA, 2010

E dentre as desvantagens as principais:

As fibras óticas quando não estão protegidas pelo revestimento do cabo são razoavelmente frágeis, quebrando com facilidade.

Devido ao fato da fibra ter dimensões pequenas, sua instalação é bastante dificultada e, se for feita de forma incorreta, pode causar uma grande atenuação ou até mesmo o bloqueio da transmissão.

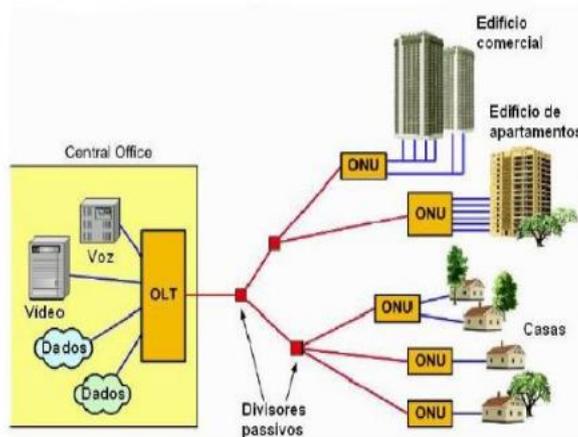
Os sistemas com fibras óticas requerem alimentação elétrica independente para cada repetidor, não sendo possível a alimentação remota através do próprio meio de transmissão.

A conectorização não pode ser feita em campo devido à variedade de equipamentos necessários.

COMPONENTES DA REDE GPON

As redes óticas passivas são compostas por diversos dispositivos óticos, em comparação com outras tecnologias de acesso, a tecnologia GPON oferece diversas vantagens, dentro dessas vantagens temos o tempo de duração da infraestrutura de uma fibra ótica, redução de custos operacionais através de

componentes passivos, uma maior distância entre os nós dos equipamentos, e o mais importante, a largura de banda com taxas elevadas (SANCHEZ, 2004).

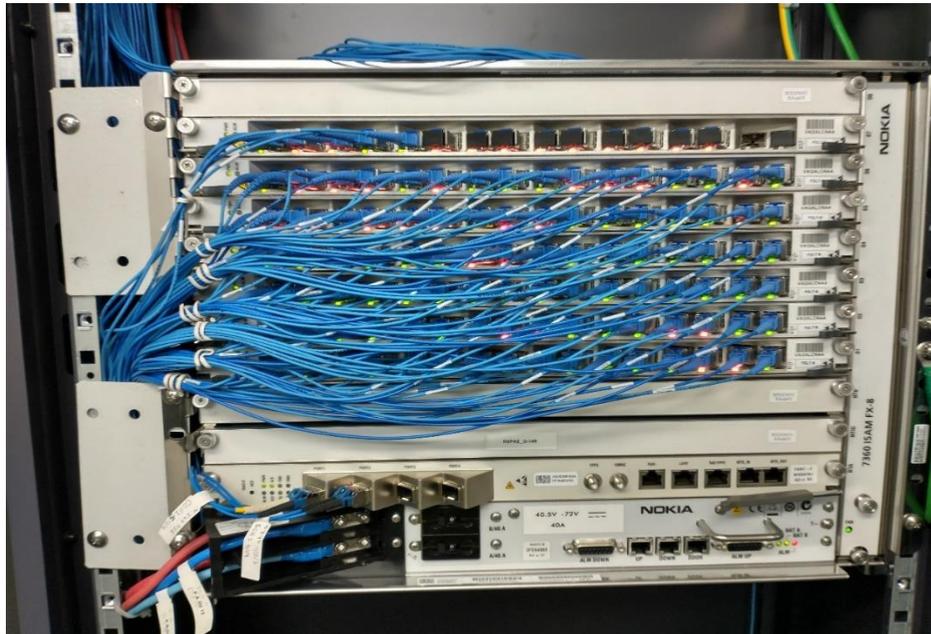


Fonte:FUJITA (2011)

TERMINAL DE LINHA ÓTICA (OLT)

O terminal de linha ótico (OLT) está localizado na central da operadora de telecomunicações, conecta à rede de acesso à rede metropolitana. A OLT é a responsável pela transmissão do sinal ótico, que é distribuído para os diversos clientes, através dos divisores óticos passivos, fornecendo serviços, como o VOIP, HDTV e Internet.

