

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Análise Técnico-financeira para a Introdução da Tecnologia GPON na Rede de Fibra Óptica da EEM

Pedro Miguel Fernandes Ferreira Correia

Dissertação/Relatório de Projecto realizada(o) no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Abel Costa
Co-orientador: Eng.º Filipe Ferreira

Fevereiro de 2009

A Dissertação intitulada

**“ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA PARA A INTRODUÇÃO DA TECNOLOGIA DA GPON (GIGABIT
PASSIVE OPTICAL NETWORK) NA REDE DE FIBRA ÓPTICA DA EEM”**

foi aprovada em provas realizadas em 05/Março/2009

o júri

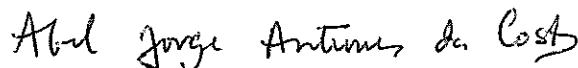
Presidente Professor Doutor Sílvio Almeida Abrantes Moreira
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor Mário José Neves de Lima
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

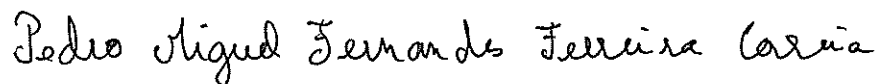


Professor Doutor Abel Jorge Antunes da Costa
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.

Autor - PEDRO MIGUEL FERNANDES FERREIRA CORREIA



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Aos meus pais.

Resumo

Nos dias de hoje, a distribuição de variados serviços de uma maneira simples e económica representa um papel fundamental para o consumidor. A procura de cada vez mais, maior largura de banda por parte do consumidor, faz com que cada vez apareça melhores tecnologias que conseguem proporcionar as necessidades da procura.

O GPON é neste momento uma das tecnologias de acesso mais rápidas, mais atraentes e interessantes de mercado. A evolução desta tecnologia oferece novas capacidades para arquitecturas de banda larga e para futuros serviços. A próxima evolução desta tecnologia será o aumento das taxas de transmissão.

Muitos operadores e vendedores nesta industria conseguem visualizar WDM com a mesma topologia que o GPON, mudando apenas a maneira como é feita o *splitting*, podendo desta forma aumentar significativamente as larguras de banda.

Tendo como objectivo a tecnologia GPON e a sua viabilidade financeira, a Empresa de Electricidade da Madeira pede assim um estudo da tecnologia, de um ponto de vista técnico assim como um ponto de vista financeiro.

Este trabalho apresenta para além do estudo efectuado o design da rede para esta tecnologia, partindo de um ponto onde seria colocado o equipamento central até ao próprio subscritor.

Abstract

Nowadays, having access to different services in an economical and easy way is significant for consumers. By looking for wider bandwidth, consumers encourage better technologies, designed to fill this need, to appear.

For the moment, G-PON is one of the most attractive and fastest access technologies on the market. The evolution of this technology gives new capacities for broadband architectures and for future services. The following evolution of G-PON will be an increase in transmission rates.

Many operators and sellers of this industry are able to visualize WDM with the same topology as the one of G-PON, hardly changing the way of splitting. This method makes it possible to increase bandwidths significantly.

Since *Empresa de Electricidade da Madeira* is working on the G-PON technology and its financial viability, the company requires a study on this technology from a technical and financial point of view.

This project presents the study that was made as well as the network design for this technology, from a place where the device would be installed to the subscriber.

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que tornaram possível chegar a este ponto do meu percurso escolar e mais concretamente à elaboração desta tese. Em especial agradeço:

Aos meus pais Ana Isabel e Alberto Teodoro, pelo apoio e pela força que me deram ao longo de todos estes anos.

À minha avó Paixão, por sempre me ter dado muita força para estudar.

À Rosine Aerts por sempre tentar dar-me o apoio que necessitava.

Aos amigos de sempre, que quando nada corre bem, lá estão eles para animar.

Ao Professor Doutor Abel Costa por ter aceite ser meu orientador, pois sem ele esta dissertação não seria possível.

Ao Professor Doutor João Claro por responder às minhas dúvidas quando estas apareceram, assim como, alguém com quem se podia contar.

Ao Eng.º Filipe Ferreira por desde o primeiro dia ter-me dado o à vontade para trabalhar e fazer as minhas próprias pesquisas. À Eng.ª Cândida Meireles, por sempre se mostrar disponível para qualquer dúvida que surgisse. Ao Eng.º Fernando Cardoso, por tão prontamente me dar o apoio que necessitava. Ao Eng.º Sidónio Pereira, que tão prontamente me integrou no grupo da empresa.

Por fim, ao Eng.º Filipe Guedes e Eng.º Joaquim Matos que prontamente se mostraram disponíveis para me auxiliar quando lhes pedia ajuda.

A todos vós o meu muito obrigado.

Índice

Capítulo 1	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Metodologia.....	3
1.4 Estrutura do documento	3
Capítulo 2	5
2.1 PON - <i>Passive Optical Network</i>	6
2.1.1 PON de Banda Larga.....	7
2.1.2 PON <i>Gigabit</i>	8
2.1.3 PON <i>Ethernet</i>	8
2.2 WDM PON.....	8
2.3 Sumário.....	10
Capítulo 3	11
3.1 Arquitectura da Rede de Acesso Óptica.....	13
3.2 POTS e ISDN. Serviços, interface do utilizador de rede e interface do nó de serviço	13
3.3 Protecções de secções PON	13
3.3.1 Tipos de <i>switching</i>	13
3.3.2 Configurações <i>duplex</i> GPON e suas características	14
3.3.3 Requisitos exigidos	17
3.4 Sumário.....	17
Capítulo 4	19
4.1 Arquitectura de Sistema GPON	20
4.2 <i>Optical Budget</i> e Potencias	21
4.3 Blocos funcionais	23
4.3.1 OLT (<i>Optical Line Termination</i>).....	24
4.3.2 ONU (<i>Optical Network Unit</i>)	25
4.4 Trama de GTC TC	25

4.4.1	Mapeamento do tráfego no <i>payload</i> GTC	27
4.5	Mensagens GTC	32
4.5.1	Formato das mensagens PLOAM	32
4.6	Alarmes	33
4.7	Esquema de transporte OMCI	34
4.7.1	Esquema de transporte OMCI	34
4.7.2	Modos de transporte	34
4.8	Interface de controlo e manuseamento do ONT	34
4.9	Sumário	36
Capítulo 5		39
5.1	Empresa A	40
5.1.1	<i>Optical Line Termination</i>	40
5.1.2	<i>Optical Network Termination</i>	42
5.1.3	FTTB	42
5.2	Empresa B	43
5.2.1	<i>Optical Line Termination</i>	43
5.2.2	<i>Optical Network Termination</i>	45
5.2.3	FTTB	48
5.3	Sumário	48
Capítulo 6		49
6.1	Material Utilizado	50
6.2	Sumário	54
Capítulo 7		55
7.1	Escolha da região piloto	55
7.2	Dimensionamento da rede	57
7.3	Equipamento passivo/activo	59
7.4	Sumário	61
Capítulo 8		63
8.1	Equipamento passivo	64
8.2	Empresa A	65
8.3	Empresa B	69
8.4	Sumário	73
Capítulo 9		75
9.1	Conclusão	75
9.2	Desenvolvimento Futuro	77
Anexo A		79
Anexo B		93
Anexo C		97

