

Redes Ópticas Passivas: Uma Nova Alternativa para as Redes Locais LAN

Leonardo Pereira Dias^{*§}, George Luiz Jales de Assis[§], Alex Ferreira dos Santos^{**†}, Karcus Day Rosario Assis^{*}

^{*}Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil

[†]Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Feira de Santana, Bahia, Brasil

[§]Companhia de Processamento de Dados do Estado da Bahia (PRODEB), Salvador, Bahia, Brasil

Email: {leonardo.dias, george.assis}@prodeb.ba.gov.br, alex.ferreira@ufrb.edu.br, karcus.assis@ufba.br

Resumo – Devido ao sucesso das redes ópticas passivas em redes de acesso, a alta capacidade dos sistemas ópticos e a constante queda nos custos dos materiais nestes envolvidos, criou-se a possibilidade desta mesma tecnologia ser utilizada em redes locais de computadores, dando origem a uma nova alternativa ao tradicional sistema de cabeamento estruturado baseado em cabeamento metálico. Este trabalho busca entender essa nova abordagem conhecida como PON LAN (*passive optical network for local area network*) e, através de uma comparação realizada em um cenário corporativo real, conhecer as vantagens de sua aplicação comprovando sua real eficiência em projetos de infraestrutura de redes locais de médio e grande porte.

Palavras Chaves — *Redes locais LAN, Redes ópticas passivas PON, sistemas PON LAN.*

I. INTRODUÇÃO

Em redes locais de médio e grande porte a quantidade de cabos, ativos da rede e número de conexões (além da maneira como estes elementos estarão dispostos) são fatores cruciais em um projeto de infraestrutura de redes e estes passam a ter um importante papel no custo de instalação, manutenção e gerenciamento da rede. Buscando uma solução que minimizasse todos estes problemas foi desenvolvido, por comitês técnicos internacionais, em meados de 1991, um conjunto de normas cujo o objetivo era planejar e estabelecer padrões para instalações de cabeamento de redes locais (redes LAN) em edifícios comerciais, sendo o mais conhecido e adotado o padrão americano revisado ANSI/TIA/EIA-568-B que discute os requisitos gerais para esses sistemas. Esse conjunto de normas, quando aplicado a uma determinada rede local, é conhecido tecnicamente como “sistema de cabeamento estruturado” e pode ser definido como um sistema que envolve cabos e hardware de conexão (conforme definido em normas), capaz de atender as necessidades de telecomunicações dos usuários de edifícios comerciais [1]. Nesse sistema cada tomada instalada em uma área de trabalho é considerada uma tomada de telecomunicações e pode ser usada para qualquer aplicação disponível, seja ela uma aplicação de dados, voz ou vídeo.

Atualmente, em projetos de infraestrutura desenvolvidos para redes locais LAN, o uso do cabeamento metálico foi e ainda é significativamente predominante neste tipo de aplicação. Porém, recentemente devido ao imenso potencial da fibra óptica, sua significativa redução de custo e o sucesso da tecnologia de redes PON (*Passive Optical Network*) nas redes de acesso que entregam serviços

tripleplay (dados, voz e vídeo), foi desenvolvido e proposto uma nova solução para redes locais LAN baseada na tecnologia PON. Essa solução utiliza em toda sua estrutura cabeamento óptico e equipamentos intermediários passivos, prometendo assim uma alta eficiência energética, melhor gerência da rede, alto nível de segurança, investimento duradouro e principalmente custo competitivo de implantação, operação e manutenção [2].

Diante dessa nova possibilidade e de todas as vantagens propostas nessa nova solução, este trabalho busca conhecer o funcionamento da tecnologia de redes ópticas passivas (PON), sua aplicação em redes locais LAN e comprovar sua real eficiência em projetos de infraestrutura de redes locais de médio ou grande porte. Essa aplicação é conhecida na literatura como sistemas PON LAN ou POL (*Passive Optical LAN*), podendo também ser conhecida comercialmente por outras nomenclaturas geradas por fabricantes e fornecedores de materiais ópticos.

II. AS REDES PON E SEU FUNCIONAMENTO

O desenvolvimento das redes PON iniciou-se na Inglaterra através de estudos realizados nos laboratórios da *British Telecom* (BT) e as primeiras patentes foram divulgadas no início dos anos 90 [3]. Porém, foi no ano de 1995 que as grandes operadoras do mundo e seus fornecedores desenvolveram a primeira especificação e definiram um sistema de comunicação capaz de suportar uma vasta gama de serviços. Essa iniciativa, conhecida como FSN (*Full Services Access Network*), especificou o sistema APON (*ATM PON*) utilizando ATM (*asynchronous transfer mode*) como protocolo da camada MAC (*media access control*) [4].

