

ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE GPON DESBALANCEADA: ESTUDO DE CASO PARA ALUNOS DE ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

*Hyago Lopes Bruno Cardoso – hyagolopes94@gmail.com**
Daniel do Nascimento e Sá Cavalcante – daniel.cavalcante@ifce.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
600040-531 – Fortaleza – Ceará

Resumo: Diante das dificuldades de se projetar uma rede GPON (Gigabit Passive Óptical Network) utilizando arquitetura FTTX (Fiber to the “X”) de forma mais econômica, este trabalho traz uma comparativo entre os custos de se implementar uma rede balanceada e desbalanceada, analisando a quantidade de materiais utilizados na rede e fazendo uma análise de potência em ambas as configurações, auxiliando os alunos de engenharia que desejam iniciar na área de projetos de redes ópticas. Descrevemos os componentes de uma rede GPON, com o custo médio no mercado de cada equipamento. Comparamos as diferenças de comportamento dos equipamentos passivos, visando também uma análise no balanceamento de potência desses equipamentos. Por fim, apresentamos uma comparação no balanceamento de potência e nos custos de implementação aplicando em um projeto de atendimento de um bairro residencial. Assim, concluímos que a utilização de uma rede desbalanceada pode ter um menor custo se bem aplicada, mostrando que pode ser a melhor saída para profissionais que trabalham em provedores de pequeno porte.

Palavras-chave: GPON. FTTx. Splitter desbalanceado. Redes PON. Análise de custo financeiro.

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da tecnologia, cada vez mais usuários necessitam de maiores taxas de transmissão para atender suas necessidades. Tal revolução veio acompanhada da agregação de serviços como telefonia IP (VOIP) e o CATV (TV a cabo) (Green, 2006). Para atender tal demanda, os provedores de acesso à internet têm adotado cada vez mais as tecnologias de rede GPON (Gigabit Passive Optical Network). Tal tecnologia óptica permite uma maior taxa de transmissão através de um único meio, a fibra óptica. (Peixoto, 2016)

LOEPFER (2013) apresenta uma abordagem prática de redes GPON, definindo elementos que compõe uma rede óptica e apresentando a importância de uma boa engenharia de planejamento, analisando diferentes topologias de rede e apresentando cálculos de divisão de banda para vários usuários. Já Filgueira (2015), mostra uma fundamentação teórica para a criação de um projeto de redes FTTH (Fiber to the Home) utilizando redes PON (Passive Optical Network), destacando a importância no cálculo de potência e a atenuação da rede óptica.

Batista (2017) mostra a importância do balanceamento de potência em um comparativo de projetos distintos como um guia para estudantes de engenharia, mostrando como é importante considerar os componentes que vão compor a rede e que a falta de um projeto pode acarretar a inviabilidade de uma rede óptica, gerando problemas para a empresa responsável.

De acordo com LOEPPER (2013), as arquiteturas de acesso em redes PON podem ser referenciadas como FTTX (*Fiber to the “X”*), onde “X” pode ser FTTH (*Fiber to the Home*), FTTB (*Fiber to the building*), FTTN (*Fiber to the Node*) ou FTTC (*Fiber to the Cab*).

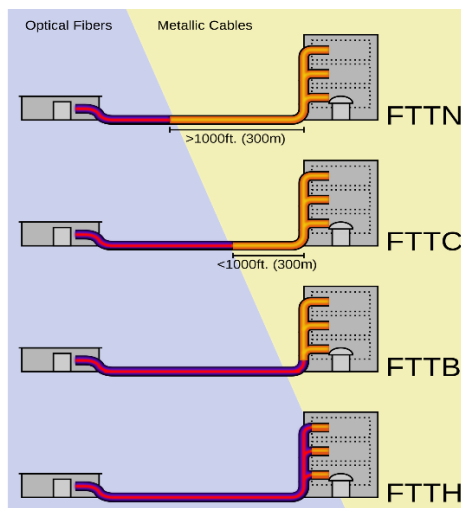


Figura 1 – Arquitetura FTTX. Fonte: <https://medium.com/@fiberstoreorenda/what-is-fttx-network>

