

FRANCISCO CARLOS DE LIMA PEREIRA

**PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA
OTIMIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES
GPON**

Projeto de Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Informática da Pontifícia Universidade Católica do
Paraná como requisito parcial para obtenção do título
de Mestre em Informática.

CURITIBA - PR

2013

FRANCISCO CARLOS DE LIMA PEREIRA

**PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA
OTIMIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES
GPON**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Informática Aplicada.

Área de Concentração: Redes de Computadores e de Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Edgard Jamhour

CURITIBA - PR

2013

PEREIRA., Francisco Carlos de Lima

Proposta de um método para otimização e dimensionamento de redes GPON. Curitiba, 2013. 73p.

Projeto de Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada.

1. Redes GPON 2. Redes Óptica Passivas 3. Planejamento de Redes 4. Otimização de Redes. I. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada II-t

Esta página deve ser reservada à ata de defesa e termo de aprovação que serão fornecidos pela secretaria após a defesa da dissertação e efetuadas as correções solicitadas.

À minha família e minha mãe pelo apoio incondicional,
a minha esposa Izaete Cordeiro por estar sempre ao meu lado.

Agradecimentos

Agradeço aos professores e à Pontifícia Universidade Católica do Paraná que contribuíram de alguma forma para o bom andamento de todo o trabalho.

Agradeço aos meus colegas que contribuíram com a construção do conhecimento durante o processo de ensino/aprendizagem do curso.

Agradeço, especialmente, ao meu orientador, Professor Doutor Edgard Jamhour que tanto contribuiu e me apoiou durante todo o trabalho com seus questionamentos, motivação e correções.

Sumário

Agradecimentos.....	vi
Sumário	vii
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas.....	xii
Resumo.....	xiv
Abstract	xv
Capítulo 1	16
Introdução.....	16
1.1 Entendendo o Problema.....	18
Capítulo 2	19
Principais Conceitos Relacionados à Pesquisa.....	19
2.1. Redes de Acesso.....	19
2.2 Redes Passivas de Fibra Óptica.....	20
2.2.1 Topologias das redes PON	20
2.2.1 Características das Redes PON	22
2.2.2 Tecnologias de Acesso a redes PON	26
2.3 Redes APON/BPON/GPON.....	27
2.3.1 Redes a APON/BPON.....	27
2.3.2 Redes EPON.....	27
2.3.3 Redes GPON	27
2.4. Conclusão	30
Capítulo 3	31
Trabalhos Relacionados	31
3.1 Introdução.....	31

3.2 Trabalhos Relacionados	31
3.2.1 Modelo e Representação das Redes GPON	31
3.2.2 Divisão Óptica de Potência	32
3.2.3 Distância entre OLT e ONU.....	33
3.2.4 Alocação Dinâmica de Banda	36
3.2.5 Planejamento e Dimensionamento de redes GPON.....	38
3.3 Conclusão	40
Capítulo 4	41
Estudo de Caso	41
4.1. Introdução.....	41
4.2 Cenários do Caso.....	41
4.2.1. Mapa de Localização.....	42
4.2.2. Disposição inicial dos pontos de locação	45
4.2.3 Estimativa dos Custos	47
4.2.4 Representações do Projeto.....	50
4.2.5 Largura de Banda Necessária.	52
4.2.6 Atenuação e Potência óptica.....	53
4.3 Conclusão	56
Capítulo 5	57
Proposta de Algoritmo para Planejamento de Redes GPON	57
5.1. Introdução.....	57
5.2. Formulação do Problema.....	57
5.2.1 Clusterização	58
5.2.2 Heurística de Re-Clusterização	59
5.2.3. Algoritmo Proposto	59
5.3 Conclusão	61
Capítulo 6	62
Avaliação do Algoritmo Proposto	62
6.1. Introdução.....	62
6.2 Avaliação.....	62
6.3 Validação.....	67

6.4 Conclusão	67
Capítulo 7	68
Considerações Finais	68
7.1 Introdução.....	68
7.2 Conclusão	68
Referências Bibliográficas	70

Lista de Figuras

Figura 2.1: Topologia em Anel	20
Figura 2.2: Topologia em Barramento	21
Figura 2.3: Topologia em Árvore.....	22
Figura 2.4: Estrutura Básica das redes PON [4].....	22
Figura 2.5: Divisor Óptico Passivo [4].....	23
Figura 2.6: Distribuição óptica com divisores de potência, (a) divisão única,.....	24
(b) cascadeamento de divisores e (c) ao longo do caminho na proporção 1:2 [8].	24
Figura 2.7: Estrutura FTTx em PON.....	26
Figura 2.8: Estrutura TDM/TDMA	28
Figura 3.1: Comparativos entre sistemas GPON [17].....	34
Figura 4.1: Fluxograma do Método.....	41
Figura 4.2: Mapa Localização Cidade de Boa Vista – RR.....	42
Figura 4.3a: Cenário de uma rede GPON.....	43
Figura 4.3b: Cenário de uma rede GPON	44
Figura 4.4: Topologia híbrida com dois níveis de derivação	44
Figura 4.5: Rede de Acesso GPON	46
Figura 4.6: Localização dos possíveis pontos de uma Rede GPON	46
Figura 4.7: Mapa Localização dos pontos e splitters na Cidade de Boa Vista – RR	47
Figura 4.8A Algoritmo de Kruskal [31].....	48
Figura 4.8B Algoritmo de Prim [31].....	48
Figura 4.9: Matriz de Distancia (simétrica).....	49
Figura 4.10: Melhor Solução (Algoritmo Kruskal).....	50
Figura 4.11: Representação esquemática do projeto	51
Figura 5.1: Grafo gerado com 8 clusters para 500 ONUs	63
Figura 5.2: Grafo gerado com 5 clusters para 500ONUs	65
Figura 5.3: Grafo gerado com 6 clusters para 1000ONUs	66

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Estimativa de perdas no ODN [4]	25
Tabela 2.2: Principais Características da Rede GPON [6]	29
Tabela 2.3: Comparativo entre tecnologias PON [6], [14].....	29
Tabela 3.1: Potência Mínima Requerida em diferentes PON [16].....	35
Tabela 3.2: Agrupamento de trabalhos relacionados	40
Tabela 4.1: Tabela de tráfego proposto [26]	51

Lista de Abreviaturas

APON – Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network

ATM – Asynchronous Transfer Mode

BPON – Broadband Passive Optical Network

CAPEX – Capital expenditures

CATV – Community Antenna Television

CDMA – Code Division Multiple Access

CO – Central Office

CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection

CWDM – Coarse Wavelength Division Multiplexing

EPON – Ethernet based Passive Optical Network

ERB – Estação Rádio Base

FSAN – Full Service Access Network

FTTB – Fiber-To-The-Building

FTTC – Fiber-To-The-Curb

FTTCab – Fiber-To-The-Cabinet

FTTH – Fiber-To-The-Home

GPON – Gigabit Passive Optical Network

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP – Internet Protocol

ITU-T – International Telecommunications Union

OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OFDMA – Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

OLT – Optical Line Terminal

ONT – Optical Network Terminal

ONU – Optical Network Units

OPEX – Operating Expenditures

PON – Passive Optical Network

QoS – Quality of Service

SDH – Synchronous Digital Hierarchy

SONET – Synchronous Optical Network

TCP – Transmission Control Protocol

TDM – Time Division Multiplexing

TDMA – Time Division Multiple Access

UDP – User Datagram Protocol

UTP – Unshielded Twisted-Pair

VLAN – Virtual Local Area Network

VOD – Video-on-Demand

VoIP – Voice over Internet Protocol

WDM – Wavelength Division Multiplexing

WDMA – Wave Division Multiple Access

WiMax – Worldwide Interoperability for Microwave Access

WMAN – Wireless Metropolitan Area Network

Resumo

O objetivo deste trabalho é desenvolvimento de um método para otimizar o processo de planejamento e/ou dimensionamento de redes GPON, dentro dos padrões recomendados pelas ITU-T G.984.x.. GPON (Gigabit Passive Optical Network), para redes gigabit de fibra óptica passiva. As Redes GPON vêm sendo consideradas uma das melhores tecnologias utilizadas pelas empresas de redes de telecomunicações, na considerada milha final de acesso ao usuário. Esse ponto de ligação entre o cliente final e as prestadoras de serviços, se dá através de um ponto de terminação OLT (Optical Line Terminal), até os diversos pontos de chegada ONUs (Optical Network Units).

O processo de dimensionamento levará em consideração os seguintes aspectos: (i) distância entre a OLT e a quantidade de derivações até sua chegada às ONUs; (ii) razão utilizada na seleção dos divisores ópticos; (iii) largura de banda alocada para cada cliente final. Considerado os enlaces óticos a parcela mais representativa dos custos geradas no planejamento das redes GPON será proposto um algoritmo para otimização destes a partir da melhor solução para o posicionamentos dos separadores óticos (splitters) e a formação das PONs. O algoritmo proposto considerará os aspectos como: (i) os níveis de congestionamento de todas as PONs; (ii) a ordenação das ONUs pertencentes ao splitter mais congestionado e sua distância entre o splitter mais próximo e candidato a realocação; e (iii) o reposicionamento das ONUs. Onde o papel do divisor óptico passivo (splitter) é fazer uma divisão da potência óptica para atender todos os possíveis elementos da rede.

Palavras-Chave: Planejamento de Redes, Redes Óticas, Redes GPON.

Abstract

The objective of this work is to develop a method to optimize the process of planning and / or design of GPON networks , within recommended by ITU- T standards G.984.x. . GPON (Gigabit Passive Optical Network) for gigabit passive optical networks . The GPON network have been considered one of the best technologies used by telecommunications network companies , considered in mile end user access . This connection point between the end customer and the service providers , is via a point of termination OLT (Optical Line Terminal) to the various points of arrival ONUs (Optical Network Units) .

The design process will take into consideration the following aspects : (i) distance between the OLT and the number of branches until their arrival at the ONUs , (ii) ratio used in the selection of optical splitters , (iii) bandwidth allocated for each end customer . Optical considered the most significant portion of the costs generated in the planning of networks GPON links will be proposed an algorithm for optimization of these from the best solution to the positioning of optical separators (splitters) and the formation of PONs . The proposed algorithm will consider aspects such as: (i) the levels of congestion of all PONs (ii) the ordering of ONUs belonging to congested splitter and its distance from the nearest splitter and candidate for relocation , and (iii) the repositioning of ONUs . Where the role of passive optical splitter (splitter) is a breakdown of optical power to meet all possible network elements .

Keywords: Planning Networks, Optical Networks, Networks GPON.

Capítulo 1

Introdução

As empresas de telecomunicações têm disponibilizado meios para que as estruturas de redes existentes possam atender a demanda por serviços que necessitam de maior banda de comunicação. Estes serviços são oferecidos com base em níveis de qualidade, de acordo com a necessidade de cada cliente. Em sua maioria, a prestação de serviço de telecomunicações tem dado um destaque maior à convergência de som, dados e imagens, em alta definição HD (high-definition).

Para tanto, as empresas tem buscado por novas tecnologias e estratégias para propiciar o acesso à banda larga, explorar ao máximo a infraestrutura de redes já existentes ou estruturando novos meios de acesso como redes sem fio, redes de acesso por fibra óptica, redes híbridas que se utilizam dois ou mais tipos de estrutura de comunicação.

Conforme a oitava edição da pesquisa F/Radar e DataFolha foi constatado que 47% dos brasileiros com mais de 16 anos tem o costume de acessar a internet, e que o acesso de banda larga, a partir de casa, saltou de 12% para 29% da população entre 2008 e 2010. Pela primeira vez o acesso em casa passou a ser tão relevante quanto em lan houses. Além disso, a parcela daqueles que frequentam a internet diariamente subiu, desde então, de 32% para 44% dos internautas, no mesmo período [1]. Esses crescimentos são resultados das novas tecnologias empregadas pelas empresas e praticadas nas ações políticas governamentais com o objetivo de popularizar o uso da internet no país. Dentre essas ações, destaca-se o programa como PNBL Plano Nacional de Banda Larga, coordenado pelo Ministério das Telecomunicações. Esse programa, além de propor um valor acessível na contratação de internet banda larga, apresentou um plano para desoneração no setor das telecomunicações, com o objetivo de incentivar a ampliação das redes óticas no país.

A utilização de fibras óticas nas telecomunicações é uma das formas de dispor aos clientes, tecnologia em transmissão de alta capacidade de banda de comunicação, com custos reduzidos, tanto para os clientes quanto para as empresas do setor. Conhecida como Rede de Acesso, fornece aos clientes, diferentes tipos de serviços e aplicações. Esses serviços podem ser oferecidos por diversos tipos de meios de comunicação como: cabo de par trançado, cabos metálicos, wireless, cabo coaxial e fibra óptica. Esses meios podem ser portadores de diferentes tecnologias com o objetivo de suprir o acesso ao usuário final [2]. Estas tecnologias estão associadas à ideia de uma rede de banda larga, com o fornecimento simultâneo de voz, dados e vídeo. Gera uma demanda por altas taxas de banda de transmissão e identifica os diversos tipos de serviços e/ou aplicações. Dentre estas tecnologias, as redes GPON estão em destaque por disponibilizar um acesso de alta velocidade.

As redes GPON (Gigabit Passive Optical Network) são redes passivas que não utiliza repetidores ao longo do seu link e não há necessidade de fontes de energias intermediárias. Utilizam unicamente divisores ópticos (splitters), acopladores e atenuadores. A topologia é baseada em árvore, o qual forma um esquema ponto a multiponto, onde se liga a OLT (Optical Line Termination), que fica na Central Local ou CO (Center Office), com os terminais ONUs (Optical Network Units), sendo aplicadas duas diferenciações, pela IEEE ONT (Optical Network Termination) e pela ITU-T o ODN (Optical Distribution Network) [2].

O planejamento de redes GPON é o objeto deste trabalho, que tem como proposta o desenvolvimento de um método, regras básicas para o planejamento e/ou dimensionamento de redes GPON dentro dos padrões recomendados pelas ITU-T G.984.x, levando em consideração no processo de dimensionamento os seguintes aspectos: (i) distância entre a OLT e a quantidade de derivações até sua chegada às ONUs; (ii) razão utilizada na seleção dos divisores ópticos; (iii) largura de banda alocada para cada usuário final; e a proposta de um algoritmo para otimização dos custos de uma rede GPON, abordando aspectos como: (i) os níveis de congestionamento de todas as PONs; (ii) a ordenação das ONUs pertencentes ao splitter mais congestionado e sua distância entre o splitter mais próximo e candidato a realocação; e (iii) o reposicionamento das ONUs.

O desenvolvimento deste trabalho está dividido em 7 (sete) capítulos. No Capítulo 1, temos uma breve introdução sobre o tema. No Capítulo 2 descreve os principais conceitos relacionados à pesquisa, isto é, serão apresentadas as tecnologias de redes de acesso, a evolução das redes passivas incluindo APON/BPON, e Redes GPON. No Capítulo 3 são apresentados os trabalhos científicos relacionados com o planejamento das redes GPON. O

Capítulo 4 descreve um método de otimização a partir de um cenário de estudo de caso e aplicação das abordagens teóricas para o planejamento de uma rede GPON. O Capítulo 5 descreve uma proposta de um algoritmo para o planejamento de redes GPON. No Capítulo 6 é apresentado a avaliação do algoritmo proposto. E o Capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho.

1.1 Entendendo o Problema

O Planejamento das redes GPON, parte da infraestrutura necessária para dar suporte as demandas de serviços de telecomunicações na considerada ultima milha, ligação entre a Central de Distribuição e os Usuários Finais em uma rede metropolitana. Nas redes GPON essa interligação é feita através de fibras óticas, as quais fornecem um largura de banda na grandeza de Gigabits por segundo (Gb/s) e que com a evolução das tecnologias essa grandeza tende a aumentar.

Uma rede GPON é configurada a partir de uma única fibra ótica de forma compartilhada através de separadores óticos de potência (splitters)[3, 4]. Os splitters dividem o sinal ótico a partir de uma razão de separação de um para muitos, sendo que a pois separados os enlaces seguem em fibras óticas individuais para cada ONU. Essa segmentação das fibras e a formação dos nossos enlaces óticos condizem com a parcela mais significante dos custos no planejamento das redes GPON.

A solução proposta é dividida em duas partes a primeira apresentada no capítulo 4, como um estudo de caso para um cenário de aplicação das teorias abordas no processo de otimização destes custos e a segunda é a utilização do algoritmo proposto no capítulo 5 para o otimização dos custos envolvidos no planejamento das redes GPON, quanto ao posicionamento dos separadores óticos (splitters) de forma a encontrar a melhor solução para o posicionamento destes dentro um grupo de ONUs, levando em consideração para essa otimização os seguintes aspectos: (i) os níveis de congestionamento de todas as PONs; (ii) a ordenação das ONUs pertencentes ao splitter mais congestionado e sua distância entre o splitter mais próximo e candidato a realocação; e (iii) o reposicionamento das ONUs.

Capítulo 2

Principais Conceitos Relacionados à Pesquisa

Neste capítulo serão tratados alguns assuntos que estão diretamente ligados ao trabalho em questão, como as redes de acesso, redes passivas PON, e as principais características das redes passivas, incluindo APON/BPON/GPON.

2.1. Redes de Acesso

É denominado rede de acesso, ou última milha (last mile), a interligação entre a residência do usuário e as empresas prestadoras de serviços de telecomunicações, que provêm algum tipo de serviço dedicado ou conexões com a internet.

As redes de acesso podem ser classificadas como: Rede de Acesso via par trançado; Redes de Acesso sem Fio; Rede Híbrida de acesso via fibra óptica; cabo coaxial ou metálico; redes de acesso somente em fibra óptica, caracterizadas pelas tecnologias SONET/SDH; e redes PONs Redes Óticas Passivas. Tradicionalmente, a fibra óptica tem sido utilizada na estrutura das redes de acesso (backbone), por sua grande capacidade de transmissão, baixas perdas e imunidade a ruídos eletromagnéticos [3], [4].

A rede de telefonia é a tecnologia que apresenta uma maior taxa de penetração na população, onde as empresas prestadoras de serviços de telecomunicações disponibilizam o serviço de voz a milhões de clientes. O grande desafio para essas empresas é o fornecimento de novos serviços, dos quais exigem uma alta taxa de banda de transmissão. Nesse sentido, as redes de acesso estão passando por reestruturação, onde o emprego da fibra óptica está sendo realizado como solução mais viável ao atendimento de serviços que necessitam de uma maior banda de comunicação, devido aos vários níveis de qualidade que estão sendo desenvolvida, em destaque a convergência de som, dados e imagens, em alta definição HD (high-definition).