Desde então a tecnologia PON foi sendo aprimorada até chegar nos modelos que são comumente utilizados pelas operadoras de telecomunicações, destacando-se as tecnologias EPON (*Ethernet Optical Network*), GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) e 10GPON (*10 Gigabit Optical Network*). A Tabela I, contendo informações obtidas em [4], [5], [6] e [7], mostra os padrões e as características básicas de cada tecnologia. Atualmente destaca-se a tecnologia GPON pelo seu bom custo/benefício e também pela possibilidade de coexistência na mesma infraestrutura com seu sucessor 10GPON [5]. Essa coexistência só é possível devido aos diferentes comprimentos de onda centrais utilizados entre as tecnologias nos sentidos *downstream*, *upstream* e também no *broadcast* de vídeo.

TABELA I
 CARACTERÍSTICAS DAS TECNOLOGIAS COMUMENTE UTILIZADAS PELAS
 OPERADORAS EM REDES DE ACESSO.

	EPON	GPON	10GPON
Padrão	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.1	ITU-T G.987
Taxa de <i>downstream</i>	1,25Gbps	2.4Gbps	10Gbps
Taxa de <i>upstream</i>	1,25Gbps	1.25 ou 2.4 Gbps	2.5 ou 10Gbps
Comprimento de onda <i>downstream</i>	1490nm a 1510nm	1480nm a 1500nm	1577nm
Comprimento de onda <i>upstream</i>	1310nm	1260nm a 1360nm	1270nm
Comprimento de onda para vídeo <i>broadcast</i>	1550nm	1510nm	1550nm
Quadro	Ethernet	ATM/Ethernet	ATM/Ethernet
Tamanho do pacote de dados	Variável de 64 bytes a 1518 bytes	Variável de 53 bytes a 1518 bytes	Variável de 53 bytes a 1518 bytes
Alcance máximo	20km	20km	20km
Número de usuários máximos por porta PON	16 ou 32	64 ou 128	128 ou 256
Custo	Baixo	Médio	Alto

Conforme mencionado anteriormente as redes PON foram inicialmente idealizadas para satisfazerem as necessidades cada vez maiores das redes de acesso e tinham como objetivo suprir as deficiências das soluções que utilizam o cabeamento metálico. De acordo com os trabalhos [8] e [9] as redes ópticas passivas, além de fazerem o uso de fibras ópticas, fato esse que permite baixas atenuações, altas taxas de transmissão e confiabilidade, possuem diversas outras vantagens como:

- Faz o uso compartilhado de infraestrutura. Uma única fibra pode atender vários clientes simultaneamente utilizando derivações obtidas através de divisores ópticos passivos;
- Não utiliza nenhum elemento ativo ao longo da rede de distribuição óptica ODN (*Optical Distribution Network*), ou seja, estes elementos não necessitam de alimentação elétrica para seu funcionamento;
- Possui capacidade para atendimento de clientes a longas distâncias;
- Suporta múltiplos serviços (dados, voz e vídeo).

Conforme demonstrado na Fig. 1, e descrito nas referências [3], [4] e [5], uma rede que utiliza a tecnologia PON é composta, além dos cabos e acessórios ópticos, basicamente por 3 dispositivos principais:

- **OLT (*Optical Line Terminal*):** Toda a transmissão de dados parte de um equipamento concentrador conhecido como OLT, localizado na sala de equipamentos principal, que tem a função de concentrar e administrar todo o tráfego da rede, disponibilizar serviços para usuários finais, controlar a qualidade de serviço (QoS), entre outras tarefas;
- **ONT (*Optical Network Terminal*):** Na terminação da rede (cliente) está localizado a ONT e esta tem a função básica de converter o sinal óptico em sinal elétrico para ser utilizado por dispositivos eletrônicos através de portas *Ethernet* convencionais (alguns modelos oferecem também portas do tipo RJ11);

- **Acopladores ou Divisores Ópticos (*Splitters*):** São dispositivos passivos, ou seja, não requerem alimentação elétrica e nem ambiente climatizado. Possuem múltiplas saídas e tem a função de dividir o sinal óptico de entrada proveniente de uma porta da OLT em múltiplas saídas para as fibras que serão conectadas a cada ONT (no sentido *downstream*). Também são capazes de recombinar o sinal no sentido *upstream*. Sua configuração de entrada/saída varia comumente entre 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64. Estes dispositivos apresentam tamanho reduzido e baixo custo.

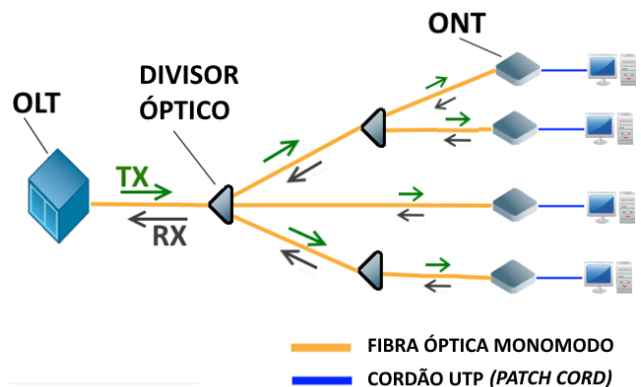


Fig. 1. Rede Óptica Passiva PON. Adaptado de [9].