Embora uma rede totalmente óptica apresente grandes vantagens, a falta de conhecimento por parte dos projetistas iniciantes acaba acarretando um gasto maior para a implementação de uma PON, gerando problemas financeiros e comprometendo o crescimento do provedor futuramente. Neste cenário, este trabalho tem como o objetivo principal apresentar uma forma de projetar redes óptica utilizando projeto desbalanceado, contribuindo com um referencial teórico para auxiliar estudantes de engenharia e pequenos provedores em projetos de rede óptica com arquitetura FTTH.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Os principais componentes de uma rede GPON são:

- **OLT**: O terminal de Linha Óptica fica instalado na central ou no POP (Point of Presence) do provedor, constituindo-se uma porta de transmissão óptica para a rede de acesso. A OLT gerencia e administra a transmissão das ONUs utilizando técnicas de TDM (Multiplexação por Divisão do Tempo) e WDM (Multiplexação por Divisão de Comprimento de onda). Custo entre R\$ 16.000,00 e R\$ 25.000,00.
- **DGO (Distribuidor Geral Óptico)**: É um tipo de armazenador de fibras que tem o objetivo de organizar e proteger as fibras que fazem transição entre os cabos externos e os cabos que se conectam as portas da OLT. Preço entre R\$ 200,00 e R\$500,00.
- **Cabo óptico**: As fibras óptica são guias de luz muito sensíveis aos intemperes físicos do ambiente externo, principalmente a choques mecânicos e macro curvaturas. Como meio de proteção, as fibras são alocadas dentro de cabos. Os cabos opticos podem ser autossustentados (AS) ou *drop*. O primeiro é geralmente utilizado no *backbone*, ou seja, o trecho principal do provedor. Já o cabo *drop* pode ser do tipo figura 8 ou *low-friction*. O cabo figura 8 é recomendado para a distribuição entre caixas de atendimento, e o *low-friction* para o atendimento final do usuário. Os cabos optico são

vendidos em rolos de 1 km, 2km e 3km. O preço pode variar entre R\$ 1000,00 e R\$ 8000,00.

- **CEO (Caixa de Emenda Óptica):** É uma estrutura externa instalada em vãos entre os postes. Tem o objetivo de criar ponto de derivação, protegendo os pontos de fusão entre fibras ou armazenando *splitters*. Seu custo pode variar entre R\$ 150,00 e R\$ 400,00 dependendo da quantidade de fibras que o mesmo suporta.
- **Splitter:** O divisor óptico é um elemento passivo utilizados em redes PON. Ele é responsável por realizar a capilarização da rede óptica, efetuando a divisão do sinal que chega. Eles podem ser balanceados ou desbalanceados.
- **CTO:** Tem a função de derivar a rede intermediária para a rede de última milha do cliente através de conectores de campo. Geralmente é o último componente externo antes da chegada as instalações do cliente. Pode variar entre R\$ 300,00 e R\$ 400,00.
- **ONU:** Unidade de Rede Óptica. A sua função é fornecer o acesso aos usuários concentrando o tráfego até que possa transmiti-los. Ela converte o sinal óptico em elétrico para os dispositivos padrões, como computadores e telefones. Custa geralmente entre R\$ 350,00 e R\$500,00

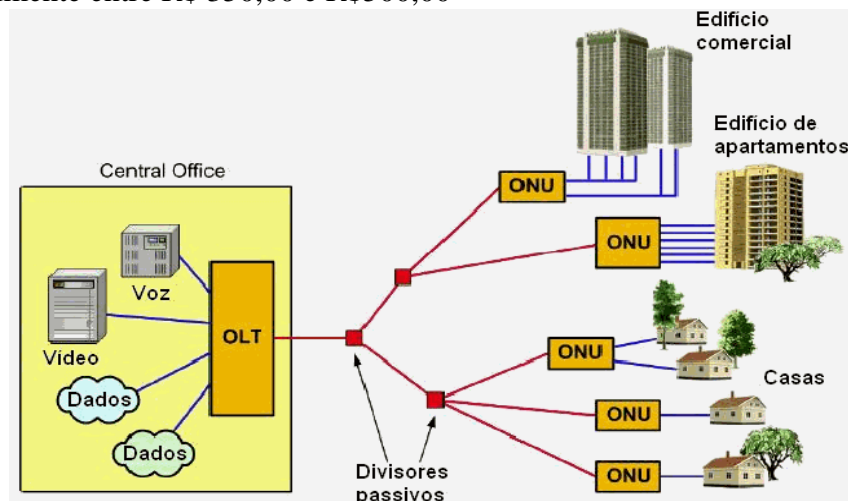


Figura 2 – Rede GPON

Fonte: [https:// www.projetoederedes.com.br](https://www.projetoederedes.com.br)