2.2 Redes Passivas de Fibra Óptica

As redes PON tiveram seu início a partir dos anos 90, com a criação do comitê FSAN (Full Service Access Network) [5], formado por algumas das grandes operadoras de redes e seus principais fornecedores de equipamentos. O objetivo era estabelecer um padrão para desenvolvimento de soluções completas para voz, dados e vídeo. Dessa necessidade surgiram duas opções lógicas, uma para protocolo e outra para a planta física, sendo elas, ATM e PON, respectivamente. O Protocolo ATM (Asynchronous Transfer Mode) era viável para múltiplos protocolos e a PON (Passive Optical Networks) era a opção mais viável financeiramente, para soluções de banda larga em grande escala [6].

Tanto a ITU-T e IEEE disponibilizam soluções padronizadas para redes óticas passivas (PONs) [6], as duas soluções utilizam uma taxa na ordem de Gbps, como melhorias para o transporte de tráfego de dados, voz e imagens. A eficiência e o desempenho dos sistemas PONs são dependentes da camada de convergência de transmissão e, principalmente, do protocolo de controle de acesso médio (MAC Media Access Control). Embora com uma base comum, os dois padrões apresentam diferenças significativas como o legado da Ethernet pela IEEE, e a ênfase da UIT-T sobre os serviços exigentes [4].

2.2.1 Topologias das redes PON

As redes de acesso PON possuem basicamente três topologias [4], conhecidas como: anel, árvore e barramento.

A. Topologia em Anel

Na topologia em anel, figura 2.1, a OLT interconecta as ONUs, através de um link óptico, que cria uma segmentação de redes ONUs, na forma de barramento, até a OLT novamente, dando a ideia de um anel óptico, onde as ONUs funcionam como um divisor ótico ativo.

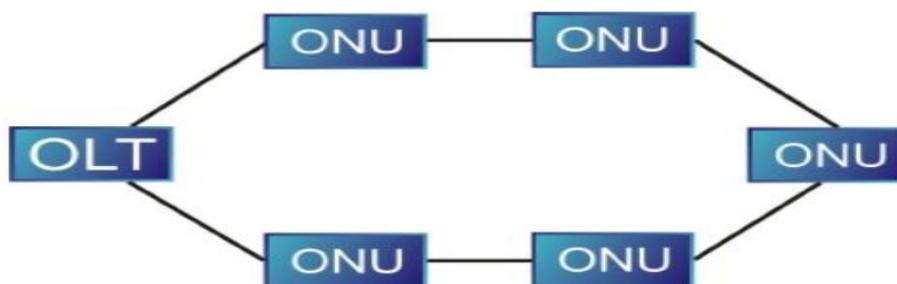


Figura 2.1: Topologia em Anel

A topologia em Anel torna os links ópticos entre as ONUs um caminho com propriedades de redundância, podendo enviar e receber sinais nos dois sentidos. No entanto, se não tiver nenhum mecanismo de segurança e o link for cortado, todo tráfego downstream será prejudicado.

B. Topologia em Barramento

Na topologia em barramento (figura 2.2), as interconexões em fibra óptica entre a OLT e as ONUs utilizam vários divisores ópticos de potência (splitters) com a razão de divisão de 1:2, sendo uma conexão com a ONU e a outra como canal até o próximo splitter, existindo várias outras ONUs entre a OLT e última ONU. Ao contrário da topologia em árvore é mais utilizada nas redes de acesso PON.

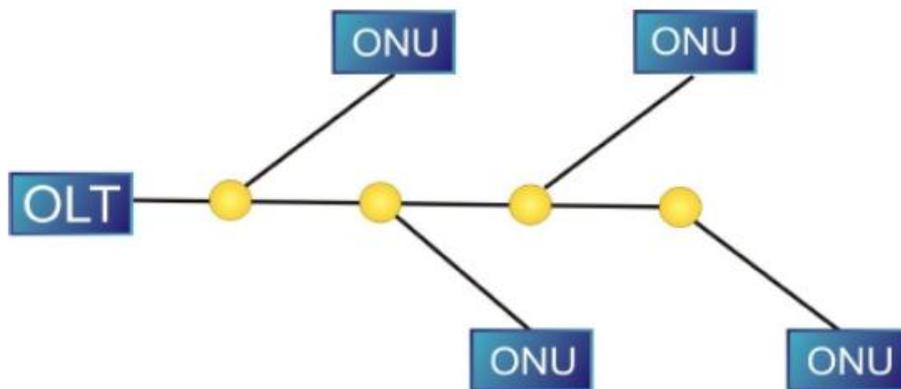


Figura 2.2: Topologia em Barramento

C. Topologia em Árvore

Na topologia em árvore, figura 2.3, um único segmento com origem no OLT interconecta diversas ONUs, onde são utilizados divisores ópticos de potência passiva (splitters), para ligação com fibra desde a origem OLT até o usuário final na ONU.

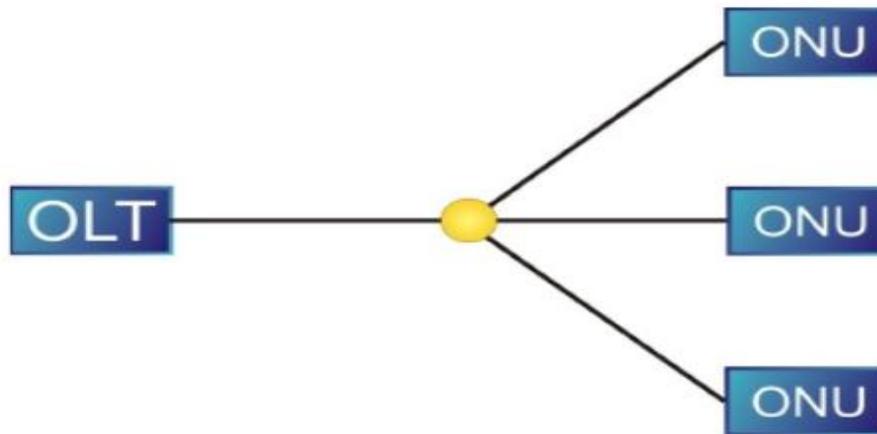


Figura 2.3: Topologia em Árvore

2.2.1 Características das Redes PON

Redes PON (Passive Optical Network) são redes com topologias ponto-multi-ponto, empregadas em arquitetura de redes, consideradas última milha (last mile). Consiste em um canal de linha óptica entre o prestador de serviços e as inúmeras unidades de redes óticas [2]. A rede PON é uma forma de levar a fibra o mais próximo possível do usuário final. Na figura 2.4 temos uma estrutura básica das redes PON.

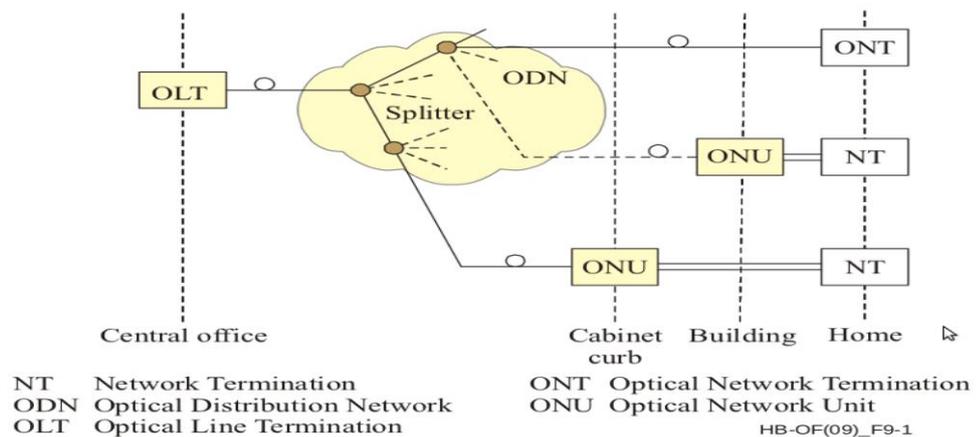


Figura 2.4: Estrutura Básica das redes PON [4]

A topologia de uma rede PON, figura 2.4, baseada em árvore, forma um esquema ponto a multiponto, onde se liga a OLT (Optical Line Termination), que fica na Central Local ou CO (Center Office), com os terminais ONUs (Optical Network Units). São aplicadas duas

diferenciações, pela IEEE ONT (Optical Network Termination) e pela ITU-T o ODN (Optical Distribution Network) [4].

A. OLT – Terminal de Linha Óptico

A OLT, localizado na central da operadora de serviços (CO-Center Office), conecta a rede de acesso. O Sinal óptico é transmitido pela OLT e distribuído para diversos usuários através dos divisores ópticos passivos (splitters), que são responsáveis pela divisão com combinação do sinal óptico no sentido downstream e upstream. Os principais serviços prestados por uma OLT é o fornecimento de VoIP, HDTV e Internet. A distância de transmissão de uma OLT pode chegar a 20 km através do ODN (Optical Distribution Network).

B. Divisores Ópticos Passivos – Splitter

SPLITTER – divisor óptico passivo é responsável pela divisão de potência do sinal óptico. É um componente passivo, sem a necessidade de fonte de alimentação de energia. Possuem três ou mais portas, posicionado entre a ligação da OLT com as diversas ONUs ao longo da rede PON. A conectividade ponto-multi-ponto entre OLT e as múltiplas ONUs é obtida através de um ou mais dispositivos passivos de ramificações no caminho da fibra [7]. Na figura 2.5, temos o exemplo de um splitter, com a representação de M entrada e N saídas. Nas redes PONs, os valores dos divisores ópticos são na razão de uma porta de entrada para X porta de saída, onde $X=2, 4, 8, 16, 32, 64, 128$.

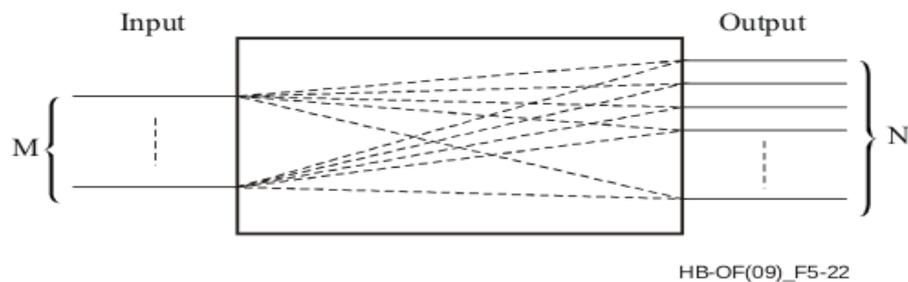


Figura 2.5: Divisor Óptico Passivo [4]

Normalmente, o número de saídas é dado por (1):

$$NS = 2^N \quad (1)$$

Para $N \geq 1, 2, 4, 8, 16, \dots$ a potência óptica é dividida igualmente entre as saídas, sofrendo assim, perdas na divisão de acordo com a razão utilizada. Como regra geral, a potência óptica em cada saída é reduzida em relação à entrada por um fator de $N \times 3,5$ dB sendo verificado por (2):

$$10 \text{Log}(N) \quad (2)$$

O Splitter é um divisor óptico bidirecional, onde o sinal óptico é atenuado pela mesma quantidade de perdas para ambos os sentidos [8]. No entanto, o splitter é o componente que oferece menos perdas e atenuação. Por exemplo, uma taxa de divisão óptica na escala de 1:32 pode variar entre 15dB e 18dB.

A arquitetura da divisão óptica depende da localização geográfica dos clientes na planta externa. Do ponto de vista de gestão, o custo no gerenciamento de múltiplos divisores, é maior que a utilização de um único divisor óptico. Na figura 2.6, tem as representações por divisão de potência. Sendo (a) a representação da divisão em um único estágio, e (b) a representação em cascata, alcançando assim uma relação maior na utilização da divisão óptica. No entanto, para cada subdivisão há uma perda de potência, prejudicando o alcance entre a OLT e as ONUs. Em (c), temos a representação mais extrema de utilização dos divisores de potência, onde as ONUs estão conectadas ao longo do caminho na razão 1:2.

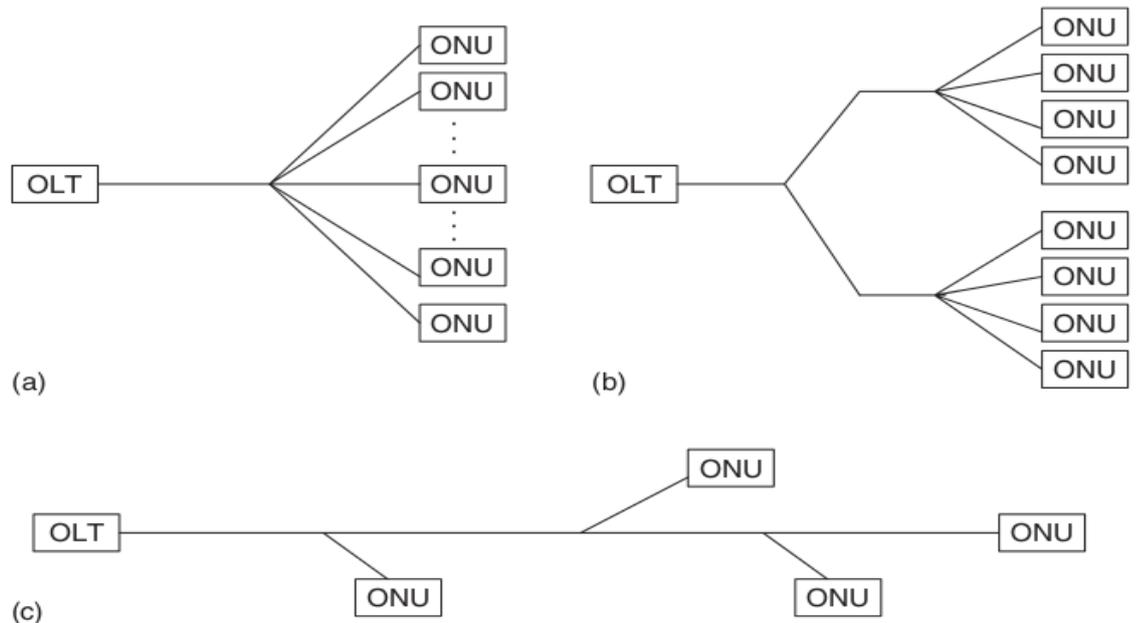


Figura 2.6: Distribuição óptica com divisores de potência, (a) divisão única, (b) cascadeamento de divisores e (c) ao longo do caminho na proporção 1:2 [8].

Nas redes PON, quando a taxa de divisão óptica é maior, o custo existente na planta para a OLT será subdividida entre todas as ONUs. No entanto essa divisão de potência afeta diretamente as taxas de transmissão, onde a perda ideal para uma taxa de 1:N é de dada pro (2) em dB. No caso de utilização de altas taxas de divisão, há uma necessidade de transmissores com maior potência e receptores de alta sensibilidade. Alguns estudos apontam que a relação ideal de divisão é algo entorno de 1:40, essa relação da divisão óptica está diretamente ligada na largura de banda de cada ONU. Quanto maior a taxa de divisão menor será a largura de banda dedicada a cada cliente ou ONUs.

Atualmente a potência de transmissão está ligada diretamente à limitação das tecnologias de laser utilizadas e aos requisitos de seguranças normatizados pelas autoridades de regulação.

C. ONU – Unidade de Rede Óptica

A ONU está diretamente localizada próximo do usuário final. Concentra buffers [4] de todo tráfego até que a OLT possa receber os pacotes de dados. As ONUs recebem apenas as mensagens destinadas a elas, ignorando as demais. Além do mais, as ONUs fazem a conversão dos sinais ópticos em elétricos para os demais dispositivos, como telefones, computadores, TVs e outros equipamentos de aplicação do usuário final.

D. ODN – Rede de Distribuição Óptica

A ODN constitui o meio de transmissão óptica entra a OLT e a conexão com as diversas ONUs e apresenta algumas características que devem ser consideradas: utilização de fibra óptica monomodo, conectores de fibra óptica, componentes passivos de ramificação, atenuadores ópticos passivos e emendas. Todos estes elementos são associados a perdas no caminho. Na Tabela 2.1, temos os valores correspondentes às perdas associadas à ODN [4] de acordo com o comprimento de onda utilizado.

Itens	Unit	Path loss
Minimum optical loss 1490 nm	dB	13
Minimum optical loss 1310 nm	dB	13
Maximum optical loss 1490 nm	dB	28
Maximum optical loss 1310 nm	dB	28

Tabela 2.1: Estimativa de perdas no ODN [4]

2.2.2 Tecnologias de Acesso a redes PON

As Redes PON, como observado anteriormente, são tecnologias de acesso que incorporam em sua estrutura a utilização de equipamentos passivos. O sinal óptico é transmitido desde a central de telecomunicações até o cliente final sem a necessidade de alimentação de energia elétrica. A transmissão do sinal dá-se por meio de upstream e downstream em comprimento de onda dividida para cada usuário por meio de divisores ópticos acoplados no meio de transmissão [9].

A estrutura utilizada pelas PONs [10] como rede de acesso a última milha são:

FTTH (Fiber To The Home) fibra até a casa do usuário, disponibilizando uma largura de banda de 30 a 100 Mbps;

FTTB (Fiber To The Building) Fibra até o prédio. Os usuários são atendidos com até 10 Mbps;

FTTCab (Fiber To The Cabinet) Fibra até o gabinete, predominando uma distância de 100 a 300 metros dos usuários.

FTTC (Fiber To The CURB) Fibra até a calçada.

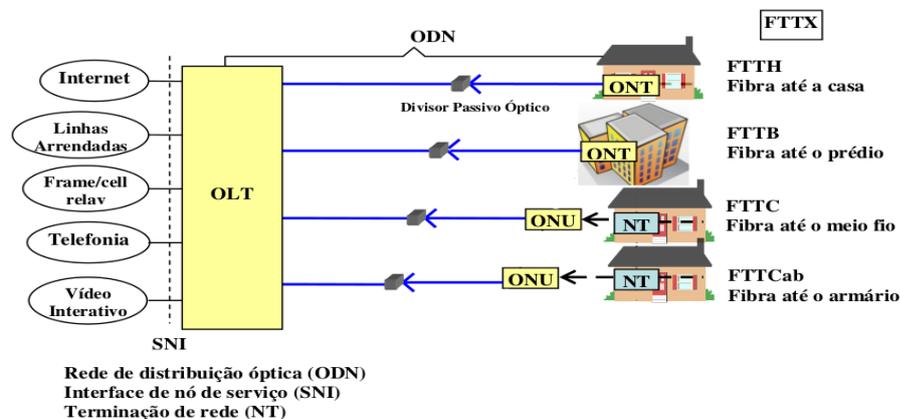


Figura 2.7: Estrutura FTTx em PON.