Um OLT pode ser capaz de suportar distâncias de transmissão de até 20 km através do ODN (*Optical Distribution Network*). Além disso, toda rede é gerenciada pela OLT (OLIVEIRA, 2010).



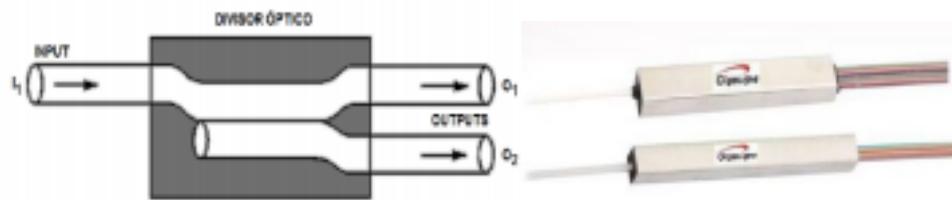
TERMINAL DE REDE ÓTICA (ONU)

A ONU ou ONT (*Optical Network terminal*), é localizada próxima do cliente. É o equipamento que faz a conversão do sinal ótico da OLT em sinal elétrico e demultiplexa o sinal elétrico para divisão da banda base em voz, dados e vídeo.

SPLITTER

O divisor passivo (*splitter*), é alocado entre a OLT e a ONU, ele é responsável por dividir ou combinar o sinal ótico 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. O splitter pode ser simétrico ou assimétrico, com 1 ou duas portas de entrada e até 128 portas de saída.

O splitter é um dispositivo passivo, ou seja, não utiliza energia elétrica para seu funcionamento. Este material é instalado dentro de DIO (Distribuidor Interno Ótico), caixas de emenda externas e locais onde é necessário dividir o acesso para diversos usuários.



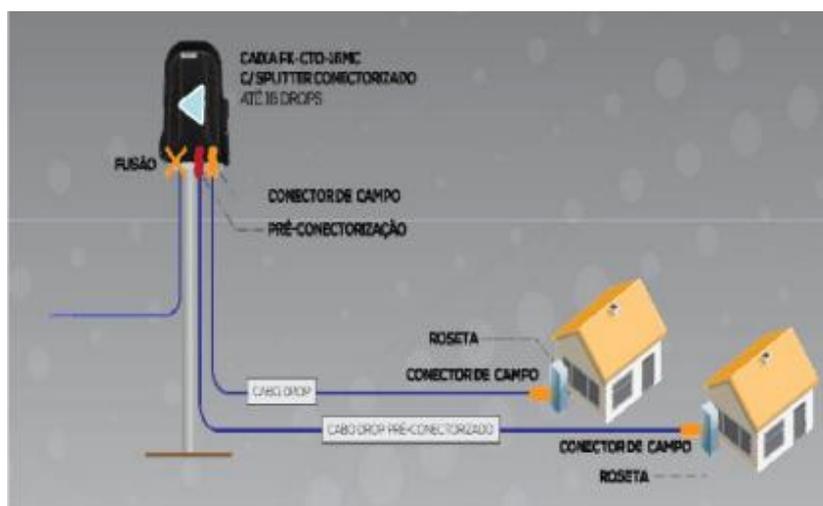
Fonte: Parks (2012)

CAIXA DE TERMINAÇÃO ÓTICA CONECTORIZADA

Além dos componentes básicos da rede GPON, existe ainda a Caixa de terminação ótica conectorizada que otimiza o tempo para ativação de um usuário, essa solução segundo site da FURUKAWA (2013) apresenta as seguintes vantagens:

- Não há necessidade de ferramentas especiais para abrir e fechar, pois é fácil de manusear durante a instalação e acomodação dos cabos;
- Sistema de fixação no poste embutido na caixa, com acesso às posições e facilidade para identificar o cabo do cliente, evitando erros;
- Caixa de terminação Aérea, com dezesseis saídas conectorizadas;
- 1 Splitter 1x16 ou 2 Splitters 1x8, ambos conectorizados;
- Módulo de conectores separado do módulo de emendas.