Anexo D	105
Glossário	117
Referencias	123

Lista de Figuras

Figura 2.1 Configuração de uma rede FTTH PON	6
Figura 2.2 Configuração de uma rede WDM PON FTTH	9
Figura 2.3 Configuração de uma rede WDM PON FTTH	10
Figura 3.1 Arquitecturas de redes FTTx.....	11
Figura 3.2 Arquitectura Típica GPON	12
Figura 3.3 Modelo do sistema <i>duplex</i>	14
Figura 3.4 Sistema <i>duplex</i> GPON - Sistema de duplicação da fibra.	15
Figura 3.5 Sistema <i>duplex</i> GPON - Sistema de único <i>duplex</i>	15
Figura 3.6 Sistema <i>duplex</i> GPON - Sistema de duplicação completo	16
Figura 3.7 Sistema <i>duplex</i> GPON - Configuração <i>duplex</i>	16
Figura 4.1 Sistema de Configuração GPON.....	21
Figura 4.2 <i>Splitter</i> Óptico	22
Figura 4.3 Diagrama de Blocos Funcional de um OLT	24
Figura 4.4 Diagrama de Blocos Funcional ONU	25
Figura 4.5 Protocolo de <i>stack</i> para o sistema GTC	26
Figura 4.6 Estrutura da trama GTC TC.....	27
Figura 4.18 Estrutura da trama e cabeçalho da GEM.....	28
Figura 4.19 Máquina de estados de delineação GEM	30
Figura 4.20 Fragmentos de campos de casos de uso.	30
Figura 4.21 Encapsulamento GEM em relação ao encapsulamento GTC	31
Figura 4.22 Estrutura da mensagem genérica	32
Figura 4.24 Modelo de referência	35
Figura 4.25 Diagrama de blocos ONT/ONU.....	35
Figura 5.1 <i>Optical Line Termination</i>	40
Figura 5.2 Placa de <i>switch</i> e de controlo	40
Figura 5.3 Carta de <i>Uplink</i>	41
Figura 5.4 Placa para os portos PON	41
Figura 5.5 Equipamento terminal	42

Figura 5.6 Equipamento para <i>Fiber to the Building</i>	42
Figura 5.7 Equipamento Central	43
Figura 5.8 Carta de <i>Switching</i> e de comutação.	44
Figura 5.9 Carta PON.....	44
Figura 5.10 Solução 1 de Equipamentos Terminais.....	45
Figura 5.11 Solução 2 de Equipamentos Terminais.....	45
Figura 5.12 Solução 3 de equipamentos terminais.	46
Figura 5.13 Solução quatro de equipamentos terminais.....	47
Figura 5.14 Solução para <i>Fiber to the building</i>	48
Figura 6.1 ODF de parede	50
Figura 6.2 Torpedo	51
Figura 6.3 <i>Splitter</i> Óptico de 1:64	52
Figura 6.4 Cabo de Fibra Óptica que ira fazer da subestação aos PT's.	53
Figura 6.5 Nova fibra para <i>indoor</i>	54
Figura 7.1 Mapa da região piloto	56
Figura 7.2 <i>Red Zone</i>	56
Figura 7.3 Agrupamento de Clientes por PT.....	57
Figura 7.4 Dimensionamento da rede em papel.	58
Figura 7.5 Dimensionamento Digital	58
Figura 8.1 Gráfico relativamente ao primeiro balanço efectuado.	69
Figura 8.2 Gráfico relativo ao primeiro balanço efectuado.....	73

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 Taxas de transmissão GPON	12
Tabela 4.1 Parâmetros de categorias	20
Tabela 4.2 Modos Suportados no OLT e ONU	21
Tabela 4.3 Perdas no sistema GPON	22
Tabela 4.4 Mínima potência para diferentes configurações PON.....	23
Tabela 4.5 Codificação do campo <i>Port-ID</i>	29
Tabela 6.1 Características do ODF	50
Tabela 6.2 Características do Torpedo	52
Tabela 6.3 Características da Fibra <i>outdoor</i>	53
Tabela 7.1 Quantidade de equipamento Passivo.....	60
Tabela 7.2 Quantidade de Equipamento Activo da Empresa B	60
Tabela 7.3 Quantidade de equipamento da Empresa A.....	60
Tabela 8.1 Gastos para a rede em percentagens	64
Tabela 8.2 Preços do Equipamento Passivo.....	65
Tabela 8.3 Equipamento Central e Terminal	66
Tabela 8.4 Valores de Investimento Inicial	67
Tabela 8.5 Balanço	68
Tabela 8.6 Equipamento Central OLT	70
Tabela 8.7 Tabela dos Equipamentos Terminais	70
Tabela 8.8 Valores de Investimento Inicial	71
Tabela 8.9 Balanço	72

Abreviaturas e Símbolos

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AK	Acknowledgement
Alloc-ID	Allocation Identifier
ANI	Access Node Interface
APON	ATM over Passive Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquengham
BER	Bit Error Ratio
BIP	Bit Interleaved Parity
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
Blen	BWmap Length
B-PON	Broadband Passive Optical Network
BWmap	Bandwidth Map
CBR	Constant Bit Rate
CRC	Cyclic Redundancy Check
DB	Destination Bit
DBA	Dynamic Bandwidth Assignment
DBR	Deterministic Bit Rate
DBRu	Dynamic Bandwidth Report upstream
DEMUX	De-multiplexing
DF	Deactivate Failure
DS	Downstream
DSL	Digital Subscriber Line
EEM	Empresa de Electricidade da Madeira
FEC	Forward Error Correction
FTTB	Fibre to the Building
FTTB/C	Fibre to the Building/Curb
FTTB_{Business}	Fibre to the Business
FTTC	Fibre to the Curb
FTTC_{ab}	Fibre to the Cabinet
FTTC_{ab}/C	Fibre to the Cabinet/Curb
FTTH	Fibre to the Home
GEM	G-PON Encapsulation Method
G-PON	Gigabit Passive Optical Network