As redes óticas passivas PON, disponibilizam uma significativa redução de custos. Por sua estrutura de topologia ponto-multiponto, pode ser utilizada como estrutura principal para redes sem fio. As estações clientes podem se interconectar com os provedores sem fio e o trafego retornar através das redes PONs. As redes PONs podem utilizar as técnicas de multiplexação WDM e TDM ou qualquer combinação destes para carregar dados, voz e imagens de alta definição.

2.3 Redes APON/BPON/GPON

A ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication division) cria as recomendações que são empregadas como referência para o desenvolvimento de soluções tecnológicas envolvendo redes e telecomunicações entre elas às redes APON/BPON e GPON.

2.3.1 Redes a APON/BPON

Normalizadas pela ITU-T G.983[9], em 1998 especifica o modo de transmissão assíncrona ATM como seu protocolo de dados da camada de enlace. As tecnologias APON (ATM PON), logo estendida para BPON - Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks, oferecem serviços de banda larga, incluindo o acesso a Ethernet. Tanto a APON/BPON atuam na faixa de 622 Mbps de largura de banda em *downstream* e 155 Mbps para *upstream*. Em paralelo ao ITU-T, a IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) estabelece a Ethernet na primeira linha e cria o grupo EFM (Ethernet in the First Mile). O grupo trabalha sobre os padrões IEEE 802.3, e padroniza a família do Gigabit Ethernet com taxas de 1.25Gbps, somente para o sistema de transporte Ethernet, apresentada com EPON (Ethernet PON) [6].

2.3.2 Redes EPON

O IEEE, através do grupo EFM, fundado em 2001, busca ampliar as aplicações de Ethernet para as redes de acesso, aproveitando as principais características das tecnologias e o baixo custo das redes PON. Por suportar os dados encapsulados em quadros Ethernet, facilita assim o transporte dos pacotes IP. Especificada no padrão IEEE 802.3, atualmente tem grupos de trabalho para o desenvolvimento da tecnologia que permite operar downstream em 10 Gbps e upstream em 1 Gbps ou 10 Gbps. Esta otimização fornece um aumento significativo na capacidade dos sistemas [11].

2.3.3 Redes GPON

As redes GPON são redes passivas, e não utilizam repetidores dentro das redes, pois não há necessidade de fontes de energias intermediárias. Utilizam unicamente divisores ópticos (splitters), acopladores e atenuadores. O tráfego é transmitido sobre uma única fibra por dois comprimentos de onda diferentes. A rede GPON utiliza um comprimento de onda para downstream que está na faixa de 1490 nm e outra para upstream, na faixa de 1510 nm. Na figura 2.8, o canal de comunicação downstream é utilizado na transmissão em modo

broadcast, por mecanismo de TDM (Time Division Multiplexing). Os dados são transmitidos para todos os elementos da rede. Já no upstream a transmissão é através de um protocolo de acesso múltiplo TDMA (Time Division Multiple Access).

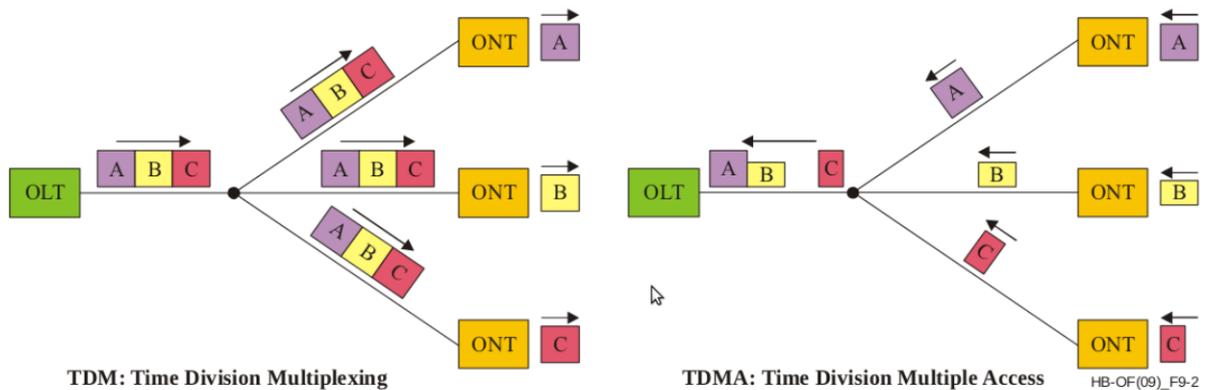


Figura 2.8: Estrutura TDM/TDMA

No caso de pouco tráfego em upstream, o OLT é capaz de lidar com a recepção de uma célula/pacote após um período relativamente longo - "silêncio". Com a utilização do algoritmo DBA (Dynamic Bandwidth Assignment), é feita alocação de banda subutilizada pelas ONTs, onde é atribuída maior largura de banda para o tráfego ONTs que tem mais tráfego a ser transmitido em um determinado momento. Na direção downstream uma ONT pode receber mais células/pacotes do que outra [4].

A recomendação ITU-T G.984.2 [12] determina a taxa de transmissão com uma escalabilidade de 622 Mbps até 2.5 Gbps. Define assim o alcance físico e lógico das redes GPON, onde o alcance lógico é a máxima distância entre a ONU/ONT e a OLT que dependendo dos protocolos pode chegar a 60 km. Já o alcance físico chega a 20 km, atendendo de 64 a 128 usuários dentro de uma mesma OLT.

A tabela 2.2 apresenta as principais características do GPON.

Tipo	Valor	Comentários
<i>Link-budget</i>	28 dB	Classe B+ óptica (orçamento de potência)
Distância da Fibra	20 km	Pode alcançar 60 km dependendo da taxa de divisão e das perdas dos conectores
Taxa de divisão	1:32	Valores com 1:16, e 1:64 são comuns.
Capacidade por PON	2488 Mbit/s	<i>Downstream (DS)</i>
	1244 Mbit/s	<i>Upstream (US)</i>

Comprimento de Onda	1.490 nm	DS e US para GPON de 1-fibra.
	1.310 nm	

Tabela 2.2: Principais Características da Rede GPON [6]

A recomendação ITU-T G.984.3 [13] trata da camada TC (Transmission Convergence). Essa camada pode acomodar qualquer tipo de serviço, desde pacotes Ethernet, células ATM ou serviços TDM. Com uma estrutura de quadro com duração fixa de 125 μ s para transporte de qualquer serviço, onde todo o tráfego é encapsulado em quadros GEM (GPON Encapsulation Method), este protocolo permite a segmentação e remontagem de quadros Ethernet. A camada TC tem função de link físico do tipo ponto-multiponto (P2MP), junto com camada MAC (Media Access Control), os quadros recebem um identificador exclusivo para cada ONU, onde estes são filtrados e classificados em filas separadas, emulando assim ligações lógicas P2P entre OLT e as múltiplas interfaces de clientes diferentes em cada ONU.

Na tabela 2.3, são apresentadas as principais características comparativas entre as tecnologias PON.

Arquitetura	APON/BPON	GPON
Padrões	ITU-T G.983.x	ITU-T G, 984.x
Largura de banda máxima	622Mbps	2.5Gbps
Comprimento de onda downstream	1480nm a 1500nm	1480nm a 1500nm
Comprimento de onda upstream	1260nm a 1360nm	1260nm a 1360nm
Quadro	ATM	Ethernet
Tamanho das células do pacote de dados	53 bytes	Variável de 53 bytes a 1518 bytes
Tráfego de Voz	TDM	TDM
Tráfego de Vídeo	1550nm (RF)	RF/IP
Número de Usuários	32	128
Largura de banda média por usuário	20Mbps	40Mbps
Eficiência	72%	49%

Tabela 2.3: Comparativo entre tecnologias PON [6], [14].

A eficiência das redes GPON está relacionada diretamente à forma de envio das mensagens em downstream/upstream e ao cabeçalho. Quanto mais dados forem enviados e com menos troca de mensagens na rede, maior será o aproveitamento da largura de banda [6].

2.4. Conclusão

Como vimos, as empresas de telecomunicações estão se adaptando, no quesito de infraestrutura tecnológica, para dar suporte aos diversos serviços de voz, som e imagens, e aplicações com altas taxas de largura de banda, necessárias para manter o padrão de qualidade de alta definição.

As Redes de Acesso com tecnologia PON estão sendo empregadas cada vez mais por estas empresas, como um fator de economia por utilizar meios de comunicações com fibras óticas e elementos passivos de divisão de potência. Disponibiliza cada vez mais serviços com comunicação de dados, voz e imagens em alta velocidade. Nessa aplicação, as redes GPON são as mais utilizadas por aplicarem comprimentos de ondas diferentes para downstream e upstream, além de possuírem uma camada de empacotamento que transporta qualquer serviço, seja esse Ethernet, IP, TDM ou WDM.

No próximo capítulo serão apresentados trabalhos científicos relacionados com os aspectos referentes às redes GPONs, à alocação dinâmica de banda, à razão da divisão óptica para otimizar o planejamento de redes GPON e o planejamento de redes GPON com base em regras e perfil de clientes.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

3.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados alguns trabalhos levantados na literatura especializada que serviram de base no estudo da proposta deste trabalho. As referências são apresentadas de modo a situar o estado da arte das áreas aqui envolvidas. São apontadas também algumas limitações destes estudos e os aspectos que são desenvolvidos neste trabalho, definindo de forma clara onde se encontra a contribuição deste estudo para a área.

Os trabalhos apontados neste capítulo estão divididos de acordo com os fundamentos das abordagens apresentadas: aspectos relacionados às redes GPONs, a alocação dinâmica de banda, razão da divisão óptica para otimizar o planejamento de redes GPON e planejamento de redes GPON com base em regras e perfil de clientes.

3.2 Trabalhos Relacionados

Para fundamentar o desenvolvimento desta pesquisa agrupamos alguns dos principais trabalhos relacionados ao objeto de estudo com o objetivo de contemplar todas as variáveis apresentadas nesta proposta.

3.2.1 Modelo e Representação das Redes GPON

Em [26] o autor trata a formulação de um problema para tratamento do layout de uma rede PON, como um problema da teoria de grafos, em que um grafo $G(V,E)$, tal que V representa a localização física do cliente, CO, divisores ópticos e E o link de comunicação

entre duas linhas V_i 's. Caso não tenha nenhuma comunicação direta das linhas $c(i, j)$ entre V_i e V_j , será considerado o caminho mais curto em termos de distância ou custos assumindo $c(i, j) = c(j, i)$. Dado o grafo não direcionado G , podemos encontrar a localização das ONU, dos divisores ópticos de forma a minimizar os custos com os equipamentos e garantir a máxima distância entre OLT e as diversas ONU. Minimizando ao máximo a distância das ONU para os divisores ópticos de potência, através da associação de custos aos vértices V (custos de equipamentos) e para as arestas E (custo da fibra óptica), encontra-se o menor domínio do grafo G , e sua representação em uma rede GPON.

A utilização de grafos para desenvolver o modelo de representação para redes GPON é uma das estratégias apresentada [26], onde o problema é encontrar o menor número de arestas de custo mínimo, a partir de um separador óptico a uma determinada ONU de tal forma que o conjunto escolhido possa identificar o menor e o maior custo.

Para essa proposta de estudo, vamos além da verificação da identificação de um menor custo dentro de um domínio de um grafo. Essa associação dos custos operacionais que está ligada diretamente à estrutura das redes GPON, será representada por grafos de forma a identificar os requisitos relacionados aos custos operacionais na separação óptica e na distância de transmissão, os custos mínimos e máximos na disposição do separador óptico, indicando assim as dimensões físicas do enlace e da largura de banda utilizada. A partir deste modelo, propomos um algoritmo para solucionar o problema de otimização e a representação das redes GPON.

3.2.2 Divisão Óptica de Potência

Em, [23], os autores descrevem um sistema GPON com a razão de separação 1:128 de forma a atingir 60 km de distância, com taxa de 1.25 Gbps em upstream e 2.5 Gbps em downstream, com perda de potência na faixa de 45 dB e com a utilização do algoritmo Forward Error Correction (FEC). Tal sistema pode oferecer melhorias na redução de custos por assinantes e a possibilidade de reduzir significativamente todos os custos da rede, através da utilização de uma maior taxa de separação óptica.

Com a utilização de uma maior taxa de divisão óptica para assinantes residenciais 1:64 em relação à menor taxa de divisão para assinantes comerciais 1:32, pode garantir QoS exigida pelo usuário final com a alocação mínima de largura de banda. Para avaliar o desempenho do sistema, os autores observaram em um determinado período de tempo, o número de quadros ethernet perdidos, convertidos em BER pela equação (3) da distribuição

Binomial, onde a probabilidade de erro de bit (P_{bit}) está relacionada com a probabilidade de perda dos quadros ethernet (p_{frame}), onde o comprimento do quadro é dado por N bits.

$$P_{bit} = 1 - \sqrt[n]{1 - p_{frame}} \quad (3)$$

Demonstrando que um sistema GPON com taxa de divisão óptica de 1:128 pode atingir 60 km.

Ao considerar a taxa de erro de bit BER que indica a taxa de bits errados durante uma transmissão de dados, pode ser dada como a quantidade de bits enviados e a quantidade de bit recebido de forma errada. O cálculo $BER = \text{Bits Errados} / \text{Bits Enviados}$, apresentado em [23] traz uma relação da probabilidade de perda de dados durante a transmissão dos quadros ethernet.

Conforme [23], ao se determinar o número de bits errados por segundo, pode-se determinar a potência óptica necessária para suprir o ganho no número de clientes e identificação das principais faixas de perda de potência em relação à distância e a maior taxa de divisão óptica utilizada.

3.2.3 Distância entre OLT e ONU

Uma solução de longo alcance para redes GPON é aplicada em [17]. Os autores apresentam uma solução, conforme figura 3.1(b), que permite operações com fibras óticas com distâncias maiores que 60 km. Utiliza-se uma razão de divisão óptica de 1:128, acarretando uma redução nos custos por assinantes de um sistema GPON. A figura 3.1(a) demonstra que a distância de comunicação entre a OLT e as diversas ONUs fica limitada a potência dos transmissores e a sensibilidade dos receptores, quando não se utiliza um modulo extensor de banda.

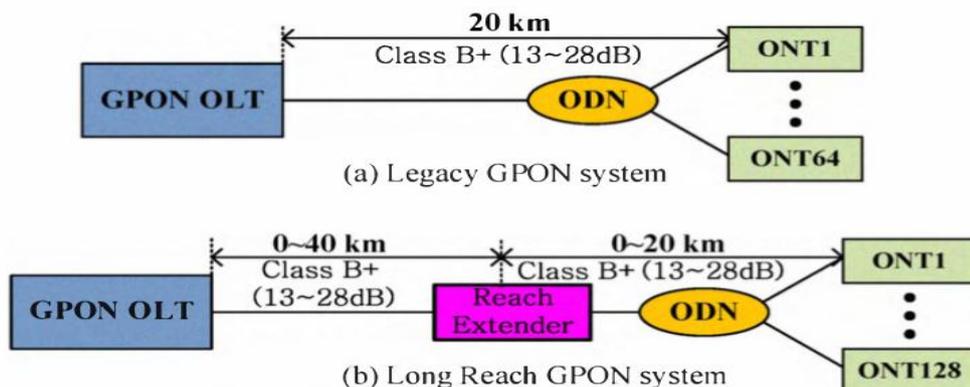


Figura 3.1: Comparativos entre sistemas GPON [17]

Na limitação do alcance, a potência óptica é dividida, sempre com variações entre 13 dBm e 28 dBm. Para verificação, os autores utilizaram medições das taxas de perdas de pacotes (packet loss rate PLR) e o diagrama de olho para observação do encaminhamento da correção de erro e do *jitter* entre a entrada e a saída do sinal. Em decorrência, comprovou-se que na utilização de um extensor de potência, podem-se alcançar distâncias superiores a 60 km de fibra óticas, além de ganhos na potência óptica.

Outro trabalho nesta linha é apresentado em [7]. Os autores descrevem as redes GPON, com combinações de taxas de upstream/downstream, sendo de 2.488 Gbps para downstream e de 1.244 Gbps para upstream. Chegam à mesma proporção de 60 km sem a utilização de extensor óptico de potência.

Para [7], o conceito de PON de longo alcance (Long Reach-PON) é uma solução mais rentável para as redes de banda larga de acesso óptico. LR-PON amplia a cobertura de PON dos tradicionais 20 km para 100 km, podendo ir mais além, ao explorar a amplificação óptica e a tecnologia de multiplexação de divisão de comprimento de onda (WDM). Ao contrário do PON tradicional, LR-PON consolida os vários terminais de linha óptica, com redução significativa de seus custos operacionais correspondentes da rede. Ao aumentar a cobertura geográfica, LR-PON combina as redes de acesso por fibra óptica e as redes metro em um sistema integrado. Assim, a redução de custos também é alcançada pela substituição da hierarquia digital síncrona (SDH) com uma fibra óptica compartilhada. Em Geral, o LR-PON pode simplificar a rede, reduzindo o número de interfaces de equipamentos e seus elementos ativos.

Em [16], os autores fornecem uma visão geral da arquitetura das redes Gigabit PON, dos mecanismos de transmissão e do orçamento de potência. O alcance das redes GPON está ligado diretamente à potência do transmissor e sensibilidade dos receptores [7]. Na tabela 3.1, são apresentados os parâmetros típicos e disponíveis comercialmente, com capacidade de suportar o modo de operação de 1.25Gbps. Para o cálculo do pior caso no cenário, a potência utilizada para a sensibilidade mínima do receptor é subtraída da potência mínima do transmissor. Neste caso, a potência mínima normalmente está entre 22 dB e 23 dB. Com base nesses valores, é possível conhecer a perda total da rede e o alcance máximo do link óptico, calculado a partir de (4), onde P é a potência atribuída, FCA é a atenuação do cabo de fibra em dB/m, L é à distância do cabo óptico e SL é a perda na divisão óptica passiva.

$$P = FCA \bullet L + SL + Z \quad (4)$$

Z representa os custos adicionais, como perdas em conectores e emendas. A atenuação típica de uma fibra monomodo é de cerca de 0,4 dB/m para um comprimento de onda de 1310 nm e 0,3 dB/m para 1.550 nm (ITU-T Rec. G.652.C e G.652.D).