III. REDES PON: UMA ALTERNATIVA ÀS REDES LANS CONVENCIONAIS

O sucesso das redes PON nas redes de acesso criou também a oportunidade dessa mesma tecnologia ser aplicada nas redes locais. A proposta é entregar todos os serviços presentes em uma rede local LAN através do uso da rede óptica passiva buscando suprir as principais deficiências encontradas nas soluções que utilizam o cabeamento metálico convencional. Na Fig. 2 são destacadas as principais diferenças entre a estrutura do cabeamento estruturado tradicional e estrutura das redes PON.

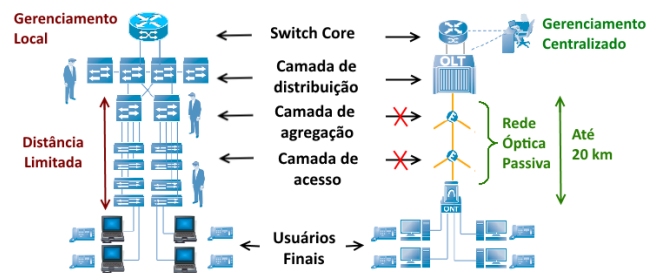


Fig. 2. Comparação entre cabeamento estruturado tradicional x Redes PON. Adaptado de [2].

No sistema de cabeamento estruturado tradicional, o conceito e os materiais utilizados possuem algumas deficiências que podem ser destacadas. Entre essas deficiências estão fatores relacionados ao cabeamento metálico, consumo de energia, refrigeração e densidade de usuários finais [2]. Devido a uma limitação física do cabeamento metálico neste empregado (par trançado), recomenda-se a sua utilização para distâncias de no máximo 100m entre o *switch* de acesso e a estação de trabalho (usuário final) [1]. Essa limitação, juntamente com o baixo número de portas em *switches* convencionais, faz com que,

em complexos de médio/grande áreas geográficas, seja necessário a utilização de um grande número de *switches* para atendimento da camada de acesso, aumentando assim o custo de instalação, gastos com energia/refrigeração e o espaço físico necessário para o armazenamento seguro de ativos da rede. Outra limitação de arquiteturas tradicionais LAN é a complexidade de gerência da rede. Para configuração de algumas aplicações na rede, como por exemplo VLANs (*Virtual LANs*), é necessário a configuração individual de múltiplos *switches* presente na rede, o que pode gerar um trabalho intenso e muito susceptível a erros humanos [2].

Diante das deficiências apresentadas, existem algumas claras vantagens na utilização da tecnologia PON em alternativa ao sistema de cabeamento estruturado convencional que podem ser destacadas:

- **Infraestrutura reduzida:** A distância máxima entre a OLT e as ONTs pode ser de até 20km (em redes GPON), ou seja, 200 vezes o valor recomendado para cabeamento metálico. Portanto não há a necessidade de salas técnicas e equipamentos ativos de rede nas camadas intermediárias e assim, conseqüentemente, há uma redução de espaço físico necessário e consumo de energia com equipamentos ativos e de refrigeração. Para grandes centros urbanos, onde o valor do m² pode ser consideravelmente alto, esta vantagem torna-se ainda mais evidente;
- **Baixo consumo de energia:** O equipamento concentrador da rede (OLT) tem como característica um baixo consumo de energia elétrica e pode representar consumo de energia 70% menor quando comparado a uma rede convencional com *switches* ativos [9]. Para uma OLT GPON, através de cada porta, há normalmente a capacidade de atendimento de até 64 pontos/clientes. Considerando que cada ONT normalmente possui até 4 portas *Ethernet* e cada OLT pode possuir de 8 a 72 portas PON, totalizasse uma capacidade de atendimento de até 18.432 pontos de acesso em uma única OLT;
- **Investimento protegido:** A rede PON é uma tecnologia que utiliza em sua rede de distribuição basicamente fibras ópticas monomodo e *splitters*. A fibra óptica monomodo é um meio de transmissão de altíssima capacidade que ainda não foi totalmente explorada. Ou seja, com a evolução da tecnologia, o mesmo cabo óptico monomodo hoje utilizado tem potencial para atingir taxas de transmissão cada vez maiores, sendo demonstrado em testes a possibilidade de transmissão na ordem de Tbps [10]. Atualmente em sistemas GPON é possível alcançar taxas de até 2.5Gbps para *downlink* e 1.25 para *uplink* por ponto, porém é possível destacar que em futuras atualizações de tecnologia, será necessário somente a substituição da OLT e das ONTs, e não de todo o cabeamento como ocorre hoje com a solução metálica;
- **Fácil Integração:** Utilizando a tecnologia PON, todos os serviços irão convergir para uma única infraestrutura, eliminando a necessidade das múltiplas plataformas. Dados, voz (sistema analógico de telefonia e sistemas VoIP), sistemas de vídeo, videoconferências, sistemas sem fio e

sistemas de monitoramento (câmeras, sensores, sistemas de automação, etc) são suportados pela tecnologia PON [10].