Essa solução ótica pré-conectorizada, já está sendo utilizada pelas empresas de telecomunicações nos ramos GPON.



Fonte: Furuwaka (2013)

CAIXAS DE EMENDA

As caixas de emenda são utilizadas em redes aéreas, subterrâneas ou diretamente enterrada. Quando usada na tecnologia PON, os splitters devem ser acomodados dentro das caixas de emenda utilizando as guias plásticas contidas na própria caixa ou utilizando fita dupla face. As caixas de emenda, em geral, são preparadas para ficarem expostas a condições ambientais.



Nas caixas de emendas temos as bandejas de emenda, que são desenhadas de acordo com o tipo de caixa de emenda e do número de emendas. Os módulos de emenda integrados são removíveis e intercambiáveis e acomodam fusão simples ou em massa. As bandejas de fibras podem ser configuradas para emendas ou para conectores pré-instalados. (TE, 2014).



Fonte: TE (2014)

CAIXAS PARA USO INTERNO

Essas caixas provê um perfil compacto para acomodar a transição de fibra externa para fibra interna e cordões óticos. O design flexível é projetado para montagem em parede interna ou externa, provendo um ponto de terminação robusto para emenda da rede e distribuição aos clientes.



Fonte: TE (2014)

CORDÃO ÓTICO

As interligações das fibras óticas com os componentes ativos devem ser realizadas com cordões óticos. Para o projeto de FTTH o cordão é constituído de uma fibra ótica do tipo monomodo revestida com conector ótico de tipo SC em uma extremidade. O conector SC se encaixa com um adaptador de interconexão ou receptáculo de acoplamento. Apresenta uma seção de corte quadrada para proporcionar alta densidade de acondicionamento em painéis de ligação (FIBER SHOW, 2001).



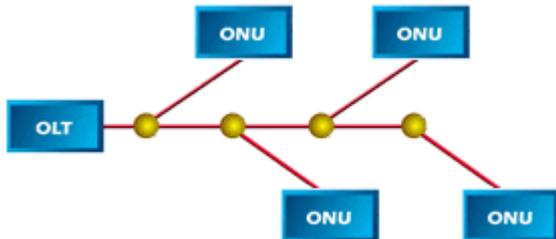
Fonte: TE (2014)

Arquitetura PON

Há muitas topologias que podem ser aplicadas a uma Rede Óptica de Acesso como: Topologia em Barra, Estrela, Anel e Árvore.

Topologia Barra

A Topologia em Barra provê uma conectividade ponto-multiponto entre OLT e ONU, mas qualquer falha no enlace principal causa a desconexão dos usuários (OLIVEIRA, 2010).



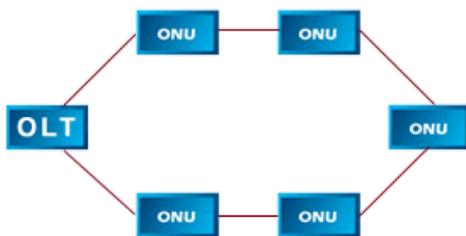
BUS

Topologia Estrela

A Topologia em Estrela provê uma conectividade ponto-a-ponto entre OLT e ONU. Esta topologia permite entrega de banda dedicada de altas taxas aos usuários finais e também possui um baixo custo em operação, administração e manutenção (OLIVEIRA, 2010).

Topologia Anel

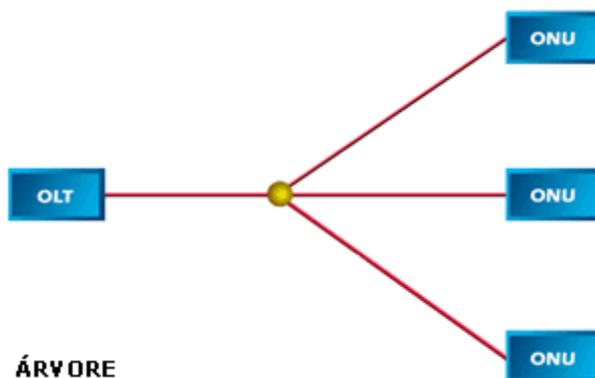
A Topologia em Anel oferece a vantagem ponto-multiponto da OLT para a ONU. Permite facilmente implementação de mecanismos de proteção – enlace com redundância – mas possui dificuldades para administração e manutenção (OLIVEIRA, 2010).