ONUs	L	λ	FCA	SL	Z	Potência Requerida
16	10 km	1310nm	0.4dB/m	14.5dB	2.5dB	21dB
16	20 km	1550nm	0.3dB/m	14.5dB	2.5dB	23dB
32	10 km	1310nm	0.4dB/m	17dB	2.5dB	23.5dB
32	20 km	1550nm	0.3dB/m	14dB	2.5dB	25.5dB

Tabela 3.1: Potência Mínima Requerida em diferentes PON [16]

Como exemplo, um cenário com potência igual a 23 dB, com a utilização de uma fibra monomodo, com comprimento de onda de 1550 nm, com SL de 14 dB, com duas emendas mecânicas e dois conectores. O alcance máximo da rede pode ser calculado a partir de (4):

$$\frac{23 [dB] - SL - 2 * 0.5 [dB] - 2 * 0.5 [dB]}{FCA \frac{[dB]}{[km]}} = L [km]$$

$$L \cong 20 \text{ km}$$

A distância de transmissão óptica pode exercer uma influência direta nos custos de implementação de uma rede GPON, devido à existência de pontos de atenuação ao longo da rede, com impacto direto na potência óptica demandada.

Para o desenvolvimento deste tema, serão utilizadas as contribuições dos autores em [7], [16] e [17], por definirem algumas características imprescindíveis como: a distância máxima de transmissão óptica entre transmissor e receptor, suas limitações e fatores geradores de atenuação, de forma que o alcance do enlace óptico e o custo gerado para atender um

número máximo de clientes na tentativa de minimizar os custos operacionais sejam verificados.

3.2.4 Alocação Dinâmica de Banda

A Alocação Dinâmica de Banda (DBA) é o *elemento fundamental* que determina a eficiência e QoS (Quality of Service) da rede PON [18]. A alocação de *time slots* pode ser definida pela forma com que as ONUs possam transmitir seus respectivos quadros de tráfegos, evitando colisões através do gerenciamento do meio compartilhado. São realizadas por algoritmos que podem ser classificados em dinâmicos ou estáticos, e seu desempenho é verificado através do atraso que os pacotes sofrem durante a transmissão (packet delay variation – PDV) e pela probabilidade de perda de pacote.

Em [19], os autores propõem um novo esquema de DBA para que as redes GPON alcance QoS. Nas ONUs, a largura de banda é atribuída dinamicamente, a partir da capacidade da rede global. Na OLT é atribuída qualquer largura de banda não utilizada pelas ONUs de acordo com o seu status da reserva nas filas. Assim, com as prováveis variações na capacidade da rede, a OLT será capaz de reajustar as larguras de banda mínima garantida e não utilizada pelas ONUs.

A OLT fornece à ONU três níveis de serviços, definidos por t e com diferentes pesos W_t para representação das prioridades de acesso à rede, onde o menor peso indica a quantidade de *time slot* que serão ocupados por ciclo de transmissão. Em simulação, foram adotados níveis correspondentes de 50, 70 e 100 Mbps, para cada um dos pesos 2, 3 e 4. Para cada *time slot* são atribuídos a uma largura mínima de banda garantida B_{tmin} de acordo com o nível de serviço, onde o B_{tmin} é definido pelos parâmetros da largura básica B_{basic} de banda e a largura extra B_{tex} de banda garantida. Assim, a largura de banda mínima garantida em t de cada nível de serviço será dada por (5):

$$B_{min}^t = B_{basic} + B_{ex}^t \quad (5)$$

Em (5) a largura de banda básica B_{basic} é considerada a banda básica disponível para todas as ONU independentemente do nível de serviço. Para a OLT, atribuí-se dinamicamente uma maior largura de banda de acordo com os níveis de serviço e taxas de dados variáveis. Utiliza-se da largura de banda extra B_{tex} , onde a capacidade máxima da rede B_{total} , é dada por (6), e k é o número de ONU que formam a rede e Nt o número de ONU por nível de serviço em t .

$$B_{ex}^t = (B_{total} - k \cdot B_{basic}) W_t / \sum_{i=1}^3 W_i N_i \quad (6)$$

Na probabilidade de que, em cada ciclo de transmissão, apenas uma fração de cada ONU utiliza a largura de banda mínima garantida, o algoritmo de alocação dinâmica de banda deve tratar de atribuir à banda não utilizada para cada ONU que necessite de maior largura de banda de transmissão. Cada banda extra $B_{ex_required}$ é dada pela razão entre a banda necessária e a banda exigida para cada cliente $B_{ex_assigned}$ de acordo com a largura de banda mínima B_{tmin} , com a largura de banda total necessária, multiplicado pela largura de banda não utilizada antes, conforme (7).

$$B_{ex_assigned}^t = \sum B_{unused} \cdot \frac{B_{ex_required}^i}{B_{ex_required}} \quad (7)$$

A largura de banda não utilizada na ONU pode ser calculada subtraindo-se o valor do *time slot* correspondente da fila Q_i , o que representa a largura de banda exigida a partir da largura de banda mínima garantida. Nesse caso a largura de banda alocada para $B_{max_allocated}$ de cada ONU será igual ao somatório da Banda Total mínima garantida e a Banda extra assegurada, no caso do pedido da ONU seja menor que o total, a banda alocada será igual ao seu correspondente na fila Q_i , conforme (8).

$$B_{max_allocated}^t = \min\left(\frac{B_{min}^t}{Q_i + B_{ex_assigned}^i}\right) \quad (8)$$

Portanto, a largura de banda máxima para cada uma das ONUs é atribuída dinamicamente, com base na capacidade da rede, níveis de serviço do cliente e seus status nas filas, conseqüentemente, reduz o seu atraso nos pacotes em comparação com os níveis de serviço.

No mesmo contexto, [20], apresenta as características típicas de DBA, tais como a utilização de banda, atraso, jitter com diferentes cargas de tráfego, propondo um padrão para estabelecimento dos quadros para a operação de DBA e as limitações enfrentadas, através de simulações, considerando a evolução de padrões para a sua próxima geração de taxa de 10 Gbps.

Outro trabalho que segue a mesma linha de análise DBA é [21], os autores desenvolvem um estudo para melhoria da eficiência na alocação dinâmica de banda nas redes

GPON, no tratamento dos relatórios de status SR-DBA (status report DBA) e NSR-DBA (non status report DBA), que eleva a medida de desempenho, através das estimativas de throughput e tamanho da fila de buffers por ONUs. SR DBA envia saídas de cálculo em tamanhos de bloco e de células de buffers T-CONT para OLT na hora de fazer upload de transmissão através da ONU. Se o campo que contém informações em tamanhos de bloco e de células de reserva não é relatado, é reconhecido como um código errado. Conseqüentemente a informação sobre a reserva deve ser enviada em SR-DBA; e se a informação não é enviada, o carregamento de dados acima não é reconhecido. NSR-DBA utiliza o método em que a OLT monitora a quantidade de tráfego, a fim de descobrir o status de cada reserva.

A aplicação dos modelos acima é apresentada em [19], [20] e [21]. Para alocação de *time slot* de forma determinística em cada ciclo de transmissão individual das ONUs, de acordo com a demanda de tráfego. Pode-se verificar a largura de banda mínima garantida, a largura de banda máxima e o tempo de atraso máximo. Os resultados obtidos deverão auxiliar a etapa de desenvolvimento de um modelo para DBA de acordo com os níveis e tipos de serviços gerados pelos diferentes perfis de tráfego dos clientes.

3.2.5 Planejamento e Dimensionamento de redes GPON

Para os autores em [22], o problema de otimização deve considerar as restrições das redes de acesso PON em alguns pontos como: (i) a distância máxima de transmissão, (ii) a distância diferencial máxima, e (iii) taxa de divisão óptica. Normalmente, os intervalos de separação óptica têm uma razão de 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, até 1:128. Onde 1: n divisor óptico significa que até u número de ONUs n pode ser conectada ao divisor, dado uma razão de divisão óptica específica. Cada usuário tem garantido uma taxa média de determinados dados. Por exemplo, em um EPON 1:16 cada ONU pode obter uma média de 60 Mbps de taxa de dados. Assim, com o controle da razão de divisão máxima, é possível controlar a banda oferecida para cada usuário ONU. No seu modelo, [22] os autores atribuem que o número total de divisores ópticos não pode ser determinado antecipadamente. Primeiro deve-se verificar todos os padrões em cada ONU, formatando o cluster e grupos de tamanhos iguais de acordo com suas posições geométricas, onde o tamanho de cada grupo é igual à razão de separação óptica máxima. Após a segmentação, o algoritmo de Weiszfeld é aplicado para encontrar a posição ideal para cada divisor PON. Todas as ONUs no mesmo grupo apresentam um divisor comum. Se o número total de ONUs não é um múltiplo inteiro da razão de separação, o número de ONUs no último grupo é menor do que a razão de separação.

Conforme [7], o planejamento de rede com base no comportamento dos usuários deve considerar a diferença de utilização da rede e dos diferentes tipos de clientes. Podemos atribuir de forma eficiente, diferentes comprimentos de onda, obtendo uma melhoria em relação ao método tradicional. Considera que o tráfego é naturalmente elevado e os usuários tendem a se comportar de maneira muito diferente uns dos outros com relação à demanda por largura de banda. Embora os provedores de serviços de Internet (ISP) ofereçam largura de banda 24/7 a todos os usuários, a maioria só utiliza a rede fortemente por uma pequena porção de tempo. Usuários comerciais exigem alta largura de banda durante o dia e pouco à noite. Usuários residenciais, por outro lado, a procura de banda larga, é mais à noite, e pouca durante o dia. Assim, o planejamento com base no comportamento do usuário, nas diferenças por necessidades de banda e o tipo de perfis de tráfego diário dos clientes residenciais e comerciais, reflete no projeto de uma LR-PON com menor número de comprimentos de ondas e mantém a rede funcionando com uma alta taxa de utilização durante todo o tempo.

Para [24], a capacidade de dimensionamento das redes GPON tomou como base a utilização do link no sentido upstream. No entanto, o tráfego gerado pelos clientes residenciais ocorre principalmente em direção downstream. Essa capacidade deve ser cuidadosamente dimensionada para acomodar HDTV, VoD, VoIP e outros serviços básicos, de acordo com a precisão e a capacidade necessária requerida pelos clientes, e a escolha da melhor taxa de divisão óptica. No caso de serviços residenciais estes podem ser implantados sem a disponibilidade de proteção, já no caso de serviços comerciais deve ser prevista a utilização de proteção (Link).

O algoritmo proposto em [22] viabiliza a disposição e o número de divisores ópticos. O planejamento de redes com base no comportamento dos clientes apresentado em [7], e a capacidade de dimensionamento das redes GPON mostrado em [24] serão subsídios para a definição das premissas necessárias ao objeto de estudo desta pesquisa, como: o valor da atenuação máxima atribuída ao enlace óptico, o cálculo da largura de banda disponível, o cálculo da largura de banda mínima, o cálculo da largura de banda assegurada para todas as ONUs, a largura de banda necessária para suprir as necessidades de todos os serviços e aplicações dos clientes de acordo com seu perfil de tráfego. A partir destas premissas, torna-se possível definir no projeto proposto a potência média do transmissor e a sensibilidade do receptor, de forma que seja possível assegurar uma taxa de erro admissível na transmissão óptica.

3.3 Conclusão

Foram abordados neste capítulo alguns trabalhos e referências com relação às técnicas e estudos descritos neste projeto. Os trabalhos apresentados e agrupados conforme tabela 3.2, tratam das características das redes GPONs; do seu alcance e distância entre a OLT e as diversas ONUs; das taxas de divisão óticas e sua relação com os custos operacionais; e a influência na alocação dinâmica de banda, de acordo com o perfil dos clientes e a taxa de operação em gigabit.

Grupo	Referencias
Modelo e Representação das Redes GPON	[26]
Divisão Óptica de Potência	[16],[23]
Distância entre OLT e ONU	[7],[16],[17]
Alocação Dinâmica de Banda	[18],[19],[20],[21]
Planejamento e Dimensionamento de redes GPON	[7],[22],[24]

Tabela 3.2: Agrupamento de trabalhos relacionados

Dentre as referências apresentadas e agrupadas, são destacadas [22], [26], [23], [19], [16] por terem uma similaridade com o projeto proposto. Em [22], os autores apresentam um cenário o qual possibilita avaliar os impactos e as restrições no planejamento de redes PON com observação na separação óptica e a distância máxima de transmissão. Porém, podem ser encontradas algumas restrições. A principal delas é quanto ao número de *splitters* que não pode ser determinado com antecedência. Essa restrição é contornada através de uma abordagem intuitiva de setorização e cortes aleatórios, com aplicação do algoritmo de associação e realocação recursiva, proposto pelos autores.

Este trabalho propõe um cenário que possibilitará no desenvolvimento de um método para planejamento de redes GPON, visando à redução dos custos operacionais, com base na otimização dos dispositivos ópticos passivos, o número ideal de separadores ópticos e sua disposição que poderão ser realizados a partir da análise dos possíveis perfis dos clientes e sua relação com os tipos e níveis de tráfego, gerados de acordo com a capacidade dimensionada para o segmento PON. Os resultados levantados poderão ser confrontados com o método apresentado pelos autores em [22] para validação da proposta.

Capítulo 4

Estudo de Caso

4.1. Introdução

Este Capítulo apresentará um estudo de caso com base no cenário apresentado nos capítulos anteriores, sendo descrito a aplicação teórica das abordagens estudadas, como método para solução do dimensionamento das redes GPON a partir dos custos envolvidos nos diversos elementos que compõe uma rede GPON.

4.2 Cenários do Caso

Para verificar e avaliar a eficiência das abordagens apresentadas foi instituído um método para verificação do processo de planejamento de uma rede de acesso GPON e a otimização nos custos envolvidos na infraestrutura dos enlaces óticos. A figura 4.1 apresenta do fluxograma de representação das etapas do método proposto.

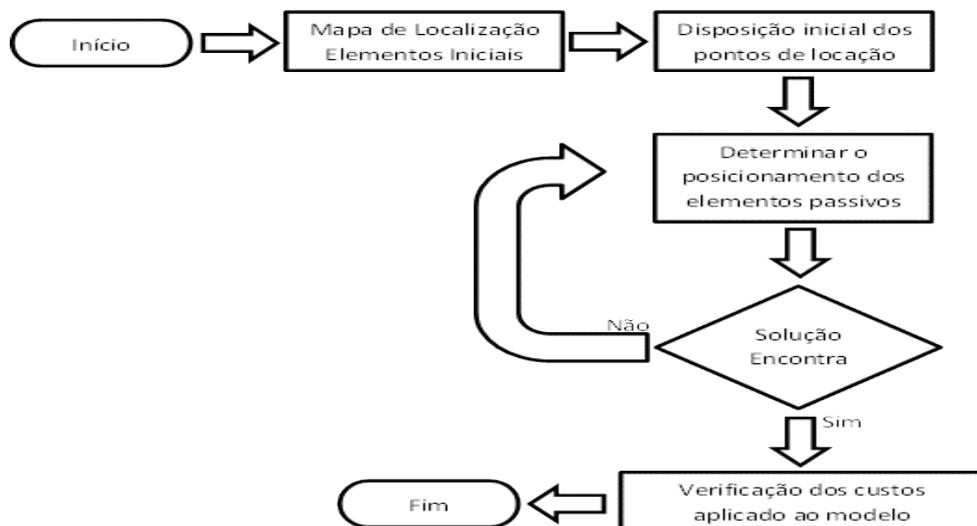


Figura 4.1: Fluxograma do Método

As interações do fluxo do processo de planejamento correspondem à aplicação de um conjunto de operações como: Mapa de Localização e seus elementos iniciais, disposição inicial dos pontos de locação, aplicação de algoritmos para determinar a melhor solução para disposição e otimização dos enlaces ópticos e a partir deste definir as demais estratégias para verificação das atenuações envolvidas no enlace óptico, o orçamento de potência aplicada ao modelo de representação das redes de acesso GPON.

4.2.1. Mapa de Localização

A representação inicial dará uma visão estética da rede de acesso GPON, com seus elementos passivos, OLT e ONUs, posicionados de forma a identificar uma estrutura de distribuição dos serviços de telecomunicações, atendidos por enlaces ópticos.

A utilização de um mapa para locação e disposição dos pontos através das imagens, ilustra a perfeita distribuição dos possíveis clientes, e demais dados disponíveis por uma área geográfica de localização.

A Localidade estudada para mapeamento de imagens foi a Cidade de Boa Vista-RR, utilizando o software Google Ether® para captura montagem dos mapas de locação dos pontos de estudos, conforme figura 4.2.

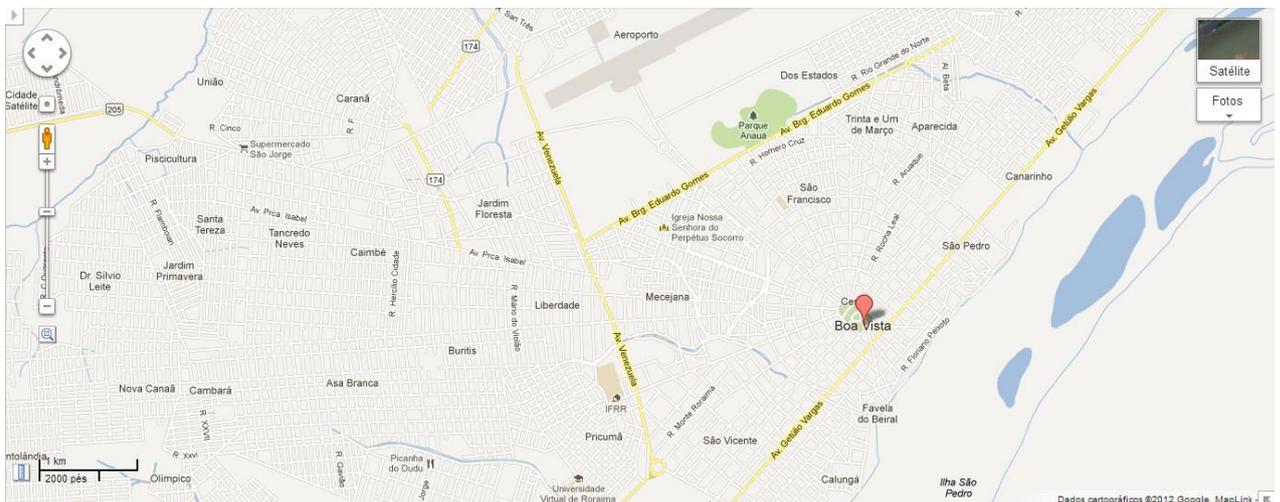


Figura 4.2: Mapa Localização Cidade de Boa Vista – RR

O mapa de localização identifica um cenário prático que compreende uma determinada cidade, onde as ruas são as possíveis vias e as casas/prédios são as possíveis unidades de terminal cliente.