GPON Gigabit-capable Passive Optical Network

GTC G-PON Transmission Convergence

HEC Header Error Control

ID Identifier

IP Internet Protocol

ISDN Integrated Services Digital Network

LOF Loss of Frame

LOS Loss of Signal

LSB Least Significant Bit

LT Line Terminal

MAC Media Access Control

MSB Most Significant Bit

MUX Multiplexing

NSR Non Status Reporting

NT Network Terminal

NT Network Termination

OAM Operations, Administration and Maintenance

OAN Optical Access Network

ODF Optical Distribution Frame

ODN Optical Distribution Network

OLT Optical Line Termination

OMCI ONT Management and Control Interface

OMCI ONU Management and Control Interface

ONT Optical Network Termination

ONU Optical Network Unit

ONU-ID ONU Identifier

OpS Operations System

PCBd Physical Control Block downstream

PDH Plesiochronous Digital Hierarchy

PDU Protocol Data Unit

Plend Payload Length downstream

PLI Payload Length Indicator

PLOAM Physical Layer OAM

PLOAM Physical Layer Operations, Administration and Maintenance

PLOAMd PLOAM downstream

PLOAMu PLOAM upstream

PLOu Physical Layer Overhead upstream

PLSu Power Levelling Sequence upstream

PMD Physical Media Dependent
PON Passive Optical Network
Port-ID Port Identifier
POTS Plain Old Telephone Service
PSTN Public Switched Telephone Network
Psync Physical Synchronization
PTI Payload Type Indicator
QoS Quality of Service
RAM Região Autónoma da Madeira
RTD Round Trip Delay
SDH Synchronous Digital Hierarchy
SDU Service Data Unit
SF Signal Fail
SN Serial Number
SNI Service Node Interface
SR Status Reporting
TC Transmission Convergence
T-CONT Transmission Container
TDM Time Division Multiplexing
TDMA Time Division Multiple Access
UNI User Network Interface
VC Virtual Channel
VCI Virtual Channel Identifier
VOD Video-On-Demand
VP Virtual Path
VPI Virtual Path Identifier
VPI Virtual Path Identifier
WDM Wavelength Division Multiplexing
xDSL x Digital Subscriber Line

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

Nos nossos dias em que tudo se pretende digitalizar, que cada um requer comunicações mais fiáveis a baixo custo, as redes GPON vêm facilitar esse processo e providenciar-nos comunicações rápidas e fiáveis.

Isto não só facilita os clientes, mas também as empresas que fornecem esse tipo de serviços.

A GPON (*gigabit passive optical network*) é uma maneira atractiva de entregar serviços residenciais (clientes particulares) porque é tipicamente usado num modo não protegido e portanto económico. Este tipo de redes consegue providenciar dois tipos de serviços, desde que antes tenham sido bem dimensionadas:

1-Um para o utilizador comum com uma conectividade de Banda Larga em que este é no modo não protegido.

2-Um para o utilizador empresarial que pretende uma conectividade fiável em que este terá de ser obrigatoriamente num modo protegido.

Dois tipos de serviços distintos mas interligados, que a partir de uma rede GPON poderão facilmente ser providenciados a partir da mesma rede.

Este tipo de rede será para providenciar aos clientes os seguintes tipos de serviços:

1-VOIP - Voz sobre IP, também chamado, telefonia IP, telefonia Internet, telefonia em banda larga e voz sobre banda larga é o roteamento de conversação humana utilizando a Internet ou qualquer outra rede de computadores baseado no protocolo de internet, tornando a transmissão de voz num dos serviços suportados pela rede de dados [24].

2-*Video On Demand* - Sistema que permite ao utilizador seleccionar e ver um vídeo a partir da rede como parte de um sistema de televisão interactiva. Os sistemas VoD podem ser do tipo *stream*, isto é, em tempo real ou do tipo *download* em que o programa é trazido na sua totalidade para uma STB (*set-top box*) antes de se visualizar.

3-Internet de Banda Larga - é a ligação à internet acima da velocidade padrão dos modems analógicos (56 kbps), como são os casos ISDN/DSL, ADSL entre outros.

4-Telecontagem - sistema que permite a medição, leitura, recolha e controlo remoto para conexão e desconexão de um cliente na rede de distribuição eléctrica.

Todos estes quatro serviços poderão ser interligados a um mesmo equipamento, utilizando a mesma tecnologia, o que faz com que esta tecnologia se torne muito agradável, apreciável e aliciante a qualquer utilizador, além do mais porque as velocidades de Internet de Banda Larga que o GPON tem para oferecer, não ficam nada atrás do que se consegue obter nos dias de hoje e sempre com a perspectiva de aumentar a Largura de Banda.

Esta tecnologia é uma realidade do presente e de futuro. Existem já empresas que a implementaram, tendo já alguma taxa de sucesso.

A necessidade da busca de informação e do puro cómodo por parte do usuário é já uma exigência que se pretende buscar enquanto clientes e se pretende fornecer serviços, tendo isso em conta enquanto empresa.

1.2 Objectivos

Este trabalho de dissertação terá como objectivo uma análise técnico-financeira da rede de fibra óptica na ilha da Madeira, para que futuramente se possa fazer a implementação da tecnologia GPON. Para isso será necessário verificar o estado actual da rede da EEM no Arquipélago da Madeira, para que se possa ver que mudanças terão de ser feitas (caso seja necessário).

O seu projecto (GPON) e a sua implementação terão de ser feitas com alguma atenção, pois como este tipo de rede, pode fornecer dois tipos de serviço distintos e para cada um destes serviços é necessário algo diferente na sua implementação. É necessária então alguma precaução (protecção ou não protecção, dependendo do cliente).

Irá ser necessário a busca de equipamento barato e fiável, caso não se encontre um tipo de equipamento que seja tanto barato como fiável, terá de se encontrar algo que possa estar em concordância.

Também terá de se ver se os custos da sua implementação serão muito caros, apesar de que futuramente se poderá recuperar o dinheiro investido, através dos pagamentos dos clientes (isto se o serviço for satisfatório).

Sendo assim, tentar-se-á contactar fornecedores, para ver que equipamentos poderão fornecer e o seu custo, para finalmente se possa apresentar um projecto com valores financeiros e vermos a sua viabilidade.

1.3 Metodologia

O planeamento de desenvolvimento do trabalho, é aproveitar a rede PON do Arquipélago da Madeira e poder fazer um “*upgrade*” dessa rede para uma rede GPON, isto é, a implementação não será feita de raiz. Escolher-se-á uma zona específica do Arquipélago, mais precisamente no Funchal e fazer-se-á a análise técnico-financeira, isto porque a zona do Funchal possui o que pretendemos, que é uma zona muito povoada, com muitos utilizadores privados e empresariais e sendo assim essa análise será completa, pois as redes GPON apenas diferem numa coisa em relação ao cliente privado e o cliente empresarial.