No planejamento de uma rede GPON, o projetista deve levar em consideração dois cálculos básicos: o balanço de potência, para que o sinal óptico transmitido chegue até o destino final; e os gastos com equipamentos que o provedor vai ter para implementar a rede física. O balanço de potência é necessário analisar os fatores que podem interferir na potência transmitida, devendo estar dentro do limite do equipamento no final do enlace. Deve-se considerar os seguintes parâmetros (TAKEUTI, 2005):

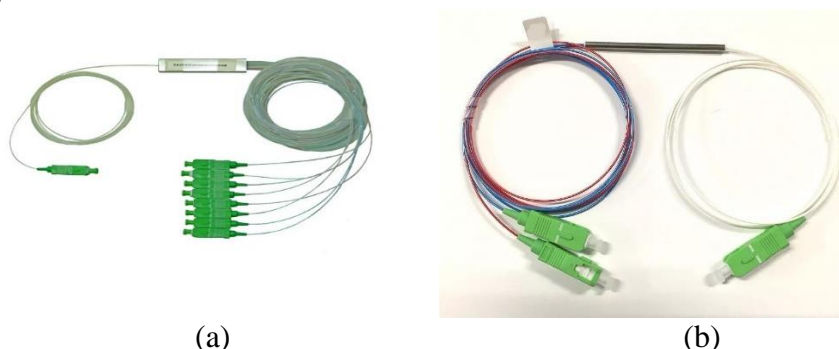
- Potência de saída da OLT;
- Sensibilidade da ONU;
- Coeficiente de atenuação do cabo óptico (dB/km) no comprimento de onda operacional;
- Atenuação máxima dos conectores utilizados;
- Atenuação máxima dos *splitters*.

A potência de saída da OLT, a sensibilidade da ONU e o coeficiente de atenuação da fibra, tem pouca variação entre os equipamentos de diferentes marcas. A potência de saída da OLT geralmente está entre 4 e 6 dBm; a sensibilidade da ONU ente -27 e -28 dBm; e o coeficiente

de atenuação da fibra monomodo nos comprimentos de onda utilizados em redes PON varia entre 0,2 a 0,3 db/km.

Já os custos de material devem ser observados principalmente na quantidade de utilização de cabos. O cabo para atender redes de milha intermediária tem um maior custo quando possuem uma maior quantidade de fibra. Comumente, provedores e projetistas iniciantes acabam desconhecendo formas mais baratas de se projetar redes PON, utilizando modelos já difundidos. Visto que a rede balanceada requer um menor número de cálculos, a mesma acaba se tornando padrão, aumentando o custo de atendimento da região alvo. Diante disso, serão analisados neste trabalho a atenuação gerada na rede balanceada e desbalanceada, assim como seus custos.

Os *splitters* são equipamentos passivos que realizam a divisão do sinal óptico na rede PON, permitindo um maior número de atendimentos por porta; os *splitters* balanceados permitem que a potência seja dividida de forma proporcional entre suas saídas, podendo ser de 1:2, 1:4, 1:16, 1:32 e 1:64. Já os divisores ópticos desbalanceados são equipamentos que possuem exclusivamente uma entrada e duas saídas, e dividem o sinal óptico de forma assimétrica. Cada saída é identificada pelo percentual da potência total que irá possuir. Podem ser dos modelos 1/99, 2/98, 5/95, 10/90, 15/85, 20/80, 25/75, 30/70, 35/65, 40/60 e 45/55. Os *splitters* podem ser vendidos com conectorização ou sem. Os que não possuem conectorização, são emendados por fusão.