- **Segurança:** Faz utilização de criptografia nativa (AES - *Advanced Encryption Standard*) na comunicação entre OLT e ONT, garantindo a integridade dos dados. Como o sistema é baseado no uso de fibras ópticas, toda a rede de distribuição PON é imune a interferências eletromagnéticas.
- **Menor custo com infraestrutura e instalação:** Dependendo do tamanho e da disposição da rede, o CAPEX (*Capital Expenditure*), ou seja, capital investido em materiais e instalação física da rede pode ser consideravelmente menor [2]. Visto que um cabo óptico, para aplicação *indoor*, com poucas fibras ópticas tem dimensões menores e é mais leve que o cabo metálico UTP CAT6 (categoria 6), os custos com instalação de cabeamento para camada de acesso são menores quando comparados à uma solução LAN tradicional. Essa economia fica mais evidente quando se leva em conta que uma única ONT possui 4 portas *Ethernet*, ou seja, com uma única fibra pode-se atender 4 dispositivos finais [9]. Essa redução de cabos significa também infraestruturas mais simples, redução de espaços e menor tempo de instalação.
- **Menor custo com operação:** Por utilizar uma topologia centralizada, somente a OLT é acessada para fazer toda e qualquer gerência na rede, incluindo atualizações e modificações nas ONTs, gerando uma economia operacional (OPEX – *Operational Expenditure*) considerável em relação às redes tradicionais que utilizam *switches*.

IV. TRABALHOS RELACIONADOS

Apesar do conceito PON LAN ser uma aplicação relativamente nova e ainda não existir uma norma técnica que trate exclusivamente desta aplicação, alguns estudos e projetos já foram desenvolvidos nesta área e parte deles foram executados em ambientes corporativos reais apresentando uma redução de custo significativa quando comparado ao sistema de cabeamento estruturado metálico convencional.

Durante as pesquisas foi detectado que a grande maioria dos trabalhos que abordam este tema, somente tratam das vantagens técnicas deixando de lado um importante dado: a estimativa de redução de custo na instalação e na operação em cenários corporativos reais.

Na Tabela II encontra-se os principais trabalhos e projetos disponíveis na literatura e suas respectivas reduções de CAPEX e OPEX (em comparação à projetos de cabeamento estruturado convencionais). No trabalho [2] foi desenvolvido um estudo comparativo através de uma rede PON LAN implantada em um ambiente corporativo de um prédio de médio porte dos EUA. Já nos trabalhos [11] e [12] são realizadas comparações hipotéticas entre a solução PON LAN e a solução de cabeamento metálico convencional.

TABELA II
TRABALHOS RELACIONADOS: REDUÇÃO DE CAPEX E OPEX OBTIDOS NA UTILIZAÇÃO DE PON LAN (EM COMPARAÇÃO COM PROJETOS DE CABEAMENTO METÁLICO CONVENCIONAL)

TRABALHO RELACIONADO	Nº DE USUÁRIOS	Nº DE ANDARES	CAPEX	OPEX (1 ANO)
[2]	1500	4	-36,7%	-40%
[11]	2000	10	-56%	-54%
[12]	250	N/D	-31%	-40%
[12]	500	N/D	-41%	-50%
[12]	1000	N/D	-48%	-65%
[12]	5000	N/D	-55%	-70%

N/D: Valores não disponíveis

V. GPON E O USO COMPARTILHADO DE BANDA

Conforme pode ser visto na Tabela I, em sistemas GPON, uma única porta da OLT normalmente é capaz de atender simultaneamente até 64 ONTs, embora divisões maiores sejam possíveis ao custo de redução da banda disponível por ONT. O fato que deve ser destacado é que na tecnologia GPON a banda disponível em cada porta PON (2.5/1.25 Gbps) é compartilhada entre o número total de ONTs conectadas a aquela porta, ou seja, em uma situação hipotética em que o sistema opere com as 64 ONTs conectadas, cada uma terá 39.06/19.53 Mbps de *downlink* e *uplink* respectivamente. Considerando que normalmente cada ONT possui 04 portas *Ethernet* e, para otimizar os custos, espera-se que seja utilizado ao máximo as portas disponíveis, estaria disponível em cada porta da ONT 9.76/4.88 Mbps de *downlink* e *uplink* respectivamente. Apesar dessa característica, deve-se ressaltar que a tecnologia GPON faz o uso de alocação dinâmica de banda no sentido *upstream* permitindo assim que a banda compartilhada se adapte instantaneamente à demanda de tráfego de cada dispositivo da rede [13], o que faz com que todo o recurso de cada porta da OLT seja utilizado de forma eficiente. É possível também definir, de acordo com a necessidade individual de cada usuário ou de um grupo, a capacidade de banda disponível por porta na ONT.

Para efeito de comparação, em sistemas de cabeamento metálico convencional, o atendimento dos dispositivos finais faz-se com o uso de *switches* de acesso, que normalmente possuem a capacidade de transferência de 100 ou 1000 Mbps por porta *Ethernet*. Porém estes valores podem não ser atingidos pois a interligação entre o conjunto de *switches* empilhados da camada de acesso e os *switches* da camada de agregação são normalmente feitos através de dois links gigabit (1 Gbps). Ou seja, na situação hipotética de total utilização das 24 portas disponíveis de cada equipamento em uma pilha de, por exemplo, 8 *switches* obteríamos 10,41 Mbps de *downlink* e *uplink* para cada porta disponível no *switch* de acesso (o tamanho máximo da pilha varia conforme as características dos equipamentos utilizados).