ANEL

Topologia Árvore

Topologia em Árvore é uma arquitetura ponto-multiponto que oferece a vantagem de infra-estrutura compartilhada entre todos os usuários, possuindo assim uma importante redução nos custos de implementação e manutenção na rede de acesso. Esta arquitetura é uma das mais difundidas nos estudos relacionados à Rede PON (OLIVEIRA, 2010).



GPON – REDE ÓPTICA PASSIVA GIGABIT

A Rede Óptica Passiva Gigabit tem por capacidade transmitir maiores velocidades de banda nas redes de acesso. com a idéia principal de transmitir comprimentos de pacotes variáveis a taxa de gigabit por segundo. O tráfego de informações downstream é transmitido em modo broadcasting, ou seja, a informação é transmitida a todos os elementos da rede. A mesma informação chega a todos os usuários por isso é necessário se utilizar um sistema de criptografia das informações para manter privacidade na comunicação (OLIVEIRA, 2010).

As taxas nominais são especificadas como 1.25 Gbit/s e 2.5 Gbit/s para downstream e 1.25 Gbit/s, e 2.5 Gbit/s para upstream. A recomendação também especifica distância máxima para transmissão de 10 a 20 km, que pode ser afetada pela qualidade e capacidade



dos transmissores e receptores ópticos. Para um GPON o número de divisões chega a 64 no divisor óptico.

TIPOS DE ACESSO VIA FIBRA ÓPTICA

A aplicação de tecnologia PON nas redes de acesso a residências e empresas é denominada FTTx (onde o x pode ser B (Building) – Prédio, C (Cabinet) – Armário, H (Home) – Casa, N (Node) – Nó. As soluções estão mudando constantemente e cada vez mais exclusivas para o atendimento aos clientes com uma maior largura de banda.

FTTN – Fibra até o Nó

Refere-se a uma arquitetura de atendimento PON em que as ONTs se distanciam a aproximadamente 1 km (quilometro) do usuário final. Normalmente instaladas em um distribuidor intermediário (Armário) disponibilizam o serviço ao usuário por meio de cabos coaxiais, cabos metálicos, fibra óptica ou algum outro meio para a transmissão das informações (OLIVEIRA, 2010).

FTTC – Fibra até o Armário

É realizado o atendimento até um distribuidor intermediário (exemplo: uma caixa outdoor instalada no auto de um poste de energia na rua) e a partir do mesmo é realizado o atendimento a um edifício ou residência se utilizando de cabos coaxiais, cabos metálicos, fibra óptica ou algum outro meio para a transmissão das informações. Muito similar ao FTTN, mas à distância da ONU ao usuário final não deve ultrapassar 300 metros de distância. Este equipamento deve possuir elementos robustos que suportem grandes variações de temperatura e demais intempéries climáticas no meio em que for instalado, visto que pode

haver uma dificuldade com a refrigeração do mesmo, devido as suas instalações (OLIVEIRA, 2010).

FTTB – Fibra até o Prédio

Esta solução permite a implantação de uma fibra óptica ponto-a-ponto e ponto-multiponto. Na sala apropriada do estabelecimento a ser atendido por FTTB é instalada uma ONT que é conectada a um switch para a distribuição dos serviços aos diversos andares de forma que as conexões entre o switch e equipamento do cliente podem ter terminações óptico – óptico ou óptico – elétrico. Normalmente o atendimento interno a partir do switch é através de uma rede metálica de cabeamento estruturado, onde se tem a aplicação mais comum de tecnologias ADSL2+, VDSL2, 10/100Base-T (OLIVEIRA, 2010).