(a) (b)
Figura 3 – (a) Splitter balanceado (b) Splitter desbalanceado
Fonte: <http://www.networking-team.com>

3 METODOLOGIA

Para se projetar uma rede óptica devemos levar em consideração alguns parâmetros de forma que, a potência que chega ao cliente final esteja dentro dos parâmetros fornecidos pelo fabricante da ONU. Iremos analisar os elementos que causam atenuação em uma rede PON em seguida. Devemos também pensar no custo de penetração da região, de modo que seja possível construir a infraestrutura da rede óptica com o menor gasto possível, mas também com a possibilidade de permitir seu crescimento sem gastos excessivos.

3.1 Emenda por fusão ou conectorização

Durante o processo de derivação da rede óptica é necessário a junção de pontas de fibras de diferentes cabos. Para efetuar a união das fibras, pode-se utilizar a técnica de fusão ou conectorização. O processo de fusão utiliza equipamentos caros, como a máquina de fusão óptica, mas em contrapartida gera uma atenuação bem menor.

Já a conectorização é um processo mais fácil e que tem a finalidade de facilitar os trabalhos em campo. Existem vários tipos de conectores no mercado, sendo o mais utilizado o

SC – APC e o SC – UPC. Vale ressaltar que os conectores SC-APC devem ser utilizados com seu semelhante, ou seja, o conector SC-APC, sendo aplicado a mesma regra para o conector SC-UPC.

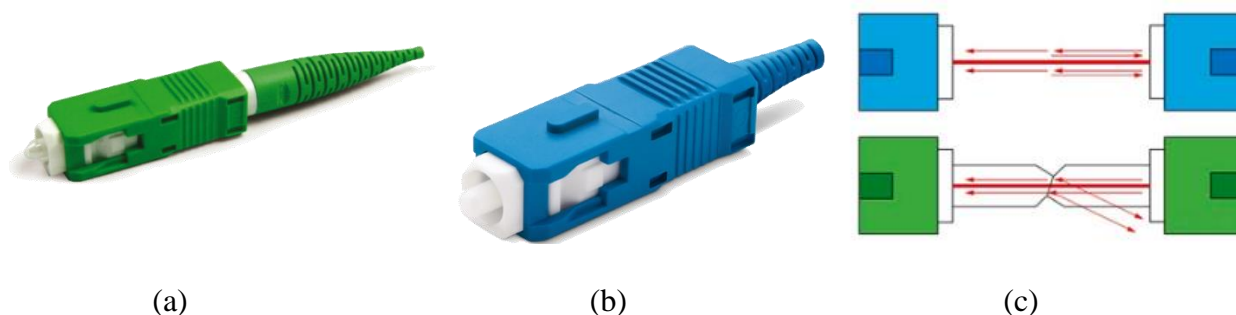


Figura 4 – (a) Conector SC-APC (b) Conector SC-UPC (c) Tipos de Polimento dos conectores
Fonte: <http://www.networking-team.com>

Existe também a emenda mecânica, que substitui temporariamente a emenda por fusão. A emenda mecânica tem a finalidade de aproximar ao máximo os núcleos da fibra, de modo que o feixe de luz passe sem maiores dificuldades. Tal aproximação não faz a união dos núcleos como a fusão, tornando-se uma solução paliativa.

Tabela 1 – Quadro comparativo entre os tipos de emendas
Fonte: <https://www.ispblog.com.br>

Emenda	Atenuação (sm)	Custo	Vida útil
Mecânica	0,1dB	R\$ 15,00 (uni)	30 anos
Conectorizada	0,3dB	APC-R\$15,00/UPC-R\$12,00	5 reutilizações
Fusão	0,02dB	R\$ 10.000,00 a R\$ 15.000,00	3 a 4 mil fusões

3.2 Divisores de potência (*splitters*)

Neste estudo foram verificados dois fornecedores de *splitters* e suas respectivas atenuações, conforme a tabela abaixo:

3.2.1. Balanceados

Tabela 2 – Modelos de *splitters* Furukawa e Fibracem. Fonte: <https://www.mercadolivre.com> (adaptado)