Diante dos valores apresentados para cada tecnologia, deve-se destacar que estes cenários descrevem o “piores caso” onde todo o recurso da rede é distribuído igualmente entre as portas disponíveis, fato este que, estatisticamente, não ocorre em uma situação real.

Em [2] foi analisado padrões de tráfego e utilização típica de banda por aplicação em um grande cenário corporativo. Conforme pode ser visto na Tabela III, nota-se que as aplicações comuns em ambientes corporativos não

requerem um demasiado consumo de banda ajustando-se perfeitamente aos valores oferecidos tanto pela solução metálica tradicional quanto pela tecnologia GPON, mesmo para casos extremos de uso da rede.

TABELA III
CONSUMO DE BANDA TÍPICO PARA APLICAÇÕES CORPORATIVAS COMUNS. DADOS OBTIDOS EM [2].

APLICAÇÃO	CONFIGURAÇÃO	BANDA UTILIZADA
Telefone VoIP	64kbps Setup	~ 100 Kbps
Video	Alta Definição MPEG4	~ 6 Mbps
E-mail	Atualizações a cada 2 minutos	~ 50 a 500 Kbps
Navegação WEB	Websites sem conteúdo de vídeo	~ 50 a 300 Kbps
Vídeo Conferência	720p	~ 2 Mbps
Cloud Access	Aplicação corporativa	~ 50 a 200 Kbps
Desktop Virtual	1080p full screen display	~ 50 Kbps a 2 Mbps

VI. COMPARAÇÃO DE CUSTOS EM UM CENÁRIO CORPORATIVO GOVERNAMENTAL REAL

Desde sua fundação, no início da década de 1970, a PRODEB (Companhia de Processamento de Dados do Estado da Bahia) tem sido referência em atividades de prestação de serviços de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) para órgãos do Governo do Estado da Bahia, tendo elaborado centenas de projetos de cabeamento estruturado convencional. Diante da possibilidade de redução de custos e de todos os benefícios prometidos com a utilização da tecnologia GPON para redes LAN foi realizado um estudo comparativo, em um cenário real, entre as soluções de cabeamento estruturado convencional e a solução PON LAN.

O cenário do estudo em questão foi um prédio de configuração típica do Governo do Estado da Bahia, com área física total de 1350m² por andar, distribuídos através de 05 pavimentos e 01 subsolo, com um total de 1.708 pontos de acesso de rede, onde foi realizado pela PRODEB, no ano de 2013, o projeto de cabeamento estruturado convencional. Para fins de comparação, atualizou-se os custos de materiais envolvidos neste projeto de cabeamento estruturado e realizou-se a comparação detalhada de custo com um possível novo projeto PON LAN.

Comumente, em projetos de cabeamento estruturado, o cliente envia o *layout* do prédio e sinaliza os locais onde é necessária a instalação das tomadas duplas de telecomunicações, sendo que normalmente espera-se que seja utilizado uma para dados e outra para voz por área de trabalho. Em situações de prédios comerciais onde o *layout* não está definido, a norma sugere que seja instalado no mínimo 02 pontos de telecomunicações a cada 10m² de área de trabalho [13]. Em projetos PON LAN, devido ao custo relativamente alto da ONT e buscando otimizar ao máximo os custos da rede, é recomendado que, sempre que possível, seja prevista a utilização das 04 portas *Ethernet* normalmente disponíveis em cada ONT para atendimento de pontos de telecomunicações em áreas de trabalho, o que, na prática, significa que alguns dispositivos finais necessitam estar localizados relativamente próximos (é recomendado a utilização de no máximo 5m de cordão de manobra na área de trabalho [1]). Muitos estudos e

demonstrativos de fabricantes sugerem a utilização das ONTs nestas condições, podendo ser destacados [2] e [11], porém, apesar de ser frequente a utilização de baias em layouts de ambientes corporativos, nem sempre é possível o compartilhamento das 04 portas *Ethernet* da ONT entre 02 áreas de trabalho, devido à distância física entre as mesmas.

No projeto PON LAN elaborado a partir dos pontos de rede solicitados em planta baixa do prédio do cenário em estudo e levando em conta a recomendação de distância máxima no uso de cordões de manobra em área de trabalho obteve-se o quantitativo necessário de ONTs, por pavimento, para esta solução. Os dados obtidos estão descritos na Tabela IV e, através dessa, verificou-se que é previsto a utilização, em média, de aproximadamente 2,93 pontos de rede por ONT para este projeto.