A grande vantagem da EEM (Empresa de Electricidade da Madeira) é que as condutas até aos utilizadores já se encontram feitos, isto é, a ideia da EEM será usar as condutas eléctricas que são propriedade da empresa e não utilizar as tubagens da PT (Portugal Telecom), pois aí os custos seriam mais elevados. Sendo assim, o lançamento de mais fibra óptica será feita com menos custos e mesmo a colocação dos seus equipamentos apenas terão o custo de mão-de-obra e o dos equipamentos.

Tentar-se-á fazer uma ligeira comparação com outras cidades na Europa, que também fizeram as suas próprias análises para este tipo de redes, pois até agora, parece que são poucas as implementações deste tipo de redes, apesar de cada vez mais, todos os países da Europa começam a investir fortemente nesta tecnologia.

Depois de feita a análise técnico-financeira concluir-se-á se será compensador aplicar este tipo de redes no Arquipélago da Madeira.

1.4 Estrutura do documento

Este Documento é composto por nove capítulos e dois Anexos.

Este primeiro capítulo é dedicado à apresentação dos objectivos, contexto, métodos e estrutura do trabalho.

O capítulo seguinte tem como objectivo demonstrar a base desta tecnologia, assim como as outras vias, por onde a tecnologia base evoluiu.

O capítulo três pretende apresentar as características mais gerais da tecnologia, como a arquitectura da rede, as interfaces do utilizador e do nó de serviço e os tipos de protecções necessárias para estas redes passivas.

No capítulo quatro é apresentado a camada de transmissão, isto é, a troca de informação entre equipamento central e terminal, assim como as estruturas das tramas, os procedimentos de activação dos equipamentos, a alarmista e finalmente como são geridos os equipamentos terminais.

Após, os capítulos três e quatro, que incidem imenso sobre a tecnologia, teremos a apresentação das soluções do equipamento activo apresentadas pelas empresas de mercado no capítulo cinco, assim como a solução de equipamento passivo no capítulo seis.

No capítulo sete, será demonstrada o *design* da rede da primeira região onde possivelmente será lançada esta nova tecnologia.

O capítulo oito é apresentada uma análise financeira incidindo nas duas soluções apresentadas pelas empresas de mercado.

Finalmente, o capítulo nove indica-se as conclusões a tirar desta dissertação e o desenvolvimento futuro.

Seguem-se as referências bibliográficas e os anexos. No primeiro anexo pode-se encontrar a apresentação das especificações da camada PMD da tecnologia e mais especificações do GTC, o segundo anexo pode-se observar como é que os equipamentos corrigem os seus erros e finalmente o terceiro anexo que apresenta os métodos de activação dos equipamentos.

À excepção do primeiro capítulo, todos os outros tem uma breve introdução com o objectivo de apresentar o seu conteúdo, assim como um sumário em todos os capítulos onde se tira algumas conclusões e se faz um pequeno apanhado do capítulo.

Capítulo 2

FTTH - Panorama das Tecnologias Existentes

FTTH, ou *Fiber to the Home* é um conjunto de tecnologias que vão permitir levar fibra óptica até à habitação. A grande vantagem do FTTH é poder ter serviços com grande largura de banda integrando assim voz, dados e vídeo, funcionando directamente da caixa de junção do próprio edifício.

Os tradicionais cabos de cobre transportam consigo sinais analógicos.

A tecnologia analógica é por natureza menos precisa que a tecnologia digital, apesar de a multiplexagem ter permitido aos sinais digitais serem transmitidos ao longo de múltiplos canais sobre linhas de cobre, os cabos de fibra óptica são superiores, devido à transmissão destes sinais que permitem transferências a maiores velocidades e a larguras de banda às quais tendo em conta a sua utilização, poderá dizer-se que são virtualmente ilimitadas. Isto faz com possamos ter maiores velocidades de *Internet*, maior fluxo de vídeo e outras aplicações que também exigem alguma largura de banda [23].

A *internet* utiliza o *backbone* de cabos de fibra óptica capazes de possuir uma incrível largura de banda. Isto faz da *internet* a fonte primária para o avanço de tecnologias de rede que poderão ser trazidas até casa ou até a empresas. No entanto, a maior parte dos subscritores encontram-se conectados a esta rede através de linhas de cobre com capacidades limitadas. Isto cria um certo estrangulamento no avanço de tecnologias que cada vez mais vão requerendo maior largura de banda. A FTTH cobre esta falha [1].

Um cabo de fibra óptica consegue transferir dados com velocidades superiores a 2.5 *Gigabits* por segundo (Gbps). Os serviços de FTTH de uma maneira geral oferecem um conjunto de planos com diferentes velocidades. Na camada mais baixa da escala, o plano de serviços poderá oferecer velocidades da ordem dos 10 *Megabits* por segundo (Mbps). Algo mais dispendioso poderá oferecer velocidades de transferência de dados superiores a 100 Mbps, o que é muito superior às velocidades típicas DSL [2].

A instalação de FTTH poderá ser muito dispendiosa assim como as mensalidades pelos serviços de banda larga. Será normal que ao longo do tempo os serviços providenciados por FTTH assim como a sua manutenção fiquem mais baratos, pois os serviços serão mais comuns e será cada vez mais fácil manter o QoS [15].

Devido ao custo envolvido e a uma certa dificuldade em substituir os cabos de cobre em algumas habitações é mais usual que se instale FTTH em locais com novos edifícios do que com edifícios mais antigos.

A FTTH poderá ser instalada em arquitecturas ponto-a-ponto ou como uma rede passiva. Este último requer que seja providenciado um receptor óptico para cada subscritor. A FTTH PON utiliza o *transceiver* e o *splitter* para servir vários clientes.

O FTTH difere do FTTC (*Fiber to the Curb*) da seguinte maneira, o FTTC não entra directamente na casa ou no edifício em vez de isso vai em fibra até próximo do cliente (armários de rua, caixas de visita) e após isso através de um conversor óptico electrónico a transmissão é feita em cobre [1].

2.1 PON - *Passive Optical Network*

O aspecto mais importante das redes PON é a sua simplicidade [3].

O OLT é o elemento principal da rede e é normalmente colocado no local de transferência. Os ONUs servem de interface para a rede e são colocados no lado do cliente.