Modelos	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32
Atenuação (dB) Furukawa	3,7	7,1	10,5	13,7	17,1
Ateenuação (dB) Fibracem	3,7	7,3	10,5	13,7	17,1
Preços	47,00	55,00	63,33	104,00	371,67

3.2.2. Desbalanceados

Tabela 3– Comparativo dos *splitters* desbalanceado Cianet e Furukawa.
Fonte: <https://www.mercadolivre.com> (adaptado)

Modelo	1/99	2/98	5/95	10/90	15/85	20/80	25/75	30/70	35/65	40/60	45/55
Atenuação (dB) Cianet											
Saída A	22,50	18,7	14,60	11,00	9,60	7,90	-	6,00	-	4,70	-
Saída B	0,25	0,40	0,50	0,70	1,00	1,40	-	1,90	-	2,70	-
Atenuação (dB) Furukawa											

Saída A	22,50	18,7	14,60	11,00	9,60	7,90	6,45	6,00	5,35	4,70	4,50
Saída B	0,30	0,40	0,50	0,70	1,00	1,40	1,70	1,90	2,30	2,70	3,15
Preço R\$	42,00	48,90	53,00	49,82	58,00	54,67	45,33	45,33	56,33	56,33	48,00

3.3 Cabos ópticos

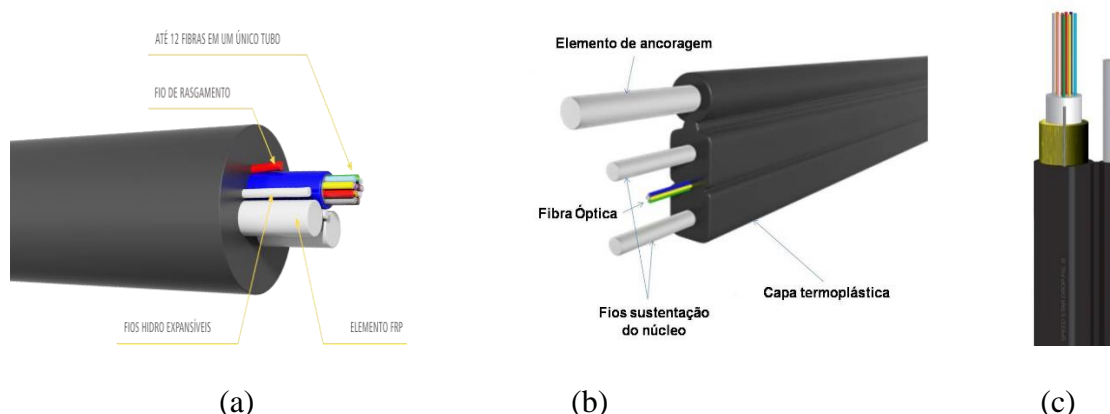


Figura 5 – (a) Cabo autossustentado (b) cabo *low friction* para atendimento residencial (c) cabo figura 8 com elemento de sustentação

Fonte: <http://michigan.com.br>

Em seguida, será apresentado uma tabela comparativa com rolos de 2 Km de cabo.

Tabela 4 – Preço médio dos rolos de cabos com 2Km

Fonte <https://www.mercadolivre.com.br>

Tipo de Cabo	Preço médio / rolo de 2 Km (R\$)
Cabo AS-80 (12 Fibras)	4.325,00
Cabo Fig.8 (12 Fibras)	7.148,00
Cabo Fig.8 (04 Fibras)	3.720,00
Cabo <i>low friction</i> (01 fibra)	1.289,00

4 RESULTADOS

Iremos apresentar um estudo de um caso para atendimento de um bairro na cidade de Fortaleza. Será feito um comparativo no mesmo caso utilizando rede balanceada, como é feito por vários provedores de internet, e rede desbalanceada. Os parâmetros para a rede foram designados no início com as seguintes características:

- A OLT possui 8 Portas PONs com potência média de 4dBm;
- A sensibilidade das ONUs de -27 dBm;
- A atenuação da fibra de 0,2 dB/km;
- A distância do POP da operadora até o último cliente é de 6 km;
- Atender um bairro com no mínimo 128 residências
- Utilizamos rolos de fibras de 2 km;

a) Utilizando rede balanceada

Ao analisarmos a região de atendimento, observamos que o ponto de derivação do cabo *backbone* se encontra em uma posição estratégica. Isso permite realizar o lançamento do cabo drop figura 8 em uma topologia de barramento. Inicialmente iremos derivar uma fibra do nosso *backbone*, efetuando a fusão com um *splitter* de 1:2, depois de cada ponta será efetuada a fusão em outro de 1:8, totalizando assim 16 fibras destinadas as caixas de atendimentos. Como utilizaremos 16 fibras distintas e um único cabo figura 8 possui apenas 12 fibras, iremos utilizar dois cabos distintos de 12 fibras cada, de modo que se necessário no futuro, possamos efetuar expansões com as fibras não utilizadas.

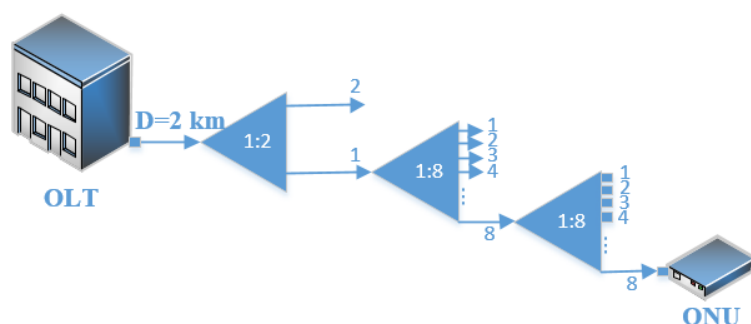


Figura 6 – Esquema de *splittagem* da rede balanceada

Fonte: o próprio autor

Utilizaremos conectores na saída da OLT, na entrada da ONU e nos *splitters* dentro da caixa de atendimento, totalizando 4 emendas por conectorização. Além da distância do *backbone* de 2 km, calculamos uma distância de 5 km de cabos drop figura 8, totalizando 7 km de cabo, incluindo as reservas técnicas.

Tabela 5 – Tabela de balanceamento de potência para o projeto balanceado

Fonte: autor

Cálculos de Potência – Projeto Balanceado			
Informações dos equipamentos da rede	Potência de Saída /OLT		4 dBm
	Potência de sensibilidade/ ONU		-27 dBm
Calculo de atenuação sofrido pela rede óptica	Fibra óptica (7 Km x 0,2 dB/Km)	+	1,4 dB
	Conectorização (4x0,3 dB)		1,2 dB
	Fusão (2x0,02 dB)		0,04 dB
	<i>Splittagem</i> (3,7+10,5+10,5)		24,7 dB
	Total de atenuação da rede		27,34 dB
Potência de aproximada no cliente final	Potência Inicial	-	4 dBm
	Atenuação da rede		27,34 dB
	Potência final no cliente		-23,34 dBm

b) Utilizando rede desbalanceada

Seguindo o mesmo raciocínio, onde utilizamos uma topologia em barramento na rede balanceada, podemos utilizar 2 fibras para atender até 128 clientes. Isso é possível devido a economia de potência que os *splitters* desbalanceados nos oferecem. Partindo da caixa de emenda primária, utilizamos um único cabo drop figura 8 de 4 fibras distintas. A partir de uma única fibra do nosso *backbone*, utilizamos um *splitters* 1:2, efetuando a fusão das duas saídas em duas fibras do cabo drop figura 8 de 4 fibras. Em seguida, efetuamos uma série de fusões

entre a entrada dos *splitters desbalanceados* e suas saídas. A saída de maior potência foi direcionada para a continuação da fibra no cabo utilizando fusão, e a saída de menor potência para o *splitter* de distribuição através de conectorização.