TABELA IV
NÚMERO DE PONTOS DE REDE SOLICITADOS E ONTs NECESSÁRIAS PARA CADA PAVIMENTO DO CENÁRIO EM ESTUDO (PRÉDIO TÍPICO DO GOVERNO)

PAVIMENTO	PONTOS DE REDE	ONTs NECESSÁRIAS	PONTOS DE REDE / ONTs (POR PAVIMENTO)
SUBSOLO	60	18	3,33
TERREO	228	72	3,17
1º PAV	426	153	2,78
2º PAV	266	96	2,77
3º PAV	464	156	2,97
4º PAV	264	87	3,03
MÉDIA / PAVIMENTO	284,66	97	2,93

A. Capital Investido (CAPEX)

A partir dos projetos elaborados para cada uma das soluções, obteve-se então o CAPEX (Capital Investido) para ambos os cenários. Esta informação representa o capital necessário para aquisição e instalação de todo o material a ser utilizado em cada solução. Para melhor representação, o custo total foi dividido em 04 categorias: infraestrutura horizontal, infraestrutura vertical, sala de equipamentos e serviço de instalação. O cálculo total do CAPEX para cada tecnologia pode ser definido como:

$$CAPEX_j = \sum_{i=1}^n (X_i + Y_i) * Z_i \quad (1)$$

$$TOTAL CAPEX = \sum_{j=1}^m CAPEX_j \quad (2)$$

Em que i representa cada elemento ou material, j representa cada categoria, X_i representa o custo de aquisição do equipamento ou material i , Y_i representa o custo de instalação do equipamento ou material i e Z_i representa a quantidade necessária do equipamento ou material i . Utilizou-se um total de 25 diferentes elementos para solução LAN e 24 diferentes elementos para solução PON.

Conforme pode ser visto na Tabela V nota-se que, para o cenário do estudo, há uma redução de capital investido total de 18% quando se utiliza a solução PON. Foram utilizados nesta comparação valores comumente praticados em cotações no mercado brasileiro de TI. Em relação ao CAPEX, os fatores mais relevantes, por categoria, são destacados a seguir.

Para a “infraestrutura horizontal” o volume de cabos utilizados é significativamente menor devido ao compartilhamento de fibras no cabo óptico (faz-se o uso de pontos de consolidação) e também devido às suas características físicas (estes são mais finos e mais leves em comparação com o cabo UTP CAT6). Porém destaca-se que neste projeto, o custo da infraestrutura horizontal na tecnologia PON é ligeiramente maior, e este fato se deve principalmente ao custo individual das ONTs, podendo este custo ser caracterizado como um dos parâmetros mais relevantes em um possível projeto PON LAN.

Para a “infraestrutura vertical” há uma drástica redução no custo. Esta redução se justifica pela rede de distribuição na tecnologia PON ser centralizada e totalmente passiva, dispensando assim o uso de *switches* de acesso, permitindo custos significativamente menores em comparação com a tecnologia LAN convencional.

Para a “sala de equipamentos (*data center*)” o custo da tecnologia PON é significativamente maior, principalmente devido ao custo do equipamento concentrador da rede (OLT) que centraliza todo o tráfego e possui todos os recursos de processamento e segurança da rede.

Em relação ao “serviço de instalação” há uma significativa redução no custo e no tempo de instalação, devido principalmente ao menor volume de cabos a serem instalados na tecnologia PON. Por este motivo também, na rede de distribuição, são necessárias infraestruturas de menor capacidade e custo.

TABELA V
COMPARAÇÃO DO CAPEX ENTRE A SOLUÇÃO LAN CONVENCIONAL (UTILIZANDO CABOS CAT6) E A SOLUÇÃO PON LAN PARA O CENÁRIO EM ESTUDO (PRÉDIO TÍPICO DO GOVERNO DO ESTADO)

	LAN	PON	ECONOMIA
INFRAESTUTURA HORIZONTAL	R\$ 498.000,24	R\$ 534.838,00	-7%
INFRAESTRUTURA VERTICAL	R\$ 227.723,68	R\$ 56.488,62	75%
SALA DE EQUIPAMENTOS (DATA CENTER)	R\$ 29.213,20	RS 61.109,40	-107%
SERVIÇO DE INSTALAÇÃO	R\$ 337.980,00	R\$ 249.013,33	26%
TOTAL CAPEX	R\$1.092.917,12	R\$ 901.449,35	18%

B. Custos Operacionais (OPEX)

Também a partir dos projetos elaborados obteve-se o OPEX para cada solução. Esta informação representa o capital utilizado, em um determinado período, para manter em funcionamento e sem interrupções toda a infraestrutura de rede de uma corporação. Para melhor representação o custo total foi dividido em 04 categorias: custo de gerencia da rede, custo de refrigeração, custo de energia (ativos da rede) e espaço físico. O cálculo do OPEX anual para cada tecnologia pode ser definido como:

$$OPEX_j = \sum_{i=1}^n X_i * 12 \quad (3)$$

$$TOTAL OPEX = \sum_{j=1}^m OPEX_j \quad (4)$$

Em que i representa cada item ou serviço, j representa cada categoria, X_i representa o custo mensal estimado para manter um item ou serviço i em funcionamento e sem interrupções.

Conforme pode ser visto na Tabela VI estimou-se o OPEX por um período de 01 ano obtendo-se uma redução de custo total de 32,97% e uma economia de espaço físico de 63,9%.