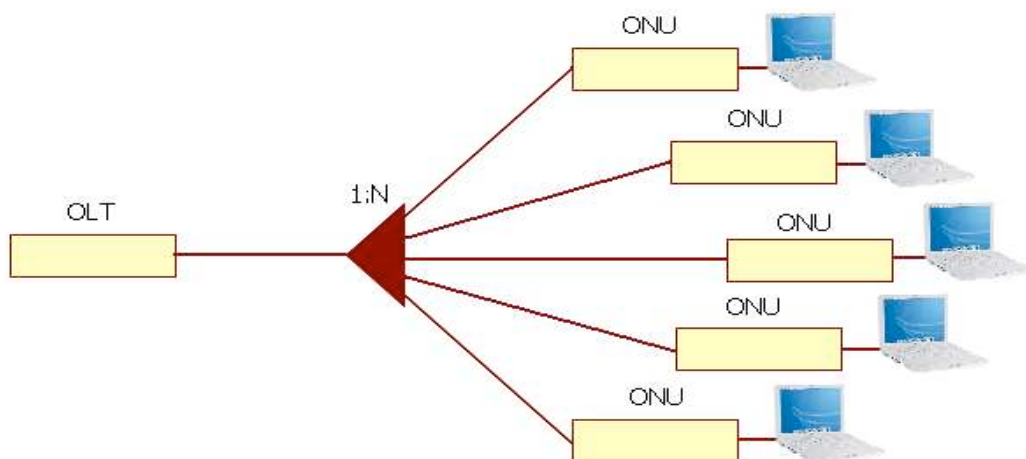


Figura 2.1 Configuração de uma rede FTTH PON

Os ONUs são conectados ao OLT por meio de fibra óptica e nesta ligação não existe nenhum elemento activo. Um ONU pode servir para o acesso a um (*Fiber to the Home*) ou a

múltiplos (*Fiber to the Building or Curb*) clientes e podem ser instalados tanto nas imediações do prédio (*Fiber to the Building*) como na caixa de visita (*Fiber to the Curb*). Apesar de as PONs existirem com três topologias básicas, a topologia em árvore é a favorita devido a pequenas variações de potência de sinal de diferentes estações [3].

O elemento principal que distingue a PON de outros tipos de redes é a unidireccionalidade do acoplador.

Na direcção de *downstream* o sinal enviado pelo OLT chega à entrada do *splitter* e mais tarde o mesmo sinal chega a todos os ONUs. Embora o sinal seja atenuado as suas propriedades mantêm-se [3].

Na direcção inversa a situação é diferente, isto é, dos ONUs para o OLT. Os sinais de diferentes ONUs chegam à entrada do *splitter*. À medida que os diversos sinais vão chegando ao *splitter* estes irão ser multiplexados entre todos e a sobreposição de todos os sinais é recebido pelo OLT. Daqui, na direcção de *upstream* é usado TDM para evitar a interferência dos diferentes sinais dos ONUs.

Na figura 2.1, é esquematizado uma arquitectura de um acesso PON. Enquanto espera pela sua oportunidade de transmitir, o ONU faz o *buffering* de todos os dados que vão chegando. Os conteúdos na fila de espera são transmitidos num único *burst* utilizando assim toda a largura de banda disponível no canal.

2.1.1 PON de Banda Larga

Historicamente os *standards* de BPON foram dos primeiros a serem introduzidos. Foram aceites pelo ITU em 1999. Esta norma foi homologada por um número de produtores de redes e vendedores de equipamento que cooperaram juntamente com o grupo FSAN. O grupo FSAN propôs o uso de ATM para o transporte de dados nestas redes, mais tarde as redes baseadas neste tipo de transporte foram chamadas de APON.

A arquitectura do BPON é flexível e adapta-se bem a diferentes cenários. O protocolo ATM oferece suporte aos diferentes tipos de serviços por meio de adaptação de camadas. O pequeno tamanho das células ATM e o uso de canais virtuais e *links* permitem a alocação da largura de banda disponível para o utilizador. Além disso, o desdobramento de ATM no *backbone* das redes metropolitanas e o mapeamento fácil para SDH/SONET permite o uso de apenas um protocolo.

No entanto, a vantagem do ATM provou ser o maior obstáculo para a passagem de APON para BPON. Muito mais simples, foram os protocolos de orientação de dados *Ethernet*, onde encontraram continuamente um uso nas áreas de rede local e começam a substituir o ATM em muitas áreas metropolitanas e *backbones* de redes [1].

2.1.2 PON Gigabit

O progresso da tecnologia faz com que a necessidade de maior largura de banda force ao aparecimento de um novo *standard* chamado de GPON [14]. Este foi adoptado pelo ITU-T em 2003.

As funcionalidades da tecnologia GPON basearam-se nos seus precedentes, apesar de estes dependerem muito da tecnologia de transporte ATM. Em vez disso, um GFP muito mais simples é utilizado para providenciar suporte e orientação a serviços de voz e dados. Como em todas as redes modernas a transmissão de dados em segurança é uma grande preocupação. Um mecanismo baseado em AES e uma troca complexa de chaves únicas é feito na arquitectura GPON, como melhoria na segurança exigida [23].

Em comparação com o *standard* da BPON, débitos mais elevadas são exigidos. O GPON é capaz de suportar taxas de transferências superiores a 2.48 Gbps em *downstream* assim como na direcção de *upstream* [1].

2.1.3 PON Ethernet

Os *standards* EPON foram homologados pela EFMA. A versão final do novo protocolo e a correcção dos já existentes foram aceites e publicados em Setembro de 2004 no IEEE 802.3ah. O objectivo principal era alcançar uma compatibilidade completa com outras redes baseadas em *Ethernet*. Daqui, a funcionalidade da camada MAC é mantida e as extensões providenciadas para abranger as características da PON. A solução alcançada é simples e directa, o equipamento e as tecnologias poderão ser reutilizadas similarmente ao que é usado nas redes 100BASE-X e 1000BASE-X [1].

2.2 WDM PON

O WDM PON é a próxima geração, quando se fala de desenvolvimento no acesso de redes. Estas podem oferecer uma grande largura de banda a custos baixos. Utilizando para isso o AWG. O AWG é um multiplexador/demultiplexador de comprimentos de onda.

A arquitectura do WDM PON é similar à arquitectura PON. A grande diferença será de, o ONU opera em diferentes comprimentos de onda e consegue atingir taxas de transmissão mais altas.