FTTH – Fibra até a Casa

Uma fibra óptica é instalada diretamente da Central (OLT) até a Residência do Cliente (ONU). Este atendimento é o que gera maior custo para os prestadores de serviços, pois um novo cabeamento é realizado por ser atendimento óptico e não elétrico - nenhuma estrutura da rede metálica existente é utilizada (OLIVEIRA, 2010).

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A fibra óptica é um excelente meio de transmissão de dados em alta velocidade, quando comparada com os cabeamento convencionais ela é muito superior e apresenta enormes vantagens, como baixa perda na transmissão além de não sofrer interferência eletromagnética, porém sua implantação para atendimento a



usuários residenciais e pequenas empresas têm um alto custo quando comparado ao acesso via cabeamento metálico que já possui toda infra-estrutura instalada.

Com o crescente aumento do tráfego de dados, que cresce ano após ano, somado ao surgimento de novas aplicações que requerem uma maior largura de banda, como serviços triple play que combinam voz, dados e vídeo em um único canal de comunicação, é certo afirmar que dentro de alguns anos o futuro das redes cabeadas passará de metálica para fibra óptica.

Neste trabalho foi visto que a tecnologia GPON permite o atendimento a longas distâncias, sem a necessidade de utilizar consumo de energia elétrica no trajeto, pois são utilizados apenas elementos passivos, apenas os equipamentos de transmissão e recepção necessitam de alimentação elétrica, o que permite reduzir custos de implantação e manutenção da rede óptica.

Com o uso da rede óptica GPON juntamente com a configuração FTTH, mostra um atendimento diferenciado até a última milha com alta taxa de transmissões de dados. Apesar da rede de acesso via fibra óptica ser minoria em comparação a rede metálica que já está instalada há alguns anos, a tendência é que a rede de acesso via fibra óptica seja instalada com maior intensidade para suprir a necessidade dos clientes que cada vez mais estão querendo uma maior largura de banda para serviços de voz, dados e vídeo em um único canal de comunicação, que pode ser feito com o uso da fibra óptica como meio de transmissão.



REFERÊNCIAS:

ANATEL. **Acesso de Banda Larga Fixa no Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/dados/acessos-banda-larga-fixa>>. Acesso em: 21 out. 20.

CURSO FIBRA OPTICA. **Curso de fibra ótica com prática em máquina de fusão**. Disponível em: <<http://www.curso-fibra-optica.com.br/perguntas/como-surgiu-cabo-de-fibra-ptica>>. Acesso em: 21 out. 20.

FELIPE, B. **A evolução da internet, uma perspectiva histórica**. ASLEGIS, 2013. Disponível em: <http://www.belins.eng.br/ac01/papers/aslegis48_art01_hist_internet.pdf> Acesso em: 21 out. 20.

Fundamentos em Fibras Óticas. FURUKAWA, 2010. FURUKAWA. **Soluções FTTx**. Disponível em: <<http://www.furukawa.com.br/br/solucoes/solucoes/fttx-150.html>> Acesso em: 21 out. 20.

FUJITA, E. **Treinamento FTTX Projeto e Planta Externa**, FURUKAWA, 2011 FURUKAWA.

FURUKAWA. **Caixa Terminal Ótica Conectorizada**. Disponível em: <<http://www.furukawa.com.br/br/produtos/conectividade-optica/caixa-de-emenda/caixa-de-emenda/caixa-terminal-optica-conectorizada-821.html>>. Acesso em: 21 out. 20.

OLIVEIRA, Patrícia Beneti. **Soluções de Atendimento em Fibra Óptica I e II**. Teleco – Inteligencia em Telecomunicações – Seção: Tutorial. Publicado em: nov. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo1/Default.asp>> e <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo2/Default.asp>>. Acesso em: 21 out. 20.

PEREIRA, Rafael José Gonçalves. **Fibras Óticas e WDM**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seção: Comunicações Óticas. Publicado em: jun. 2008. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/wdm1/Fibraspticas_ConceitoseComposio.html>. Acesso em: 21 out. 20.

SANCHEZ, William Penhas. **PON: Redes Óticas de Acesso de Baixo Custo**. Teleco – Inteligencia em Telecomunicações – Seção: Tutorial. Publicado em: jun. 2004. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpon/default.asp>>. Acesso em: 21 out. 20.