As demandas mais comuns de responsabilidade dos gestores de rede são: incluir/remover dispositivo de rede, criar ou modificar endereços de IP, configurar algum serviço ou aplicação específica de rede, realizar atualização de *firmware* e *software* dos ativos, garantir a integridade e realizar o monitoramento da rede, garantir políticas de segurança na rede, aprimorar o conhecimento técnico da equipe através de cursos/treinamentos, substituir peças e gerenciar o estoque de reposição (*spare*) ou contratos de suporte/garantia do fabricante.

Na categoria “custo de gerencia da rede” estimou-se que há uma redução de 30,74% no custo anual. Este fato se deve principalmente devido as redes PON utilizarem uma topologia centralizada e passiva, tendo toda a gerência lógica centralizada em um único equipamento, a OLT, reduzindo assim o tamanho e as tarefas da equipe de suporte e gerência da rede. Outro ponto que deve ser destacado é que o *troubleshooting* de problemas na solução de cabeamento estruturado convencional demanda o estudo de diversos pontos de falhas entre os *switches* que a compõe, sendo assim o tempo necessário para identificar a origem da indisponibilidade pode ser longo e ocasionar prejuízos significativos às atividades da empresa. Assim, faz-se necessário a aquisição de um *software* de gerenciamento e monitoramento de todos os ativos em uma única plataforma centralizando os alertas e as configurações. Na solução PON LAN, a OLT permite de forma nativa que o administrador da rede tenha uma visão detalhada de todos os ativos, performance das aplicações, históricos de problemas (*logs*), sendo todo o ambiente monitorado e gerenciado pela própria OLT, dispensando o uso de *softwares* de terceiros.

Deve-se destacar como pontos negativos o alto valor dos equipamentos para manutenção, testes e certificação de cabos ópticos (apesar da possibilidade da rede PON ser praticamente toda conectorizada dispensando o uso de fusões ópticas para novos pontos de acesso). Outro ponto negativo é que o padrão de cabeamento estruturado metálico já está consolidado no mercado a vários anos, o que significa que técnicos de suporte já possuem *expertise* nesta solução e no caso de implantação da nova tecnologia PON LAN haverá a necessidade de treinamento adequado para a toda a equipe de TI.

Nas categorias “Refrigeração”, “Energia” e “Espaço físico necessário” há uma redução de respectivamente 83,3%, 12,6%, 63,9%. Novamente estas reduções acontecem devido à rede de distribuição PON ser totalmente passiva e não necessitar de refrigeração nos armários de telecomunicações intermediários (que possuem dimensões extremamente reduzidas quando comparado à necessidade da solução metálica convencional), podendo então ser considerada uma “tecnologia verde”, conceito chave para os empreendimentos modernos, seja por motivos econômicos, ambientais ou de mercado.

TABELA VI
COMPARAÇÃO DO OPEX (PERÍODO DE 1 ANO) ENTRE A SOLUÇÃO LAN CONVENCIONAL (UTILIZANDO CABOS CAT6) E A SOLUÇÃO PON LAN PARA O CENÁRIO EM ESTUDO (PRÉDIO TÍPICO DO GOVERNO DO ESTADO)

	LAN	PON	ECONOMIA
CUSTO DE GERÊNCIA DA REDE	R\$350.746	R\$242.921	30,74%
CUSTO DE REFRIGERAÇÃO	R\$ 24.463	R\$ 4.077	83,3%
CUSTO DE ENERGIA (ATIVOS DA REDE)	R\$ 21.943	R\$ 19.184	12,6%
TOTAL OPEX	R\$397.152	R\$266.182	32,97%
ESPAÇO FÍSICO NECESSÁRIO	71m ²	25m ²	63,9%

C. Estimativa de redução de CAPEX para outros cenários

Baseando-se novamente nos valores praticados no mercado e com o objetivo de conhecer a redução de custos para os mais diversos tamanhos de redes LAN, realizou-se uma simulação que estima e compara os custos de CAPEX para os seguintes cenários: a) simulação em um cenário de utilização de cabeamento metálico convencional; b) simulação em um cenário PON LAN com utilização das 04 portas *Ethernet* disponíveis na ONT; c) simulação em um cenário PON LAN com utilização de, em média, 2,93 portas por ONT.

Para a estimativa de cada cenário acima descrito, baseou-se nas equações (1) e (2) e adequou-se (de forma estimada) a quantidade necessária de material Z_i para cada respectivo número de pontos de telecomunicações. Obteve-se então os valores de CAPEX para um cenário que varia de 24 até 2000 pontos de telecomunicações em uma rede LAN, conforme apresenta a Fig. 3.