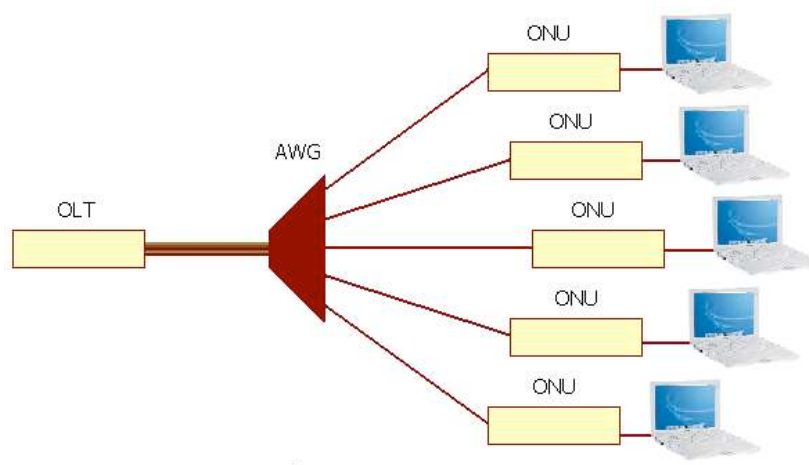


Figura 2.2 Configuração de uma rede WDM PON FTTH

O maior problema com o WDM PON será que normalmente o comprimento de onda é atribuído a um ONU de uma maneira fixa. Isto provoca alguma dificuldade nos *upgrades* da topologia da rede, o que requer que se faça uma reconfiguração manual do equipamento nas imediações do cliente. Logo, vai ser provocado um aumento do custo de manutenção. A solução será então os chamados “ONU *colorless*”. Estes ONUs detectam o comprimento de onda que está a ser usado na direcção de *downstream* e enviam os dados neste comprimento de onda na direcção de *upstream*. Na direcção de *upstream* o ONU modula para o trajecto o comprimento de onda relativo aos dados providenciados pelo OLT. A vantagem deste tipo de abordagem será que o ONU não tem de ser equipado com fontes de luz dispendiosas. Isto não só baixa o custo total do equipamento, assim como, faz também o ONU ser transparente ao sinal e diferentes comprimentos de onda poderão ser utilizados a qualquer momento.

A desvantagem do WDM PON é o alto custo do equipamento. A maior parte da pesquisa efectuada foca-se na habilidade do WDM PON poder servir um grande número de clientes na tentativa de incrementar os ganhos a partir dos recursos investidos e do custo da eficiência. Como resultado, algumas estruturas híbridas têm sido propostas onde o WDMA e o TDMA são usados para aumentar o número de potenciais utilizadores. A arquitectura típica deste tipo de redes é apresentada na Figura 2.3. [4].

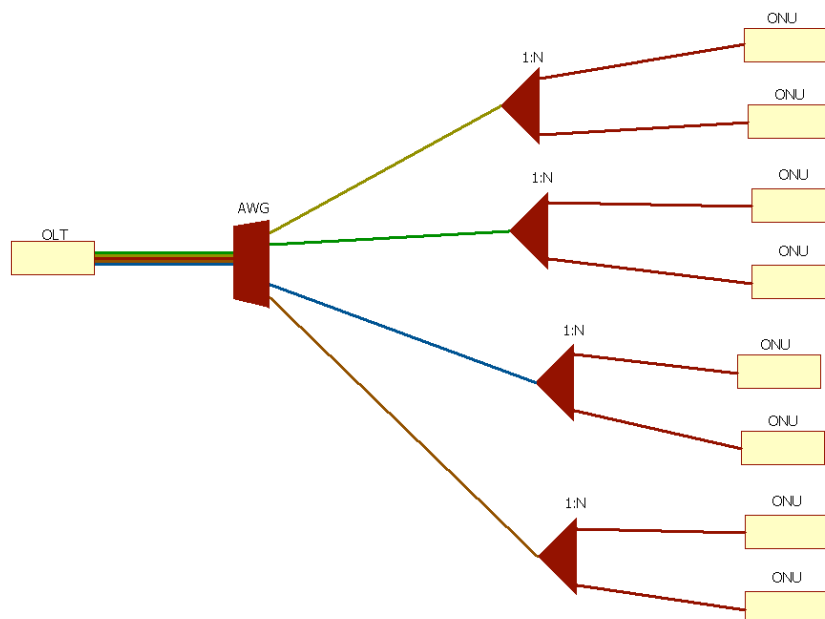


Figura 2.3 Configuração de uma rede WDM PON FTTH

2.3 Sumário

Em conclusão, as características mais comuns, assim como as diferenças das três arquitecturas principais foram apresentadas. São apresentadas redes ópticas *ethernet* ponto-a-ponto que possuem algumas vantagens embora o seu desenvolvimento seja mais dispendioso ao longo do tempo.

É previsível que, num futuro próximo, o acesso baseado em PON seja dominante, devido à tecnologia que está a amadurecer rapidamente. Isto vai permitir que o custo total seja partilhado juntamente com os seus inúmeros clientes. Prevê-se que um número razoável de canais HDTV aumente, o que requer maior largura de banda. Isto providenciará um incentivo para o desenvolvimento de redes FTTH baseadas em WDM. E sendo assim poderá ser que esta tecnologia possa aparecer num curto espaço de tempo no mercado. Apesar de ainda se encontrar numa fase embrionária.

Em comparação com outras tecnologias de acesso como o DSL ou cabo, a FTTH oferece uma maior largura de banda. O obstáculo principal encarado pelos operadores de redes é os preços inacessíveis. O aparecimento de novos serviços existentes, vão exigir maior largura de banda, como o tão esperado HDTV, que será um dos grandes obstáculos.

Capítulo 3

Características Gerais GPON

A tecnologia PON encontra-se disponível desde meados dos anos 90s, mas nos últimos anos esta tecnologia tem amadurecido e os seus *standards* comerciais têm vindo a ser implementados [23].

Em primeiro lugar, as redes PON eram APON e depois estas encontravam-se envolvidas com BPON. A EPON (e mais recentemente GePON) é uma solução alternativa às redes PON. O *standard* do IEEE não é compatível com o APON/BPON. A tecnologia EPON é exclusivo para tráfego *ethernet* e IP.

O GPON é definido pelas recomendações do ITU-T, das séries G.984. Este pode transportar não só *ethernet*, como também ATM e TDM (incluindo PSTN, ISDN e1 e E3) usando um método de encapsulamento GPON (GEM) [5].

A transmissão activa nas redes GPON consiste apenas no OLT e ONU. A Figura 3.1 mostra a arquitectura lógica de uma rede com diferentes opções FTTx (FTTH, FTTB e FTTC) [5].