Como parte dessa solução, tanto o caminho como o posicionamento dos divisores ópticos, faz parte dos elementos que formam as redes de acesso GPON. Adotaremos neste caso as notações em grafos, onde a representação será dada a partir de um mapa de localização. A figura 4.3.a e 4.3b, apresenta uma estrutura da distribuição dos elementos passivos e os enlaces óticos da rede de acesso e que estes podem assumir topologias como: barramento, árvore e anel. A topologia a ser adotada, sofre influências de alguns fatores como: a distribuição geográfica dos clientes, o posicionamento dos divisores ópticos, a quantidade e o comprimento de cabos de fibra ótica de ligação entre a OLT e cada uma das ONUs localizada em cada um dos possíveis clientes.

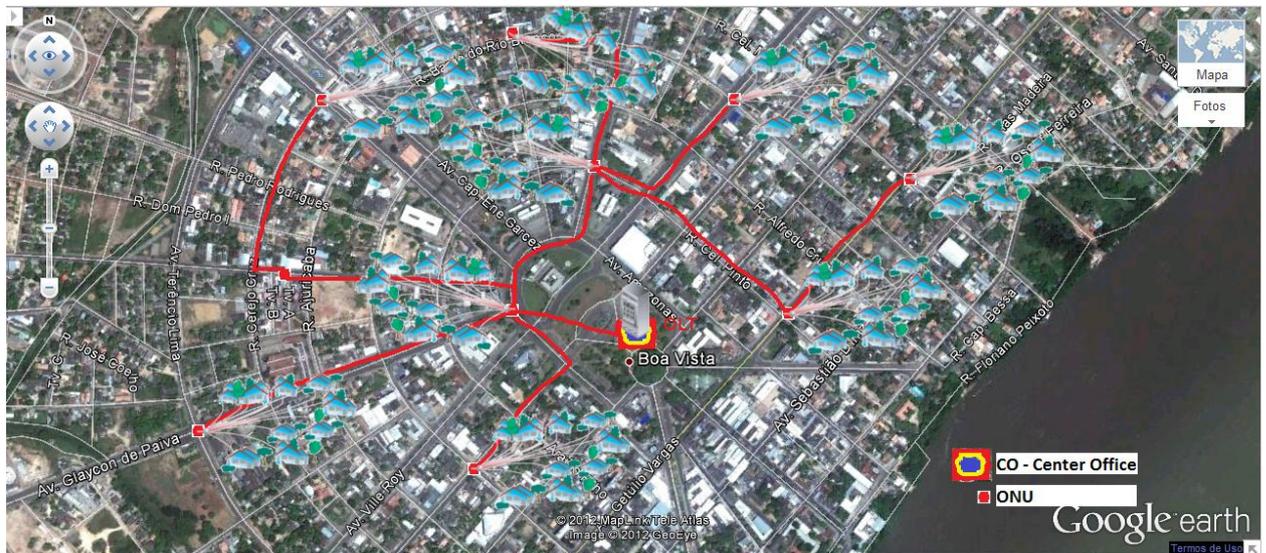


Figura 4.3a: Cenário de uma rede GPON

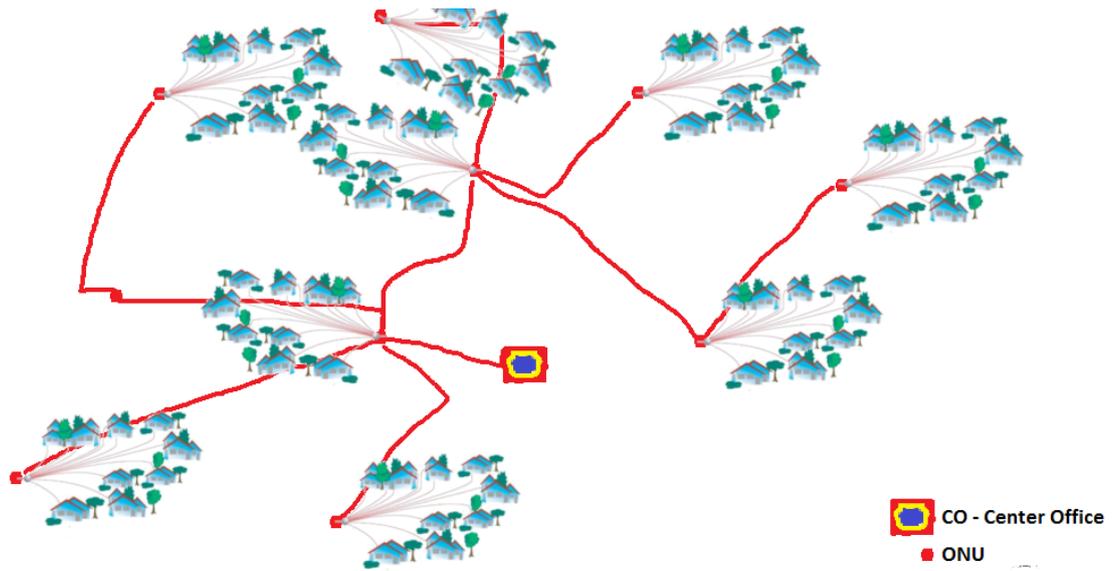


Figura 4.3b: Cenário de uma rede GPON

Alguns parâmetros de entrada devem ser considerados durante o projeto de redes GPON, assim como as principais características dos equipamentos e infraestrutura óptica a ser utilizada. Dentre as principais, temos as condições em que as redes GPON limitam em 20 km a diferença entre as distâncias físicas das ONUs, permitindo até 128 ONUs interligadas por OLT. Para alcançar o número máximo de 128 ONUs ligado a cada OLT utilizamos divisores de potência ópticos simétricos de “n” portas no segundo nível [7], tendo assim, pelo menos dois níveis de derivação, como mostrado na figura 4.4.

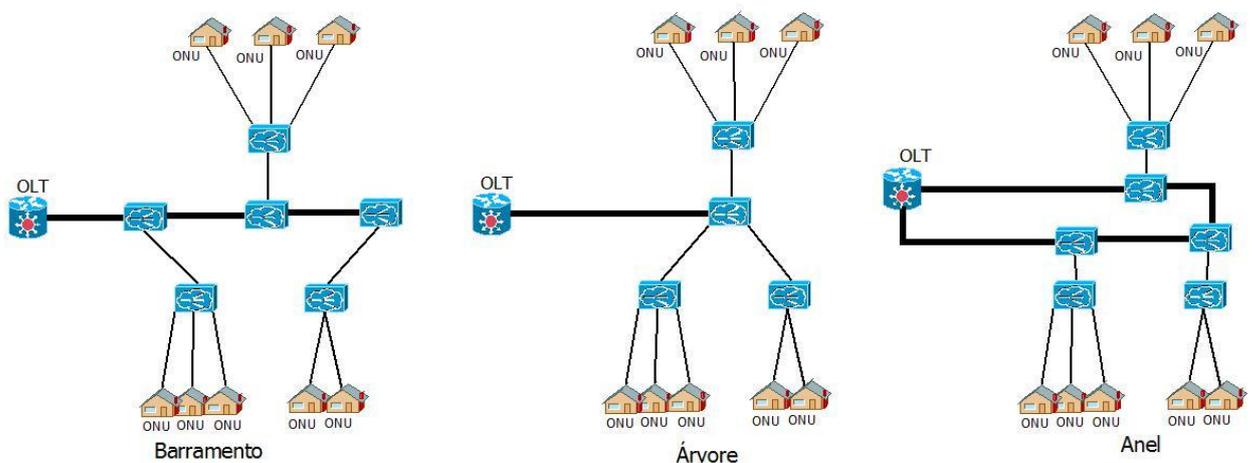


Figura 4.4: Topologia híbrida com dois níveis de derivação

A topologia está associada aos serviços distribuídos, e tem como objetivo principal difundir o mesmo sinal desde o nó onde é gerado (OLT) para todos os outros nós na rede (ONUs). Essa propriedade faz com que nos vários pontos de divisão (SPLITTERS) o sinal seja repetido até atingir o equipamento terminal do cliente (ONU). No entanto ocorrem problemas de colisão entre os sinais enviados pelos vários clientes, sendo necessária a utilização de algoritmos de alocação de tempos para o processo de comunicação [18].

A escolha da topologia indicará o comprimento (em quilômetros) e a metragem de cabos que interligaram a OLT em cada uma das ONUs, podendo ficar definido a quantidade e tipo de divisores de potência a serem utilizados. O processo de otimização nesta etapa condiz nas limitações e alcance dos enlaces físico e lógico das redes óticas. Sendo que no enlace físico está diretamente ligada a topologia e da distribuição dos elementos óticos. A limitação está na atenuação do sinal óptico devido à quantidade de divisores de potência utilizado e a baixa sensibilidade dos receptores que podem influenciar diretamente no comprimento dos enlaces óticos.

4.2.2. Disposição inicial dos pontos de locação

A disposição dos pontos em uma rede de acesso GPON parte do limite imposto pela distribuição geográfica dos clientes, uma vez que cada cliente terá um enlace óptico caracterizado pela saída do CO da rede de alimentação, passando pelo primeiro estágio da rede de distribuição até o seu ramal de entrada a ONU ou rede final, formando assim um link único, sendo que este pode ser considerado como enlace virtual, visto que o link em alguns trechos do enlace físico é compartilhado até a rede final através dos separadores óticos (splitters), sendo que a sua chegada ao cliente, é por cabo isolado e único. A figura 4.5 ilustra essa formação dos links óticos, desde OLT até sua chegada às diversas ONUs.

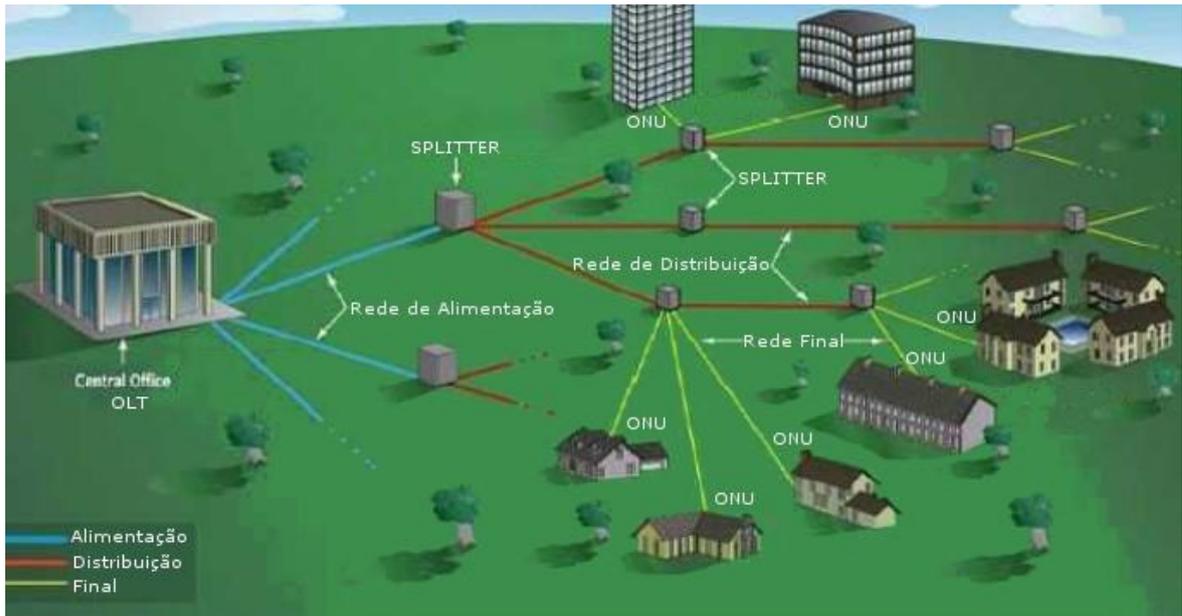


Figura 4.5: Rede de Acesso GPON

A disposição dos pontos em um mapa geográfico de uma cidade, caracterizado em nossa proposta, serve para o dimensionamento da rede de acesso entre os diversos seguimentos de rede apresentado, onde poderemos estimar os custos envolvidos na criação dos enlaces ópticos entre a OLT e as diversas ONUs. A figura 4.6 mostra a locação dos diversos clientes e suas ligações com a Central de Distribuição (OLT).



Figura 4.6: Localização dos possíveis pontos de uma Rede GPON

Com base na localização em mapa pode-se definir por exemplo um quantitativo de 500 (quinhentos) pontos sendo adotado para cada teste a relação de divisão máxima de 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 e 1:64. A razão de separação em uma rede GPON define o número máximo de

ONUs que podem ser interconectada em um mesmo segmento de rede PON, no entanto, deve-se sempre adotar uma determinada folga com relação ao quantitativo de ONUs, e devido às perdas óticas com relação ao segmento PON. A figura 4.7 representa uma distribuição de pontos e separadores ópticos na proporção de 1:4, 1:16 e 1:8, no mapa de localização da Cidade Boa Vista – RR.

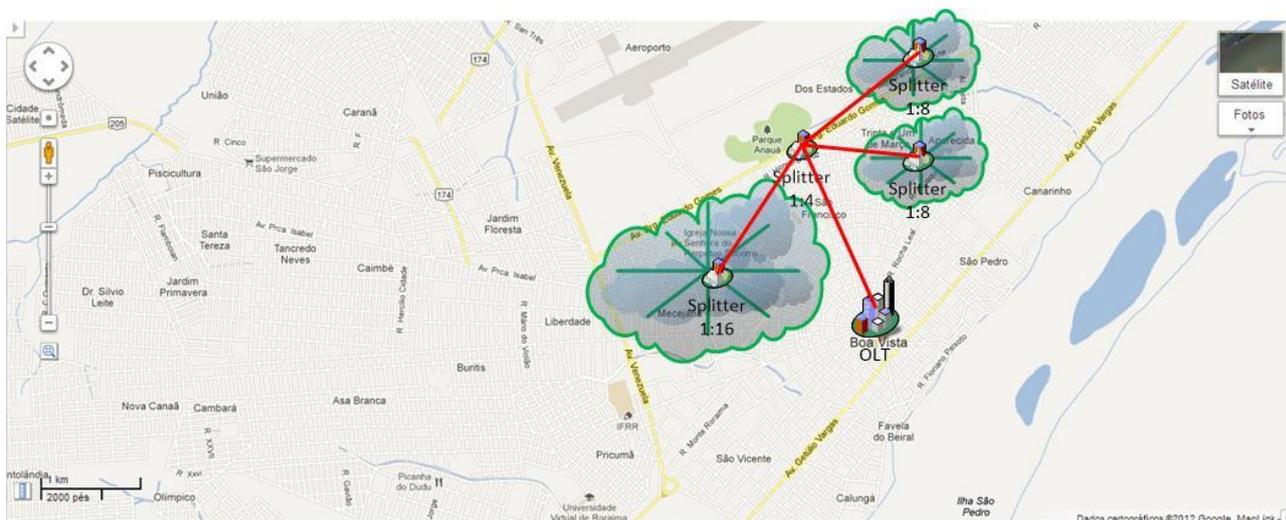


Figura 4.7: Mapa Localização dos pontos e splitters na Cidade de Boa Vista – RR

Com as informações e a distribuição dos clientes podem-se identificar as distancias existentes entre as ONUs e o SPLITTER, uma vez que os dutos e tubulações seguem pelas vias e ruas, junto à malha aérea telefônicas, pelos postes da empresa de distribuição elétrica, ou através de tubulação terrestre, os quais tem sua medição na distância entre os pontos, em Km (quilômetros), ou em unidade de custos, associados às arestas do Grafo, para interligação física e lógica dos enlaces ópticos.

A forma de interligação entre os pontos dos clientes e a central de distribuição, condiz com o orçamento de serviços civis seja de interligação por aluguel de pontos em postes ou por escavação de dutos de ligações entre clientes e a central de distribuição. Neste ponto, os custos envolvidos no projeto de dimensionamento estão diretamente relacionados à estrutura física dos enlaces ópticos.

4.2.3 Estimativa dos Custos

Para as estimativas de custos, optou-se por utilizar apenas a segmentação dos enlaces ópticos os quais representam a parcela mais significante do projeto de redes GPON.

A identificação da melhor solução para os custos envolvidos nos enlaces ópticos parte do problema de caminhos mais curto partindo de uma origem, que a partir da implementação do algoritmo de Kruskal [31], figura 4.8A e B, demonstra a heurística dos algoritmos os quais começam com uma floresta de árvores formadas por apenas um vértice e procura, a cada passo, uma aresta que, além de conectar duas árvores distintas de um domínio, possua peso mínimo. Assim, determinam-se os custos mínimos deste vértice aos demais vértices do grafo, através da associação dos pesos a estes, podemos identificar as distâncias em segmentos de redes e por com seguinte os enlaces ópticos e o comprimento em km (quilômetros) de fibra utilizado para a interligação, e definir a melhor estratégia de infraestrutura a ser aplicada na planta externa, para essa interligação.

```

MST-KRUSKAL( $G, w$ )
1 A := {}
2 for cada vértice  $v$  em  $V[G]$ 
3     do MAKE-SET( $v$ )
4 Ordene as arestas de  $E$  em ordem crescente de peso ( $w$ )
5 for cada aresta  $(u, v)$ , tomadas em ordem crescente de peso ( $w$ )
6     do if FIND-SET( $u$ ) != FIND-SET( $v$ )
7         then A := A união  $\{(u, v)\}$ 
8             UNION( $u, v$ )
9 return A

```

Figura 4.8A Algoritmo de Kruskal [31]

```

MST-PRIM( $G, w, r$ )
1 for cada  $u$  em  $V[G]$ 
2     do chave[ $u$ ] := infinito
3     pai[ $u$ ] := NIL
4 chave[ $r$ ] := 0
5  $Q$  :=  $V[G]$ 
6 while  $Q$  != {}
7     do  $u$  := EXTRACT-MIN( $Q$ )
8     for cada  $v$  em Adj[ $u$ ]
9         do if  $v$  pertence a  $Q$  e  $w(u, v) <$  chave[ $v$ ]
10            then pai[ $v$ ] :=  $u$ 
11                chave[ $v$ ] :=  $w(u, v)$ 

```

Figura 4.8B Algoritmo de Prim [31]

Para a verificação dos algoritmos temos como entrada a estrutura de dados de conjuntos disjuntos para testar a conectividade entre dois vértices e se estes pertencem a um mesmo domínio. A princípio, o conjunto de arestas é ordenado em ordem crescente de peso. As arestas são pegadas uma a uma, em ordem, e o algoritmo executa uma chamada da função FIND-SET(u) para cada vértice adjacente a elas. Se os vértices não pertencerem ao mesmo conjunto/domínio, o que significa que a aresta une vértices de componentes distintas, a aresta é inserida em A e os conjuntos de u e v são unidos com uma chamada do procedimento UNION. Ao final do algoritmo temos as possíveis interligações com menor custo entre um ponto de seleção e os possíveis domínios de rede. A figura 4.9 representa a matriz de distância simétrica entre alguns pontos no mapa de localização a partir da aplicação do algoritmo de Kruskal.