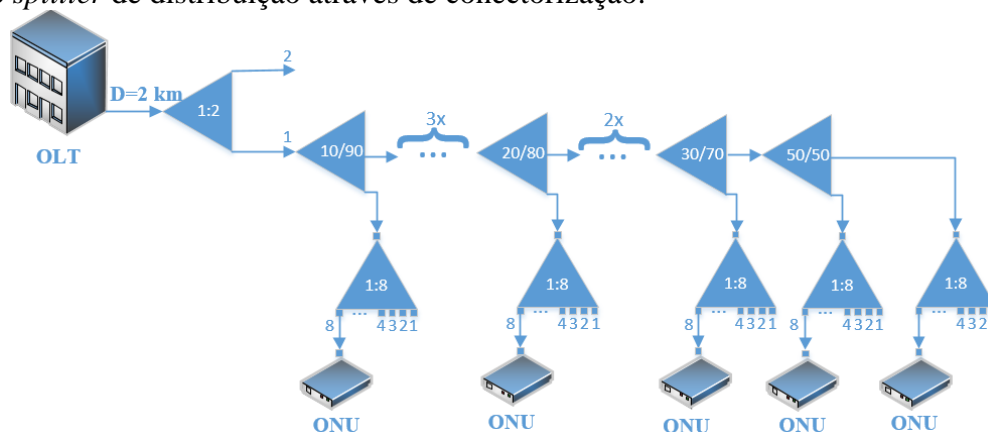


Figura 7 – Esquema de *splittagem* da rede desbalanceada

Fonte: o próprio autor

Após a primeira derivação na caixa de emenda óptica, a primeira fibra do cabo figura 8 alimenta o primeiro *splitter* de 10/90, onde a saída A alimenta um *splitter* 1:8 e a saída B alimenta a continuação do cabo. Seguindo as mesmas configurações, a rede utiliza ainda os divisores 10/90, 10/90, 20/80, 20/80, 30/70 e por último é utilizado o 50/50.

Tabela 6 – Tabela de balanceamento de potência para o projeto desbalanceado

Fonte: autor

Cálculos de Potência – Projeto Balanceado			
Informações dos equipamentos da rede	Potência de Saída /OLT		4 dBm
	Potência de sensibilidade/ ONU		-27 dBm
Calculo de atenuação sofrido pela rede óptica	Fibra óptica (7 Km x 0,2 dB/Km)		1,40 dB
	Conectorização (4 x 0,3 dB)		1,20 dB
	Fusão (9 x 0,02 dB)		0,18 dB
	<i>Splittagem</i> primaria (1:2)		3,70 dB
	<i>Atenuação total após cada splittagem</i>		
	<i>Splittagem</i> 10/90	(11+10,5)	27,80 dB
	<i>Splittagem</i> 10/90	(0,7+11+10,5)	28,68 dB
	<i>Splittagem</i> 10/90	(1,4+11+10,5)	29,38 dB
	<i>Splittagem</i> 20/80	(2,1+7,9+10,5)	26,80 dB
	<i>Splittagem</i> 20/80	(3,5+7,9+10,5)	28,28 dB
<i>Splittagem</i> 30/70	(4,9+6,0+10,5)	27,88 dB	
<i>Splittagem</i> 50/50	(8,7+3,7+10,5)	29,38 dB	
Potência de aproximada no cliente final	<i>Splittagem</i> 10/90	(4dBm - 27,80dB)	-23,80 dBm
	<i>Splittagem</i> 10/90	(4dBm - 28,68dB)	-24,68 dBm
	<i>Splittagem</i> 10/90	(4dBm - 29,38dB)	-25,38 dBm
	<i>Splittagem</i> 20/80	(4dBm - 26,80dB)	-22,80 dBm

	<i>Splittagem 20/80</i>	(4dBm - 28,28dB)	-24,80 dBm
	<i>Splittagem 30/70</i>	(4dBm - 27,88dB)	-23,88 dBm
	<i>Splittagem 50/50</i>	(4dBm - 29,38dB)	-25,38 dBm

Tabela 7 – Tabela comparativa de custo materiais para implementar o projeto

Fonte: Mercado Livre

Equipamentos	Custo do Projeto Balanceado	Custo do Projeto desbalanceado
OLT	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
DGO-SC/APC	R\$ 700,00	R\$ 700,00
Cabo As-80 (2 km)	R\$ 4.325,00	R\$ 4.325,00
Cabo drop Figura 8 (6 km)	R\$ 21.444,00	R\$ 11.720,00
Cabo drop <i>low friction</i> (2km)	R\$ 1.289,00	R\$ 1.289,00
CEO	R\$ 270,00	R\$ 270,00
<i>Splitters</i>	R\$ 680,30	R\$ 1.014,11
CTO	R\$ 5.540,00	R\$ 5.540,00
ONU (128 unidades)	R\$ 33.920,00	R\$ 33.920,00
Total	R\$ 88.168,30	R\$78.778,11