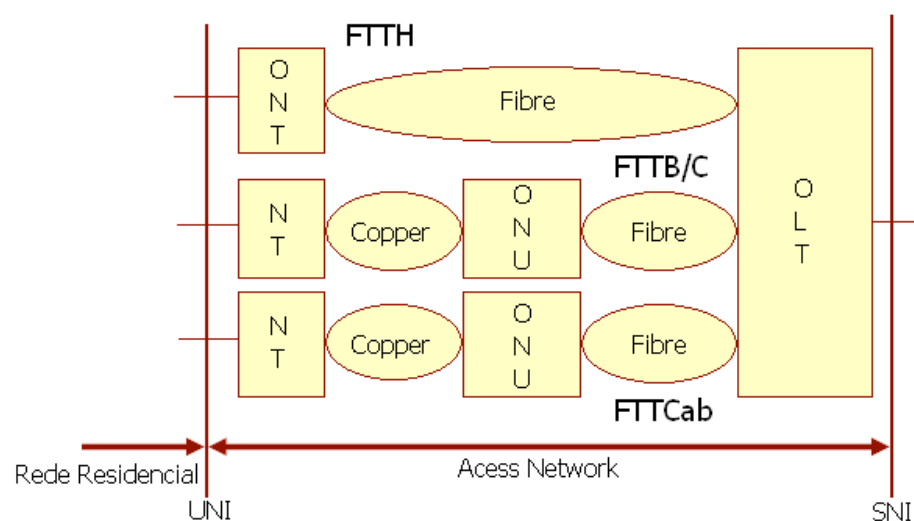


Figura 3.1 Arquitecturas de redes FTTx

A começar pela central, apenas uma fibra monomodo alimenta um *splitter* óptico perto das localidades dos utilizadores (Figura 3.2) [23]. Neste ponto o dispositivo de *splitting* divide a potência óptica em N caminhos para N subscritores. O número da divisão pode variar entre 2 e 64. A partir do *splitter* óptico, as fibras monomodo encaminham-se para cada utilizador. A distância de transmissão da fibra a partir da central para cada utilizador pode chegar a 20 km [5].

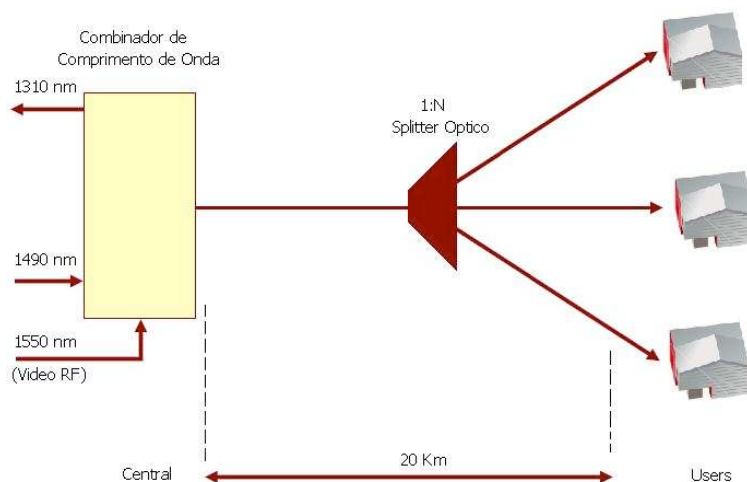


Figura 3.2 Arquitectura Típica GPON

Os *standards* GPON definem taxas de transmissão para *downstream* como *upstream* [6].

Tabela 3.1 Taxas de transmissão GPON

Direcção de Transmissão	Bit Rate
Downstream	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s
Upstream	155.52 Mbit/s
	622.08 Mbit/s
	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s

Apesar de todas as combinações possíveis, a maior parte dos operadores oferecem apenas 1.2 Gbps em *upstream* e 2.4 em *downstream*.

3.1 Arquitectura da Rede de Acesso Óptica

A secção óptica de um sistema da rede de acesso local pode ser tanto activa como passiva e a sua arquitectura pode ser ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto. A Figura 3.1 mostra as arquitecturas consideradas, como FTTH, FTTB/C ou FTTCab. O OAN é comum em todas as arquitecturas como se mostrou na Figura 3.1, daqui pode-se comprovar que o sistema tem potencial para gerar um grande volume de tráfego [6].

De todas as possibilidades o único que nos interessa neste caso é o cenário de FTTH, como já antes apresentado em que são considerados algumas categorias de serviços:

- Serviços de banda larga assimétricos
- Serviços de banda larga simétricos

3.2 POTS e ISDN. Serviços, interface do utilizador de rede e interface do nó de serviço

O GPON requer o suporte a todos os serviços conhecidos e a novos serviços que, não se sabe se serão providenciados aos subscritores, por isso neste momento encontram-se em *stand-by*, devido à capacidade da largura de banda.

O tipo de serviço que irá ser providenciado é mais claro para uns operadores do que para outros e isso vai depender muito das condições que cada operador irá fazer do seu mercado, assim como o potencial do seu mercado. A maneira como estes serviços são entregues na sua eficiência e custo são em função, não só das condições legais, mas também das infra-estruturas e da distribuição nas moradias/habitações e clientes empresariais.

O ONU/ONT possui o UNI, assim como o OLT tem o SNI. O UNI/SNI depende do tipo de serviço que será providenciado pelo operador [6].

3.3 Protecções de secções PON

Do ponto de vista administrativo de acesso da rede, a arquitectura de protecção do GPON é considerado, para realçar a fiabilidade da rede de acesso. No entanto, a protecção deve ser considerada como um mecanismo opcional.

3.3.1 Tipos de *switching*

Existem dois tipos de protecção de comutação, ambos são análogos aos que se usam nos sistemas SDH:

- *Switching* automático
- *Switching* forçado

O primeiro é activo por falha de detecção, como a perda de sinal, perda de trama, degradação de sinal entre outros. O segundo é activo por eventos administrativos, como a substituição de fibra, redistribuição da fibra, etc. Ambos os tipos devem ser possíveis nos sistemas GPON (caso sejam requeridos), apesar de serem apenas funções opcionais [7]. O mecanismo de *switching* é geralmente realizado por funções OAM, consequentemente, a informação requerida do campo OAM deve ser reservada na trama OAM.

Na figura 3.3 é apresentado um modelo do sistema *duplex* para o acesso de rede. A parte relevante da protecção nos sistemas GPON poderá ser a protecção entre a interface ODN no OLT e a interface ODN no ONU excluindo as redundâncias SNI no OLT [6].