Origen\Destino	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0		894.43	1442.22	1264.91	1264.91	2039.61	2912.04	3577.71	4079.22	2828.43	3417.6	2529.82	2262.74	3124.1	2683.28	2000	800	2561.25
1	894.43		565.69	1649.24	894.43	1442.22	2332.38	3124.1	3417.6	2000	2529.82	1649.24	1442.22	2332.38	2039.61	1788.85	894.43	2884.44
2	1442.22	565.69		2154.07	1200	1442.22	2262.74	3124.1	3224.9	1649.24	2039.61	1200	894.43	1788.85	1600	1697.06	1200	3046.31
3	1264.91	1649.24	2154.07		1131.37	1788.85	2433.11	2828.43	3622.15	2884.44	3687.82	2828.43	3046.31	3939.54	3687.82	3224.9	2039.61	3773.59
4	1264.91	894.43	1200	1131.37		800	1649.24	2332.38	2828.43	1788.85	2561.25	1697.06	2039.61	2912.04	2800	2683.28	1697.06	3687.82
5	2039.61	1442.22	1442.22	1788.85	800		894.43	1697.06	2039.61	1131.37	2000	1264.91	2039.61	2800	2912.04	3124.1	2332.38	4326.66
6	2912.04	2332.38	2262.74	2433.11	1649.24	894.43		894.43	1200	1200	2039.61	1649.24	2683.28	3298.48	3577.71	3959.8	3224.9	5215.36
7	3577.71	3124.1	3124.1	2828.43	2332.38	1697.06	894.43		1131.37	2039.61	2800	2529.82	3577.71	4176.12	4472.14	4816.64	4000	6000
8	4079.22	3417.6	3224.9	3622.15	2828.43	2039.61	1200	1131.37		1697.06	2154.07	2262.74	3394.11	3773.59	4252.06	4882.62	4308.13	6260.99
9	2828.43	2000	1649.24	2884.44	1788.85	1131.37	1200	2039.61	1697.06		894.43	565.69	1697.06	2154.07	2561.25	3224.9	2828.43	4681.88
10	3417.6	2529.82	2039.61	3687.82	2561.25	2000	2039.61	2800	2154.07	894.43		894.43	1649.24	1697.06	2332.38	3298.48	3224.9	4866.21
11	2529.82	1649.24	1200	2828.43	1697.06	1264.91	1649.24	2529.82	2262.74	565.69	894.43		1131.37	1649.24	2000	2683.28	2400	4176.12
12	2262.74	1442.22	894.43	3046.31	2039.61	2039.61	2683.28	3577.71	3394.11	1697.06	1649.24	1131.37		894.43	894.43	1649.24	1788.85	3224.9
13	3124.1	2332.38	1788.85	3939.54	2912.04	2800	3298.48	4176.12	3773.59	2154.07	1697.06	1649.24	894.43		800	2039.61	2561.25	3622.15
14	2683.28	2039.61	1600	3687.82	2800	2912.04	3577.71	4472.14	4252.06	2561.25	2332.38	2000	894.43	800		1264.91	2000	2828.43
15	2000	1788.85	1697.06	3224.9	2683.28	3124.1	3959.8	4816.64	4882.62	3224.9	3298.48	2683.28	1649.24	2039.61	1264.91		1200	1600
16	800	894.43	1200	2039.61	1697.06	2332.38	3224.9	4000	4308.13	2828.43	3224.9	2400	1788.85	2561.25	2000	1200		2000
17	2561.25	2884.44	3046.31	3773.59	3687.82	4326.66	5215.36	6000	6260.99	4681.88	4866.21	4176.12	3224.9	3622.15	2828.43	1600	2000	

Figura 4.9: Matriz de Distancia (simétrica)

Podemos identificar dentre todos os possíveis links de acesso existente entre cada domínio, aquele que tem o menor custo total que atenda a infraestrutura de acesso entre os possíveis domínios de usuários e a central de distribuição. A figura 4.10, caracteriza a melhor solução encontrada para o modelo apresentado.

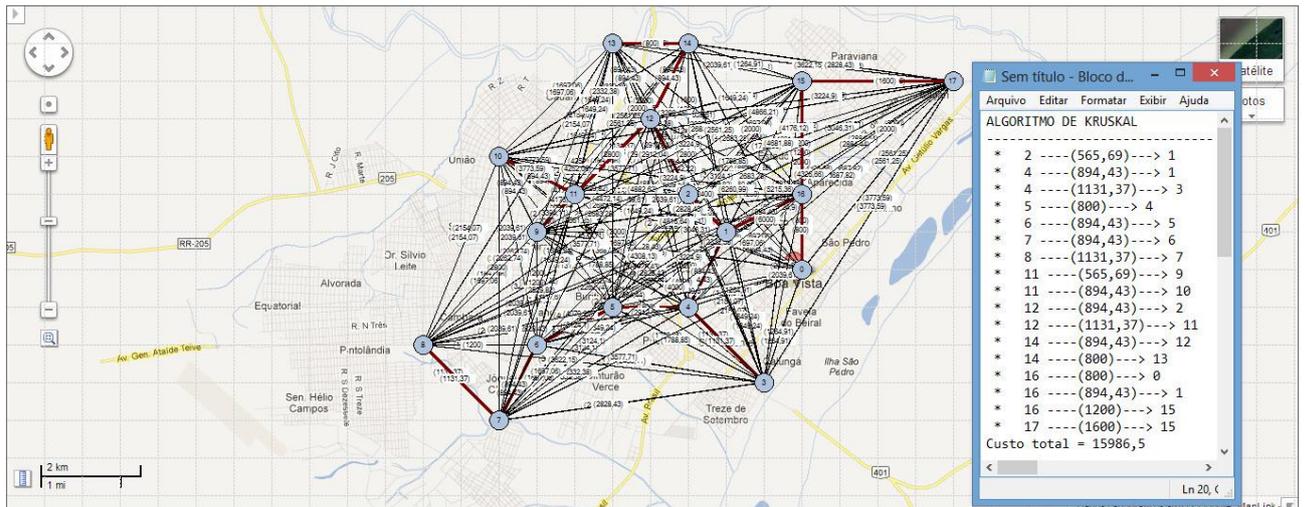


Figura 4.10: Melhor Solução (Algoritmo Kruskal)

O Custo total verificado com aplicação dos algoritmos identifica a melhor solução para os segmentos dos enlaces ópticos que possa atender todos os possíveis pontos. A localização dos nós de distribuição praticamente nos "centros" dos grupos, com a menor distância total de todos os membros do grupo. Normalmente, é uma predefinição da melhor posição em um conjunto de locais.

4.2.4 Representações do Projeto.

Com a definição do enlace óptico, podemos definir os demais pontos a partir da representação do projeto. Assim como em [26], quando delimitado as distâncias de separação entre a Central de Distribuição e o separador óptico mais distante, e a distância máxima entre os possíveis terminais clientes e os elementos passivos ópticos, pode-se determinar o dimensionamento dos transmissores e receptores de potência óptica para atender a largura de banda demandada por todos os clientes, mantendo uma proporção de crescimento. Para uma análise mais detalhada teórica temos que no mapa de localização será povoado com uma estrutura de até 2000 clientes, sendo agrupados de forma a manter uma diferença em grupos pequenos, médios e grandes; identificado da seguinte forma: grupo pequeno será formado por empresas ou pessoas de até 06 usuários em média, grupo médio será formado por empresas ou pessoas de até 60 usuários em média, e um grupo grande será formado por empresas ou pessoas de até 2000 usuários em média. O tráfego adotado segue conforme tabela 4.1 para cada grupo de usuários.

Tipo	Trafego		
	Grupo Menor (6)	Grupo Médio (60)	Grupo Maior (2000)
Web	0.9 MB	1.35 MB	1.8 MB
e-mail	15 kB	150 kB	500 kB
FTP	5 kB	7 MB	7 MB
Fax	4 kB	4.8 kB	4.8 kB
Total/pessoa	5.919MB	8.505 MB	9.3045 MB
Total/empresa	35.514 MB	510.3 MB	18609 MB

Tabela 4.1: Tabela de trafego proposto [26]

Para atendimento dos serviços destacados na tabela 4.1, temos que a largura de banda disponibilizada para cada um dos clientes, representados por suas ONUs deve ser determinada pela OLT, e suas subdivisões óticas ao longo do enlace óptico. A largura de banda assegurada na saída de cada divisor óptico passivo deve dar suporte ao tipo de serviço contratado.

Na aplicação teórica, o mapa de localização nos dá o ponto de melhor localização do divisor óptico splitters e sua razão de separação, dentro dos padrões especificados pela ITU-T [9,12,13,15]. Podemos associar informações a esta distribuição e obter como resposta: a distância do link óptico da central de distribuição até cada uma das ONUs; atenuação da potência ao longo deste enlace óptico, através dos separadores ópticos, emendas e conectores; potência de transmissão e a sensibilidade dos receptores utilizados; e por fim, os possíveis custos associados com o projeto.

Considerando os dados apresentados na tabela 4.1 para formulação do modelo, a figura 4.11 ilustra a representação esquemática da rede GPON.

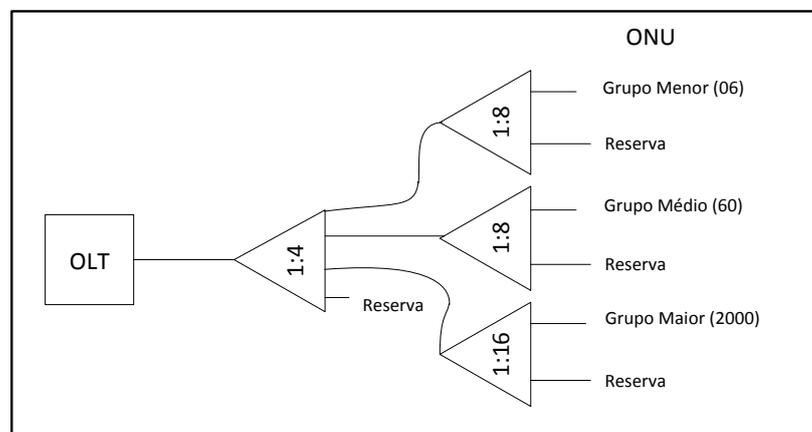


Figura 4.11: Representação esquemática do projeto

De acordo com as abordagens se considerarmos a distância máxima de 20 km entre a OLT e a ONU mais distante, onde a largura de banda disponível segue o padrão de 2,5 Gbps para a OLT já com os fracionamentos ao longo do caminho na proporção de cada separador óptico, atenderemos todos os possíveis usuários finais com largura de banda suficiente para os possíveis serviços e sem aplicar serviço de QoS para garantir uma largura de banda maior a clientes especiais. A partir desta representação podemos verificar a largura de banda necessária garantida para cada segmentação da rede.

4.2.5 Largura de Banda Necessária.

Para assegurar a medida da capacidade de transmissão temos que o primeiro separador óptico terá uma largura de banda assegurada na proporção de 1:4 na saída, dada pelo seguinte cálculo (9):

$$\frac{2500Mbps}{4canais} = 625Mbps \quad (9)$$

Com 625 Mbps na saída do primeiro divisor de potência, garantindo ainda um canal de reserva com a mesma proporção para ser aplicado como uma rota alternativa ou de melhoria na prestação dos serviços, de acordo com a necessidade da rede. Na sequência temos os separadores de cada grupo, que podemos observar que para o Grupo Menor, teremos uma separação na proporção de 1:8, obtendo como saída uma largura de banda de (10):

$$\frac{625Mbps}{8canais} = 78,12Mbps \quad (10)$$

A mesma proporção da largura de banda do grupo menor também é assegurada para o Grupo Médio. A diferença maior em largura de banda será para a proporção ao Grupo Maior, onde a separação óptica está com razão de 1:16, garantindo assim na saída do separador óptico a seguinte largura de banda (11):

$$\frac{625Mbps}{16canais} = 39,06Mbps \quad (11)$$

A largura de banda assegurada nos pontos de terminação tendo apenas uma OLT como fonte, satisfaz todas as aplicações de rede o que supre hoje com qualquer sistema de transmissão de voz, dado e multimídia em um único canal de banda larga.

Nos enlaces óticos, a cada derivação a partir da segmentação dos links por splitters, obtemos um índice de atenuação do sinal, seja este por conectorização ou segmentação da fibra ótica.

4.2.6 Atenuação e Potência óptica.

Atenuação óptica sofrida ao longo do enlace enquadra-se como elementos que contribuem para as perdas do sinal óptico. Que podem ser ocasionados devidos suas principais características construtivas, encontrados principalmente nas emendas, conectores, nos elementos passivos e nas próprias características das fibras óticas.

A atenuação óptica torna os enlaces óticos limitados em comprimento pela atenuação do sinal óptico e a capacidade de transmissão do sinal.

Na representação teórica, temos que a taxa de fracionamento de 1:4 como elemento passivo mais próximo da OLT e durante o segmento, porém pode ser adotada ainda a taxa máxima de fracionamento de 2 divisores óticos passivos para cada grupo, ficando da seguinte forma:

Grupo Menor: 1:4 e 1:8 totalizando uma taxa máxima de 1:32;

Grupo Médio: 1:4 e 1:8 totalizando uma taxa máxima de 1:32; e,

Grupo Maior: 1:4 e 1:16 totalizando uma taxa máxima de 1:64.

Pode-se verificar ainda que para cada grupo e suas respectivas taxas máximas de fracionamento obtidas no enlace óptico (12, 13,e 14), temos o valor da atenuação total para cada grupo conforme a taxa máxima de separação óptica adotada, de possível verificação pela formula apresentada no capítulo 2 subseção 2.2.1 :

Grupo Menor:

$$10 \bullet \text{Log}(32) = 15,05\text{dB}; \quad (12)$$

Grupo Médio:

$$10 \bullet \text{Log}(32) = 15,05\text{dB}; \quad (13)$$

Grupo Maior:

$$10 \bullet \text{Log}(64) = 18,06\text{dB}. \quad (14)$$

Esses valores apresentados por cada grupo condizem com as perdas do sinal ao longo do enlace óptico, onde o somatório das perdas, juntamente com os valores para cada tamanho do link de fibra, e os valores envolvidos nas conexões, emendas ou fusões, define qual a melhor potência e a sensibilidades dos transmissores e receptores, de forma que o sistema atenda todos os usuários, dentro de um custo aceitável e dentro das taxas de erro de bit recomendadas pela ITU-T [9].

Identificado às atenuações envolvidas na taxa de separação adotadas nas perdas com as emendas/conectores, de acordo com tamanho da fibra utilizada no enlace óptico, e a atenuação no tipo de fibra. Podemos determinar o orçamento de potência e dBm, levando em consideração o tamanho do enlace óptico, dado em km.

Neste cenário foi verificado em duas situações, a primeira para uma distância máxima 10 Km entre a OLT e as ONU e a segunda em 20 km sendo o valor máximo recomendado pela ITU-T.

Para 10 Km de enlace óptico com taxa máxima de 1:32 e coeficiente da fibra de 0,4dB/km é dado por (15):

$$P = (0,4 \bullet 10) + 15,05 + (6 \bullet 0,5) = 22,05 \text{ dB} \quad (15)$$

Para 20 Km de enlace óptico com taxa máxima de 1:32 e coeficiente da fibra de 0,3dB/km é dado por (16):

$$P = (0,3 \bullet 20) + 15,05 + (6 \bullet 0,5) = 24,05 \text{ dB} \quad (16)$$

Os mesmo procedimentos são adotados para a taxa de separação óptica de 1:64 obtendo:

Para 10 Km de enlace óptico com taxa máxima de 1:64 e coeficiente da fibra de 0,4dB/km é dada por (17):

$$P = 25,06 \text{ dB} \quad (17)$$

Para 20 Km de enlace óptico com taxa máxima de 1:64 e coeficiente da fibra de 0,3dB/km é dada por (18):

$$P = 27,06dB \quad (18)$$

As perdas suportadas pelos equipamentos que é a potência média com relação aos transmissores e a sensibilidade do receptor, e a diferença com a atenuação total do sistema ao longo do link óptico, que identifica a margem de desempenho do sistema, indicando que o sistema irá operar corretamente dentro da razão de divisão óptica de cada enlace óptico, uma vez que as perdas suportadas pelos equipamentos sejam superiores ao valor de atenuação máxima do sistema.

Considerando os cálculos apresentados e as normatizações da ITU-T, desta forma pode-se garantir o funcionamento do projeto dentro das margens adota de teste de 10 km e 20 km. As perdas máximas ocasionadas ao sinal óptico no projeto, desde a OLT até as respectivas ONUs estão de acordo com os padrões e recomendações conforme [9,12,13,15]:

- Potência média de transmissão ONU -2,00 dBm;
- Taxa de erro de bit (BER) 10^{-12} ;
- Sensitividade do receptor OLT -29,00 dBm operando 2,5Gbps para um comprimento de onda de 13100nm;
- Taxa de fracionamento 1:4, 1:8 e 1:16. Admitindo a taxa máxima de fracionamento de 2 divisores ópticos sendo (1:4 e 1:8 = 1:32) e (1:4 e 1:16 = 1:64);
- Número de conectores sendo 2 para cada unidade de ONU e 2 para cada junção nos splitters. Com taxa de perda a 0,5 dBm ao longo do link óptico.

Para o cenário, a potência média demanda no sistema é resultante da sensibilidade do transmissor OLT e da potencia de transmissão das ONUs, levando em consideração todas as atenuações sofridas ao logo do link óptico. Para o calculo adotando o link máximo de 10 km de distância obteve 23,55 dBm que é resultante da média potência demandada para a distancia de 10km com 32 ONUs(15) e 64 ONUs(17). E para a distância de 20 km a média ficou em 25,55 dBm, que é resultante da média da potência demandada para a distancia de 20km com 32 ONUs (16) e 64 ONUs (18). Mantendo uma margem média de aproximadamente 3,45 dBm para o desempenho do sistema, sendo esta a diferença necessária para que o sistema supere outras eventuais perdas para manter a taxa de bit de erro com a taxa de 10^{-12} .