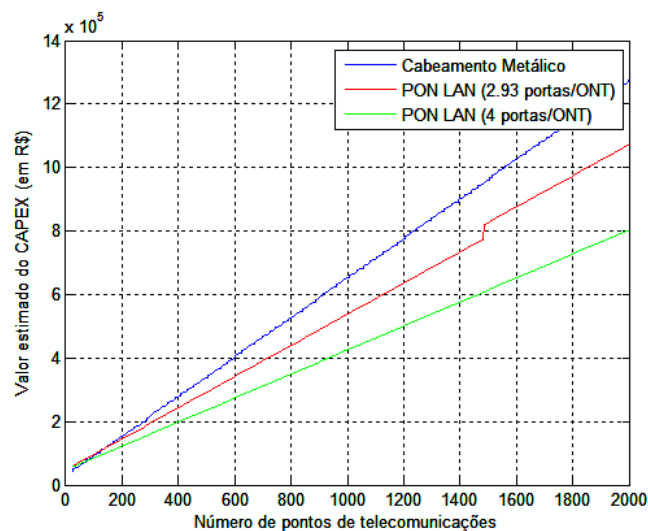


Fig. 3. Comparação entre as soluções LAN tradicional e PON LAN.

É possível notar que há uma redução de custo muito satisfatória (em relação à tecnologia de cabeamento metálico convencional) mesmo na situação baseada em um cenário real, onde há a utilização, em média, de 2,93 portas da ONT. Observa-se também que esta redução de custo tende a se tornar cada vez maior, conforme o tamanho da rede vai aumentando. Com base neste cenário, espera-se que a tecnologia PON LAN passe a ser mais vantajosa, no aspecto econômico, a partir de projetos de rede contendo, pelo menos, 150 pontos de telecomunicações.

VII. CONCLUSÃO

Apesar de ser um conceito relativamente novo e ainda não possuir uma regulamentação específica para seu uso nestas condições, a utilização das redes PON em aplicações LAN já é uma realidade que conta com alguns casos de sucesso já implementados no mercado. Sendo assim, a solução PON LAN surge como uma grande alternativa aos difundidos sistemas de cabeamento estruturado convencionais baseados em cabeamento metálico.

Neste trabalho concluiu-se que, tecnicamente, o novo sistema proposto possui diversas vantagens, é capaz de atender a todos os requisitos de uma rede corporativa comum e, em um estudo realizado em um cenário corporativo real com 1.708 pontos de telecomunicações obteve-se uma redução de CAPEX de 18% e de OPEX de 32,97% em um período de 01 ano (com destaque para a redução de consumo de energia elétrica).

Apesar de ser uma alternativa muito promissora para ambientes corporativos a implantação da solução PON LAN precisa ser analisada caso a caso, e com cautela, especialmente em situações de *upgrade*, onde quase toda a infraestrutura deverá ser substituída. Deve-se levar em conta também que hoje o cabeamento estruturado convencional é um padrão mundialmente consolidado, movimentando cerca de \$24 bilhões de dólares anualmente [13] e ainda demandará algum tempo até que treinamentos e suporte para tecnologia PON LAN sejam igualmente difundidos no mercado de TI.

Pode-se concluir então que, devido às inúmeras vantagens do uso da tecnologia PON e à constante redução de custo dos materiais ópticos, a utilização das soluções tradicionais para as redes LAN (baseadas em cabeamento metálico) ganharam uma nova alternativa competitiva e promissora. Sendo assim a tendência é que, com passar dos anos, esta nova solução passe a ser cada vez mais utilizada e difundida no mercado de telecomunicações.

REFERÊNCIAS

- [1] P. S. Marin, *Cabeamento Estruturado - Desvendando cada passo: do projeto à instalação*, Terceira Edição, Editora Érica, São Paulo, 2010.
- [2] Y. Ruan, N. Anerousis, M. Srivatsa, J. Xiao, R. T. Christner, L. Farrolas e J. Short. "Measuring enterprise network usage pattern & deploying passive optical LANs". *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM)*, pp. 890-893, 2015.
- [3] F. J. Effenberger, K. McCammon e V. O'Byrne. "Passive optical network deployment in North America". *Journal of Optical Networking*, v. 6 n. 7, p. 808-818, 2007.
- [4] A. F. Santos, "Algoritmo para alocação de banda em redes de acesso GPON". Dissertação de mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.
- [5] R. A. Cardoso "Proposta, simulação e testes de arquitetura para redes ópticas passivas GPON e XG-PON". Dissertação de mestrado da Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Estadual de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- [6] ITU-T Recommendation G.984.1 "Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics", Março 2003.
- [7] ITU-T Recommendation G.987.1 "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements", Janeiro, 2010.
- [8] J. Segarra, V. Sales, e J. Prat: Planning and designing FTTH networks: Elements, tools and practical issues. *14th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, Coventry, Inglaterra, Julho, 2012.
- [9] Furukawa, "Guia de aplicação Laserway para ambientes Enterprise", Ed. 3, Curitiba, Julho, 2015.

- [10] Association for passive optical LAN (APOLAN), "White Paper - How Passive Optical LANs are Enlightening the Enterprise LAN".
- [11] Nokia, "Passive Optical LAN for the public sector", 2016.
- [12] S. Milanovic, "Case Study for a GPON Deployment in the Enterprise Environment", *Journal of Networks*, v. 9, n. 1, p. 42-47, Janeiro, 2014.
- [13] I. Keene, M. Fabbi, "Passive Optical LAN: Determine If It's Suitable for Your LAN Infrastructure", em Gartner, Fevereiro, 2016.