Ao analisarmos os balanceamentos de potências, observamos que em ambos os casos, as potências finais estão dentro do limite aceitável do equipamento receptor. Entretanto, quando comparamos os custos finais de materiais notamos que o custo de um projeto desbalanceado se torna bem mais atrativo, visto que utiliza uma quantidade bem menor de fibras para atender a mesma demanda que um projeto balanceado atenderia.

5 CONCLUSÃO

Com o aumento da demanda de banda por parte das empresas e usuários residenciais, as redes GPON estão sendo adotadas em provedores de serviço de internet. Como consequência de tal escalada, a demanda por projetos de fibra óptica vem crescendo, de forma que se busque a forma mais segura e barata para atender o cliente final. Mas para se conseguir atender tais parâmetros, é necessário que o projetista faça a análise de custo e de potência de forma que seja possível expandir a rede futuramente sem gerar custos adicionais. Atualmente, pequenos provedores acabam não levando em consideração tais projetos por falta de conhecimento, gerando problemas futuros, como o engessamento da sua rede óptica e gastos excessivos.

Neste estudo, comprovamos através de um comparativo financeiro que em um projeto comumente desenvolvido por profissionais iniciantes pode ser facilmente atendido de forma mais econômica utilizando uma rede desbalanceada. Realizamos também o balanceamento de potência em ambos os casos comprovando a eficácia nos dois projetos no que diz respeito a potência final.

A variação de preço final é considerável quando comparamos os dois projetos (tabela x), devido a menor quantidade de fibras utilizadas para atender a demanda em questão em um projeto desbalanceado. Tal característica, permite ao provedor utilizar o mesmo cabo futuramente para realizar expansões em sua rede, gerando um aumento na sua base de clientes e nos seus lucros, sem a necessidade de gastos excessivos com o lançamento de novos materiais.

REFERÊNCIAS

BATISTA, M.C, CAVALCANTE, D. N. S. ANÁLISE DE CUSTOS E DE BALANÇO DE POTÊNCIA DE UMA REDE GPON. XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2017, Santa Catarina. Anais. Joinville, 2017.

Cabos ópticos disponível em: <http://michigan.com.br>. Acessado em 10 de maio de 2018

Conectores Disponível em Fonte: <http://www.networking-team.com>. Acessado em 10 de maio, 2018.

Custos disponível em <https://www.mercadolivre.com.br>. Acessado em 10 de maio de 2018

FILGUEIRAS, Gustavo M. G. D.; PESSOA, Cláudio R. M. FTTH em Redes Ópticas Passivas. 2015. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/eol/article/view/3366>. Acessado em 01 de maio 2018.

GREEN, Paul Eliot. Fiber to the home: the new empowerment. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. 144 p.

LOEPPER, Luiz Gustavo Villela. GPON. 2013. 60 f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Curso de Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3243>. Acessado em 01 de maio de 2018.

PEIXOTO, Ana Caroline Bemvindo; RAMOS, Marvin Neves. GPON: um estudo referencial e metodológico sobre construção de redes. 2016, 84 f. Monografia (Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campus Campos Centro. Campos dos Goytacazes (RJ), 2016. Disponível em: <http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/1370/1/Documento.pdf>. Acessado em 01 de maio de 2018

Splitters Furukawa. Disponível em: <http://www.furukawa.com.br>. Acessado em 05 de maio 2018.

Splitters Fibracem. Disponível em: <http://www.fibracem.com.br>. Acessado em 05 de maio 2018

Splitters CIANET. Disponível em: <https://www.cianet.com.br>. Acessado em 05 de maio 2018

TELECO. Redes Ópticas Passivas I: Multiplexação por Divisão no Tempo (TDM-PON). <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialropassiva1/default.asp> Acesso em 01 de maio de 2018.