Basicamente foi verificado que a distância de 20km não é uma limitação física do alcance da rede, e que esta limitação está relacionada com as características óticas da rede,

dependendo da atenuação da fibra no tráfego downstream e upstream, da potência de saída do transmissor, da sensibilidade do receptor usado e do número de ONUs ligado ao OLT. Mantendo assim uma velocidade média assegurada para cada canal de comunicação, sendo para os primeiro 4 canais uma média de 625Mbps, dado em (9), para 8 canais uma média de 78,12Mbps, dado em (10) e para 16 canais uma média de 39,96 Mbps, dado em (11).

No entanto, com o aumento do número de clientes o alcance físico da rede diminui devido às perdas existentes nos elementos passivos e no processo de conectorização por km, pois se tem o dobro de utilizadores na rede por cada decréscimo de 3dBm, devendo-se também às perdas dos dispositivos com grande quantidade de número de portas de saída (como exemplo no caso de se ter um edifício residencial ou comercial).

4.3 Conclusão

Neste ponto, descrevemos a partir da utilização das teorias apresentadas, um método para otimização dos custos envolvidos nos enlaces ópticos das redes GPON e a partir deste, seus principais pontos de otimização como: menor distancia entre os segmentos PON, largura de banda, atenuação e potência óptica.

O método teórico utiliza o mapa de localização e as informações como posição dos clientes/ONU, disposições dos divisores ópticos, para gerar a entrada para que algoritmos como o de Kruskal possa determinar a árvore geradora de custo mínimo. Identificando assim o ponto com a menor distância entre os demais, elegendo este como a localização principal para o dispositivo passivo de separação óptica (splitter). Com a posição fixada de cada ONU, podemos dispor de uma planilha de localização, que determinar os possíveis posicionamentos das diversas ONUs em uma planta de locação e sua similaridade como os demais pontos.

Determinando assim o principal link de comunicação com as regiões de domínio. A identificação destes domínios nas plantas de locação, passa pela identificação do menor caminho entre os elementos de distribuição ótica e a CO (Central Office) de serviços. Gerando os custos da parte mais significativa de um projeto de redes GPON, que são determinados pelos enlaces óticos, dados pela dimensão de fibra ótica utilizada e da infraestrutura necessária para estas interligações.

Capítulo 5

Proposta de Algoritmo para Planejamento de Redes GPON

5.1. Introdução

Neste apresentamos nossa proposta para planejamento ótimo de redes GPON. A solução computacional apresentada não leva diretamente em conta todos os elementos discutidos no capítulo 4. Aspectos como controle de atenuação e controle de banda foram deixados de fora do algoritmo proposto neste capítulo, pois ele se restringe ao caso onde cada PON é formada por um único splitter. O algoritmo proposto substitui essas métricas por um controle no nível máximo de divisão ótico e na utilização do comprimento total de enlaces de fibra ótica como métrica de custo. O custo das fibras óticas é predominante na construção de abrangência metropolitana. Essas hipóteses simplificadoras são as mesmas adotadas no estudo proposto em [26]. Contudo, o algoritmo proposto é uma melhoria do trabalho descrito em [26], pois apresentada uma forma heurística muito mais eficiente para otimizar a rede GPON. Isso permitirá que trabalhos futuros incluam os diversos elementos teóricos descritos no capítulo 4. Em resumo o algoritmo proposto tem por objetivo determinar a posição ótima dos separadores óticos de potência e da OLT de forma a minimizar os custos de implantação de uma rede GPON de dimensões metropolitanas.

5.2. Formulação do Problema

A formulação do problema parte da representação das redes GPON a partir da teoria de grafos, onde poderemos assim, otimizar o posicionamento dos divisores de potência (splitters), identificando a melhor taxa de separação em consideração a menor distância entre as ONUs de uma mesma PON. Essa representação utilizará como valor absoluto de grandeza

e medida as distâncias dos enlaces ópticos existentes entre o OLT e as diversas ONUs de forma que possamos determinar os custos totais do projeto. Optamos por utilizar as grandezas dos enlaces ópticos como a melhor referência para determinação e otimização destes custos. Uma vez que a distância de cada segmentação de fibra óptica utilizada na infraestrutura para interligação das ONUs entre a central de distribuição CO que formam as PONs torna-se a representação mais significativa dos custos em um Projeto de Redes GPON.

Para tanto alguns aspectos devem ser colocados, como:

5.2.1 Clusterização

Assim como no problema tratado em [26], a rede GPON será dividida em PONs com um único nível de splitter ótico. Dessa forma, o problema consiste em determinar a qual PON cada ONU irá pertencer. O processo de agrupamento de ONUs em PONs é feito por clusterização.

As técnicas de clusterização neste caso consistem em analisar as informações geradas a partir do mapa de localização para uma distribuição de diferentes pontos de usuários em uma rede PON, classifica-los em grupos (clusters). O agrupamento de dados é um tipo especial de classificação exclusivo, onde cada ponto pertencerá a exatamente um único cluster. É do tipo não supervisionado (Intrínseco), pois se utiliza da matriz de proximidade, não necessitando de nenhum conhecimento prévio sobre a classificação dos pontos. Esse processo tem na sua formação do tipo Particional, que se dá pela junção dos pontos em grupos/cluster [35].

Uma solução inicial para o problema de clusterização pode ser feita utilizando algoritmos clássicos como KMeans, e utilizando a distância entre as ONUs como métrica de similaridade. O splitter ótico para cada PON pode ser determinado como a mediana geométrica das ONUs, que tem como propriedade minimizar a distância total entre o splitter e as ONUs.

Contudo essa abordagem não resulta em resultados ótimos, uma vez que ela não permite encontrar o nível de divisão ótico em cada PON, que é dependente da quantidade de ONUs conectadas no mesmo splitter. Adicionalmente, a distância entre os splitters e a OLT também precisa ser otimizada.

Dessa forma, o algoritmo proposto utiliza uma abordagem heurística onde as ONUs serão distribuídas e realocadas iterativamente em clusters. Além dessas características o algoritmo proposto terá outras características importantes para seu funcionamento por ser um algoritmo heurístico que trata a transformação de um problema de agrupamento em um

problema de otimização, e necessita que sejam estabelecidos critérios de convergências que evitem soluções de mínimo local.

No algoritmo proposto, o agrupamento das ONUs em PONs é feita utilizando algoritmo *k-médio* que consiste em um conjunto de n pontos em um parâmetro k , como entrada e um conjunto de X consistindo em k pontos-centroides (cluster centers) que minimizam o erro quadrático da distorção $d(V,X)$ para todas as possíveis escolhas de X [35].

A posição dos splitters é determinada como a mediana geométrica de cada PON, e a OLT como a mediana geométrica dos splitters. Com base na posição dos splitters e da OLT, é feito o cálculo do comprimento total dos enlaces óticos entre a OLT e os splitters, e entre os splitters e as ONUs.

5.2.2 Heurística de Re-Clusterização

A solução inicial obtida pelo K-Médio não leva em conta o nível máximo de divisão ótico imposto para cada PON. A re-clusterização consistem em mover as ONUs de uma PON para outra sempre que a divisão ótica de uma PON for excedida.

Em seguida, a posição dos splitters é recalculada como sendo a mediana geométrica das novas PONs, e a clusterização é refeita conectando-se as ONUs no splitter que estiver mais próximo, e não mais através do K-Means. As PONs resultantes tem uma nova mediana geométrica, e esse processo pode ser repetido de forma iterativa gerando várias soluções diferentes para o problema. A melhor solução encontrada durante essas iterações é considerada a solução do problema.

5.2.3. Algoritmo Proposto

O Algoritmo Proposto parte de uma entrada aleatória de ONUs, alocados em um plano cartesiano, identificados por suas posições geométricas. O algoritmo determina a posição e o tipo de cada splitter, identifica como as ONUs estão conectadas a cada Splitter e calcula os custos totais da rede.

Para tanto o algoritmo proposto, utiliza-se de um número finito de iterações, para verificar um mínimo e um máximo de ligações que um splitter pode ter a partir da menor ou maior taxa de divisão. Esse processo gera um conjunto de interações o algoritmo reposiciona os splitters na rede utilizando a mediana geométrica, define a ligação das ONU por proximidade, formando clusters. Determinando assim os custos da rede dentro do número de interações.

A principal diferença entre o algoritmo proposto e aquele apresentado em [26] está na heurística de reposicionamento das ONUs. Enquanto [26] adota um processo pseudo-aleatório para reposicionar as ONUs nas PONs, o algoritmo proposto utiliza uma estratégia baseada no reposicionamento feito por ordenação de distância. Observe que mover uma ONU de uma PON para outra pode resultar em enlaces óticos muito longos, se a ONU escolhida para ser reposicionada não tiver uma boa solução alternativa. Assim, de acordo com a estratégia proposta, a ONU escolhida para ser reposicionada é aquela que representará o menor impacto em termos de custo de realocação. O método é definido como segue:

- a) Determinar o nível de congestionamento de todas as PONs
- b) Ordenar todas as ONUs de acordo com os seguintes critérios: 1) ONU pertencente ao splitter mais congestionado 2) Distância entre a ONU e o segundo splitter mais próximo (isto é, o candidato a realocação).
- c) Reposicionar as ONUs de acordo com o critério acima até que nenhuma PON tenha excedido seu nível máximo de divisão

Algoritmo Proposto

1. NP{ } #Lista das posições das ONUs
2. SP{ } #Lista das posições dos Splitters
3. OLT{ } #Lista das posições da OLT
4. Posicionar os Splitters Aleatoriamente na rede
5. Para cada ONU FACA
 6. Determinar (Posição) dos Splitters
 7. Determinar (Distancia) entre as ONUs e os Splitters
 8. Determinar (Posição) da OLT
 9. Retorne (Tamanho) da fibra em metros
10. FimPara
11. Determinar o numero de ONUs por Splitter
12. Iniciar Locação dos Clusters (k-means){
 13. as ONUs são agrupadas pela Distancia
 14. cada Splitter tem sua Posição definida pela mediana geométrica das posições em uma mesma PON
 15. a Posição da OLT é definida a partir da mediana geométrica das posições dos Splitters
 16. Determina os custos da rede
 17. }
18. Iniciar a melhor solução {
 19. Melhor Solução←{SP, OLT, {}, custos}
 20. }
21. Re-Clusterização{

22. Reposiciona os splitters dentro da PON
23. Verifica a convergência dentro da Melhor Solução
24. Se Existir duas soluções consecutivas com o mesmo custo
25. Convergir como Melhor Solução
26. }
27. Retorna Melhor Solução Encontrada
28. Fim

Em resumo, o algoritmo proposto visa localizar a melhor solução para a otimização dos enlaces ópticos que interligam as diversas ONUs ao Centro de Distribuição CO, através de agrupamento (clusters) definidos por um conjunto de propriedades numéricas, de tal forma que os as ONUs dentro de um grupo são mais semelhantes do que as ONUs em diferentes grupos. Para tanto, o algoritmo proposto utiliza-se critérios para medir a similaridade das ONUs, e realoca-los de acordo com a capacidade de cada splitter, buscando o melhor posicionamento dos splitter de forma a chegar a melhor solução para os custos na rede.

5.3 Conclusão

Neste capítulo foi apresentado o Algoritmo Proposto, com a finalidade de encontrar a melhor solução para disposição dos separadores ópticos de forma a otimizar dos custos envolvidos no segmento dos enlaces ópticos de interligação das ONUs com a Central de Distribuição CO.

Capítulo 6

Avaliação do Algoritmo Proposto

6.1. Introdução

Nesta seção será apresentada uma avaliação do algoritmo proposto no Capítulo 5. Como os ganhos do algoritmo proposto em relação a literatura [26] não são relativos aos resultados, mas sim ao desempenho, esta seção não irá mostrar uma comparação entre os resultados obtidos com o algoritmo proposto e a literatura.

6.2 Avaliação

Para aplicando dos passos do algoritmo proposto, partimos de um cenário com 500 ONUs sendo estas geradas aleatoriamente, e os processos sendo aplicados 100 vezes para encontrar a melhor solução do problema de otimização gerado para atender todas as ONUs no menor custo possível. Sendo estes custos ligados diretamente ao dimensionamento dos enlaces ópticos que interligam todas as PONs.

Formalização dos dados de entrada:

Número de ONUs { 500 }

Posição de Cada ONU { Gerada Aleatoriamente }

Número de kluster { ?? }

Capacidade de cada cluster { $C \times K$ }, sendo C { 2, 4, 8, 16, 32 e 64 }

Número Máximo de Interações { 100 }

Para este foi adotado uma formação inicial de 8 clusters, no entanto a melhor solução para otimização dos custos foi encontrada pelo algoritmo proposto para a formação 10 cluster.

A figura 5.1, mostra a melhor solução encontrada para a distribuição aleatória das ONUs, através dos agrupamentos em clusters, gerando o menor custo para atender as informações geradas.

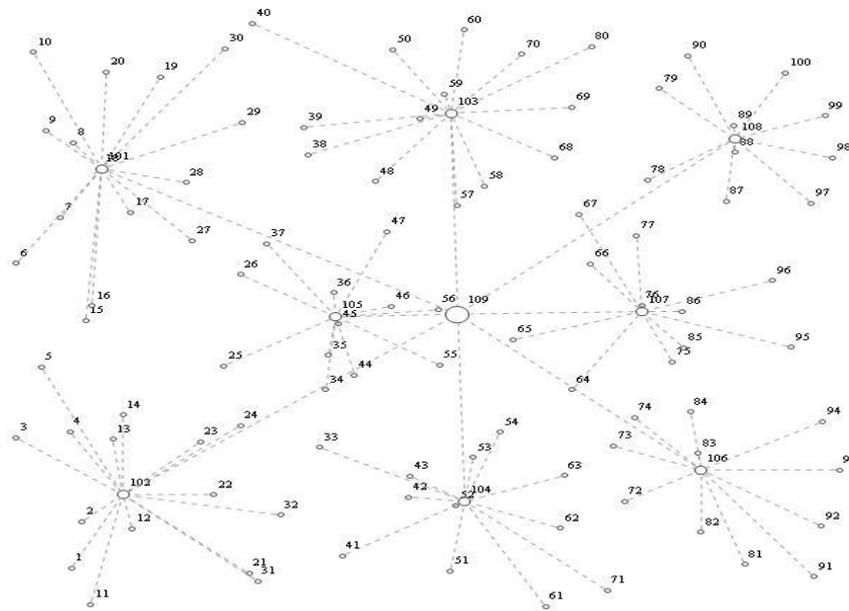


Figura 5.1: Grafo gerado com 8 clusters para 500 ONUs

Os gráficos 5.1a e 5.1b identificam a melhor taxa de divisão frente ao número de cluster que otimizam os custos dos enlace de redes PON.

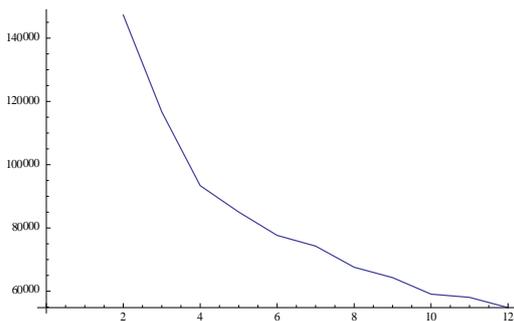


Gráfico 5.1a: Solução para 500 ONUs

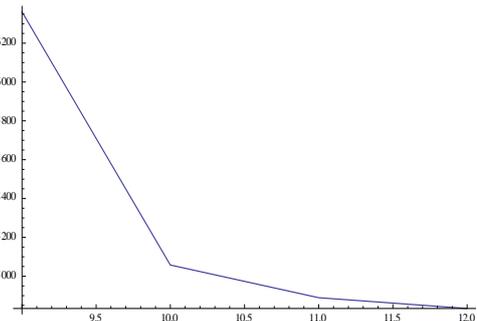


Gráfico 5.1b: Melhor Solução para 500 ONUs

Fixando um número de cluster $k=32$, podemos verificar que o algoritmo nas interações de formação dos grupos busca localizar a melhor solução para a quantidade de PONs que possa atender a demanda definida por k , apresentado pelos gráficos 5.2a e 5.2b.

Formalização dos dados de entrada:

Número de ONUs { 500 }

Posição de Cada ONU { Gerada Aleatoriamente }

Número de cluster K { 32 }

Capacidade de cada cluster { $C \times K$ }, sendo C { 2, 4, 8, 16, 32 e 64 }

Número Máximo de Interações { 100 }

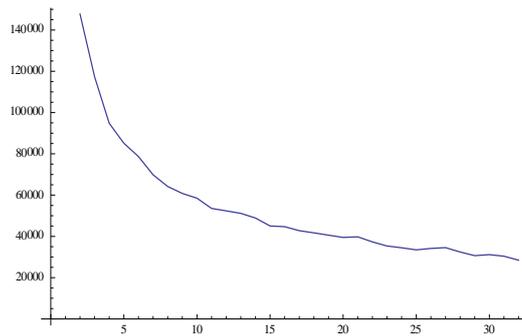


Gráfico 5.2a: Solução para 500 ONUs

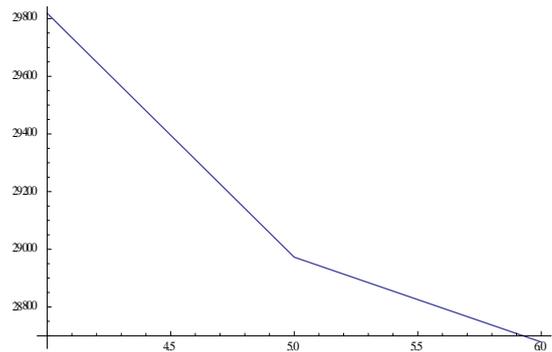


Gráfico 5.2b: Melhor Solução para 500 ONUs

Para este, foi adotado uma formação inicial de 8 clusters, no entanto a melhor solução para otimização dos custos para um k fixo de 32 ONUs. O algoritmo proposto formalizou menos que 6 cluster para a melhor solução, com menor custo para atender a demanda de 500 ONUs. A figura 5.2, ilustra o Grafo Gerado.

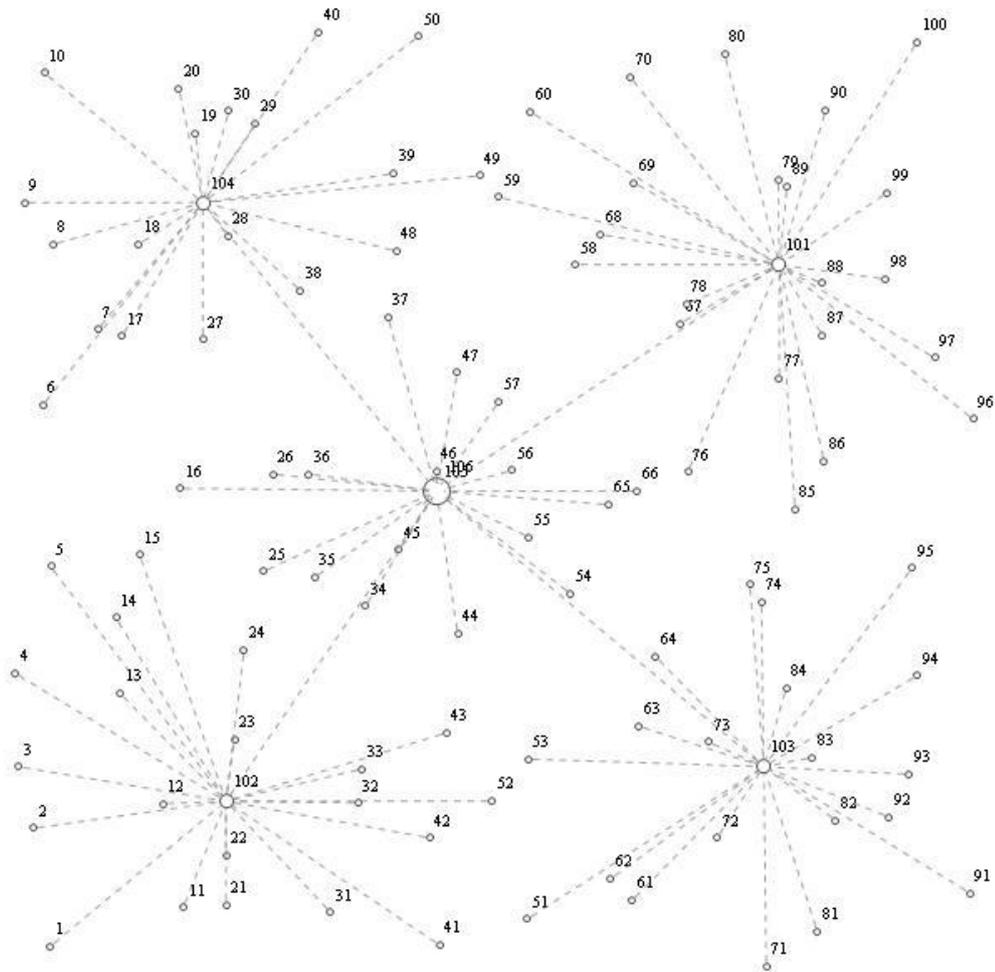


Figura 5.2: Grafo gerado com 5 clusters para 500ONUs

Formalização dos dados de entrada:

Número de ONUs { 1000 }

Posição de Cada ONU { Gerada Aleatoriamente }

Número de cluster K { 32 }

Capacidade de cada cluster { $C \times K$ }, sendo C { 2, 4, 8, 16, 32 e 64 }

Número Máximo de Interações { 100 }

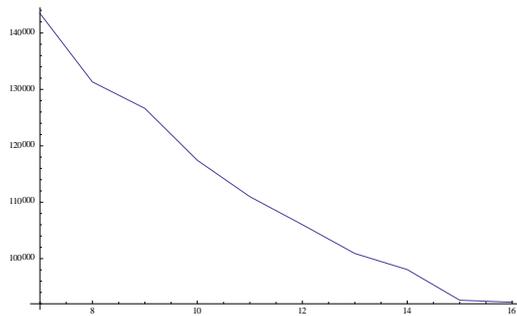


Gráfico 5.3a: Solução para 1000 ONUs

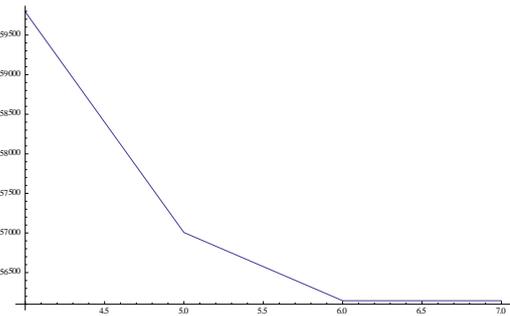


Gráfico 5.3b: Melhor Solução para 1000 ONUs

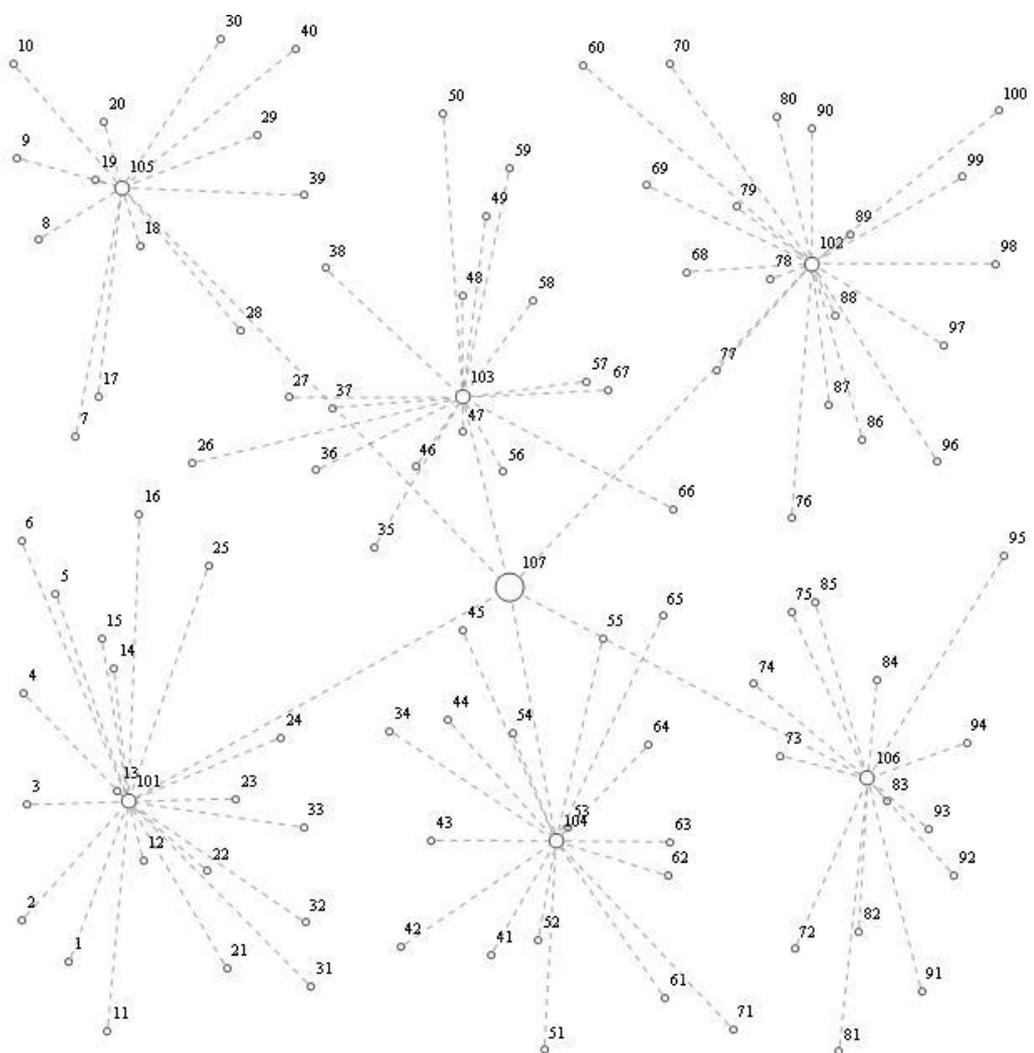


Figura 5.3: Grafo gerado com 6 clusters para 1000ONUs

O artigo proposto em [26] indica que para cenários semelhantes ao desenvolvido acima, o tempo de execução do algoritmo é de algumas horas. Além disso, o algoritmo proposto em [26] tem uma tendência de convergência em mínimos locais, e necessita de uma etapa de refinamento da solução obtida baseada em algoritmos genéticos.

Ao contrário, a solução proposta neste trabalho é mais simples computacionalmente, pois a re-ordenação das ONUs é feita de forma mais criteriosa, diminuindo muito o número de iterações necessários para obter a convergência. Como resultado, ao invés de horas, o algoritmo proposto é capaz de executar os cenários indicados acima em poucos minutos.

6.3 Validação

O Algoritmo Proposto, assim como [22] busca minimizar os custos do planejamento de uma rede GPON. No entanto tratamos o custo total a partir dos somatórios de todos os enlaces ópticos que formam as PONs, estando estes, de acordo com a melhor taxa de divisão ótica que atenda toda a demanda de ONUs.

A proposta em [22], trata o problema de determinar a melhor relação de divisão ótica a partir das disposições das PONs utilizando para tanto dois algoritmos conhecidos, como problema de localização de Fermat-Weber e o algoritmo de Weiszfeld destinado à localização de um único centro para o problema de Fermat-Weber.

O Algoritmo Proposto difere do [22], em utilizar a formação de clusters a partir de k-means que é um método iterativo simples para dividir um conjunto de dados em um número de grupos específico de acordo com a necessidade.

O algoritmo tem na distância euclidiana a propriedade da medida de proximidade padrão utilizada, que facilmente mostra que a função dos custos existentes ira sempre decrescer a partir de cada interação do algoritmo até encontrar a melhor solução.

6.4 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada a avaliação do algoritmo proposto, a partir da aplicação e verificação dos resultados obtidos para o planejamento de uma rede GPON com 500 ONUs distribuídas aleatoriamente.

Capítulo 7

Considerações Finais

7.1 Introdução

Este capítulo resume as principais conclusões obtidas durante o desenvolvimento desta dissertação, concluindo com uma nota final para desenvolvimento de trabalhos futuros que possam ser realizados sobre Rede de Acesso GPON.

7.2 Conclusão

O trabalho fez um amplo estudo sobre a tecnologia GPON, apresentados nos capítulos 1, 2 e 3. As principais características para provimento da ultima milhas de acesso entre a CO (Central Office) de distribuição dos serviços de telecomunicações e os possíveis clientes finais (ONUs). A utilização das tecnologias óticas para a comunicação em alta velocidade com altas taxas de download e upload, de forma a proporcionando banda de comunicação para o suporte aos novos serviços de múltiplas aplicações e conteúdo, assim como os serviços considerados Triple Play e Quad Play.

No capítulo 4, foi apresentado um estudo completo para o planejamento de redes GPON, a partir das abordagens teóricas apresentadas, identificando os principais aspectos envolvidos no dimensionamento das redes GPON, na verificação da largura de banda necessária para atender todas as demandas dos serviços em alta velocidade, dimensionamento das potências óticas dos transmissões e receptores, bem como as atenuações existentes ao

longo dos enlaces óticos das redes e o dimensionamento dos custos a partir dos enlaces óticos necessários para a formação da rede GPON.

O Capítulo 5 e 6 foi apresentado uma solução computacional simples, mas que tem vantagens em relação a outras propostas na literatura. O algoritmo apresentado em [26] apresenta um método para o reposicionamento das ONUs e das PONs a partir da seleção aleatória, o que torna o algoritmo com um alto tempo de execução por necessitarem de etapas de refinamento para a obtenção da melhor solução quando aos custos no planeamento de uma rede GPON. O Algoritmo Proposto neste trabalho torna mais simples o trabalho computacional, pois utiliza um método mais criterioso de re-ordenação das ONUs, que diminui de forma significativa o número de iterações para o refinamento dos processos até chegar à melhor solução.

O Algoritmo Proposto é uma melhoria do trabalho descrito em [26], pois apresenta uma forma heurística muito mais eficiente para otimizar a rede GPON. Como trabalho futuros pode-se considerar a inclusão no algoritmo proposto no capítulo 5 os elementos teóricos descritos no capítulo 4.

Referências Bibliográficas

- [1] F/Radar, “8ª Edição | Novembro 2010,” 2010.
- [2] C. F. Lam, *Passive Optical Networks: principles and practice*. Academic Press, 2007, p. 396.
- [3] B. T. Koonen, “Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When?,” *Proceedings of the IEEE*, 2006.
- [4] ITU-T Manual, *Optical Fibres, Cables and Systems*. 2009, p. 324.
- [5] T. Orphanoudakis, E. Kosmatos, and J. D. Angelopoulos, “Performance evaluation of GPON vs EPON for multi-service access,” *Performance Evaluation*, no. 2008, pp. 187-202, 2009.
- [6] E. Marmur, O. Shraga, “GPON – The Next Big Thing in Optical Access Networks,” *Proceedings of the SPIE*, vol. 5282, pp. 199-209, 2004.
- [7] L. Shi, S.-soo Lee, H. Song, and B. Mukherjee, “Energy-Efficient Long-Reach Passive Optical Network: A Network Planning Approach Based on User Behaviors,” *Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 449-457, 2010.
- [8] T. S. Jürgen Schussmann, “Design and Cost Performance of WDM PONs for Multi-Wavelength Users”, *Carinthia University of Applied Sciences Applied Sciences*, 2009.
- [9] ITU-T G.983.1, “ITU-T G.983.1 Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).” p. 124, 2005.
- [10] E. Weis, D. Breuer, C. Lange, D. Telekom, and N. Gmbh, “GPON FTTH trial – Lessons learned,” *Communications*, vol. 7633, no. 1, pp. 1-7, 2009.
- [11] M. S. Vukovic, Alex. Maamoun, Khaled. Heng Hua, “Performance Characterization of PON Technologies”, *Journal of Lightwave Technology*, 2005. – Vol. 23. – No. 1. – P. 236–246.
- [12] ITU-T G.984.2, “ITU-T G.984.2 Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification”, vol. 2, no. 2003. p. 12, 2006.
- [13] ITU-T G.984.3, “ITU-T G.984.3 Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission convergence layer specification.” p. 146, 2008.

- [14] e D. P. M. Abrams, P. C. Becker, Y. Fujimoto, V. O'Byrne, "FTTP Deployments in the United States and Japan-Equipment Choices and Service Provider Imperatives," *Lightwave Technology, Journal of*, vol. 23, no. 1, pp. 236-246, 2005.
- [15] ITU-T G.984.1, "ITU-T G.984.1 Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics." p. 43, 2008.
- [16] I. Cale, A. Salihovic, and M. Ivekovic, "Gigabit Passive Optical Network – GPON", Proceedings of the ITI 2007 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces, Cavtat, Croácia, pp. 679-684, 2007.
- [17] K.-ok Kiml, "Implementation of OEO based Reach Extender for 60km long reach GPON," *Russell The Journal Of The Bertrand Russell Archives*, pp. 3-5.
- [18] F. Aurzada, M. Scheutzow, M. Reisslein, N. Ghazisaidi, and M. Maier, "Capacity and Delay Analysis of Next-Generation Passive Optical Networks (NG-PONs)," vol. 59, no. 5, pp. 1378-1388, 2011.
- [19] P. Kourtessis and J. M. Senior, "GPON service level agreement based dynamic bandwidth assignment protocol," *Electronics Letters*, vol. 42, no. 20, 2006.
- [20] O. In, "A Comparison of Dynamic Bandwidth Allocation for EPON, GPON, and Next-Generation TDM PON," *IEEE Communications Magazine*, no. March, pp. 40-48, 2009.
- [21] S.-K. Lee, J.-W. Jang, and M.-H. Bae, "Development And Performance Evaluation of a BR-DBA Algorithm," *2008 Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, pp. 1103-1108, Nov. 2008.
- [22] J. Li and G. Shen, "Cost Minimization Planning for Greenfield Passive Optical Networks," *America*, vol. 1, no. 1, pp. 17-29, 2009.
- [23] D. Nettet, D. Payne, R. Davey, and T. Gilfedder, "Demonstration of Enhanced Reach and Split of a GPON System Using Semiconductor Optical Amplifiers," *2006 European Conference on Optical Communications*, no. 1, pp. 1-2, Sep. 2006.
- [24] H. Alshaer and M. Alyafei, "Planning Rules for Split Ratio Selection in Building GPON-based Access Networks," *Network*, no. 4-8 jan. 2011, 2011.
- [25] L. Yang, Z. Guoping, and L. Qing, "A bandwidth allocation algorithm for reducing the average delay in GPON," *2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication*, pp. V1-600-V1-603, 2010.
- [26] S.U. Khan, "Passive Optical Network Layout in Manhattan ", *Photonics Technology Letters, IEEE*, pp. 1488 – 1490, 2003.
- [27] ISKANDAR, J. I. *Normas da ABNT Comentadas para Trabalhos Científicos*. Editora Champagnat, PUCPR, 2000.

- [28] V. V. Vazirani. *Approximation Algorithms*. Springer-Verlag, 2001.
- [29] K. Jain and V. V. Varirani. Primal-dual approximation algorithms for metric facility location and k-median problems. In 40th IEEE Symposium on Foundations of Comp. Sci. (FOCS), 1999.
- [30] Robin J. Wilson. *Introduction to Graph Theory*. Longman Scientific & Technical, Third edition, 1985.
- [31] CORMEN, T. H.; LEISERSON, C. E.; RIVEST, R. L.; STEIN, C. . *Introduction to Algorithms*. Second Edition, 1184 pages. The MIT Press, Cabridge, MA, USA, 2001.
- [32] LEISERSON, Charles E., RIVEST, Ronald L., CORMEN, Thomas H. *Algoritmos – teoria e prática*. Rio de Janeiro: Campus, 2002.
- [33] CPqD. Técnico/Consultoria PD.33.10.63A.0028A/RT-07-AA - Análise de Cenários para Inclusão Digital das Escolas Públicas do Brasil. CPqD, 2011. Disponível em: <<http://www.cpqd.com.br>> Acesso em: 10 julho 2012, 10:40, e 12/08/2013, 08:20.
- [34] DUARTE, A. Manuel de Oliveira, “Rede e Serviços de Telecomunicações: Conceitos, Modelos e Estruturas Fundamentais das Redes de Telecomunicações”, notas de estudo, Universidade de Aveiro, 2009.
- [35] BERKHIN, P. *Survey Of Clustering data Mining Techniues*. San Jose, CA, 2002. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.18.3739>