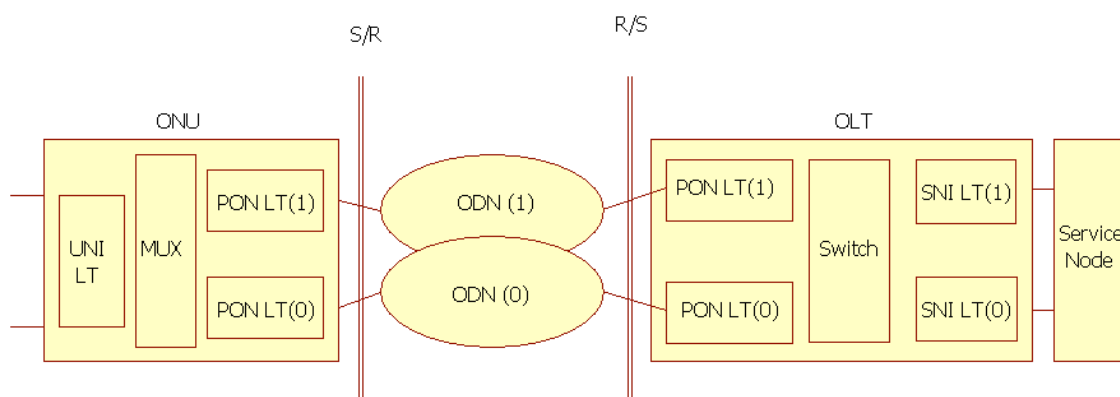


Figura 3.3 Modelo do sistema *duplex*

3.3.2 Configurações *duplex* GPON e suas características

Poderão existir vários tipos de sistema *duplex* GPON. O protocolo de controlo para cada configuração deve ser especificado independentemente uns dos outros.

Por exemplo, não se requer nenhum protocolo de *switching* para o OLT/ONU na Figura 3.4, desde que o *switching* seja apenas aplicado para as fibras ópticas. Também, na Figura 3.5, não se requer o protocolo de *switching*, já que o *switching* é feito apenas no OLT [17].

De seguida será apresentado alguns exemplos de configurações:

- Tipo A: A primeira configuração duplica apenas a fibra óptica. Neste caso, o ONU e OLT são singulares [7].
- A figura 3.4 representa a protecção do tipo A. Neste caso, a perda de sinal ou a perda de trama é inevitável no período de *switch*. No entanto, todas as conexões entre o nó de serviço e do terminal do equipamento devem ser mantidas após o *switching* [7].

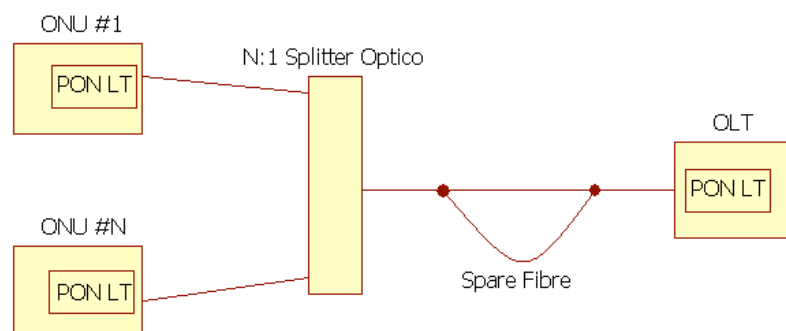


Figura 3.4 Sistema *duplex* GPON - Sistema de duplicação da fibra.

- Tipo B: A segunda configuração duplica o OLT e a fibra óptica entre os OLTs e o *splitter* óptico. O *splitter* terá duas entradas/saídas no lado do OLT. Esta configuração reduz o custo da duplicação dos ONUs, apesar de apenas se poder recuperar do lado do OLT [6] [7].
- É representado pela figura 3.5 esta configuração requer uma espera (inatividade) do lado extra do circuito, no lado do OLT. Neste caso, a perda de sinal ou mesmo a perda de trama, geralmente, é inevitável no período de *switch*. No entanto, todas as ligações suportadas entre o nó de serviço e do terminal do equipamento devem ser mantidas após o *switch* [7].

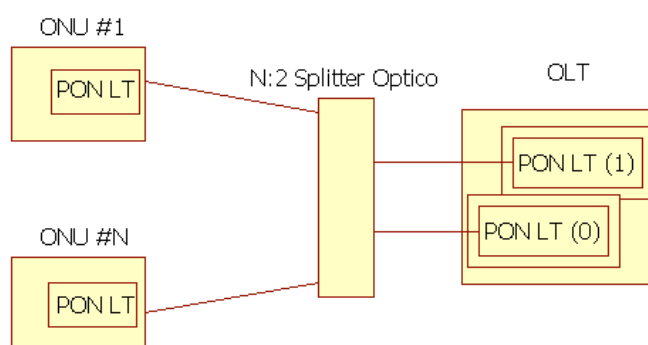


Figura 3.5 Sistema *duplex* GPON - Sistema de único *duplex*

- Tipo C: A terceira configuração duplica não só do lado do OLT, mas também do lado do ONU. Nesta configuração, é possível a recuperação de uma falha em qualquer ponto executando apenas o *switching*. No entanto, o custo do *full duplex* permite uma grande fiabilidade [6] [7].
- No tipo C, a espera (activa) do receptor do circuito extra é possível em ambos os lados do ONU como do OLT. Nesta configuração também é possível não existir perda de trama [7].

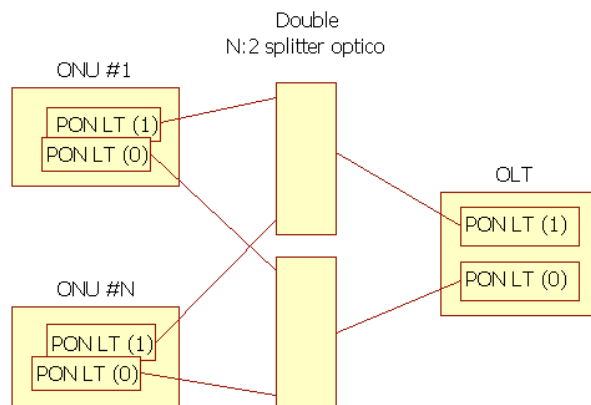


Figura 3.6 Sistema *duplex* GPON - Sistema de duplicação completo

- Tipo D: Se o ONU for instalado no prédio do cliente, a fibra dentro do prédio poderá ser duplicada ou não. Adicionalmente, se houver um ONU para cada utilizador, o termo de confiança vai depender de cada utilizador e apenas um número limitado de ONUs poderá ter uma configuração *duplex*. Baseando-nos nestas considerações, a última configuração permite um *duplex* parcial no lado do ONU [6] [7].
- Finalmente, o Tipo D (figura 3.7), as características deste tipo são similares ao Tipo B.

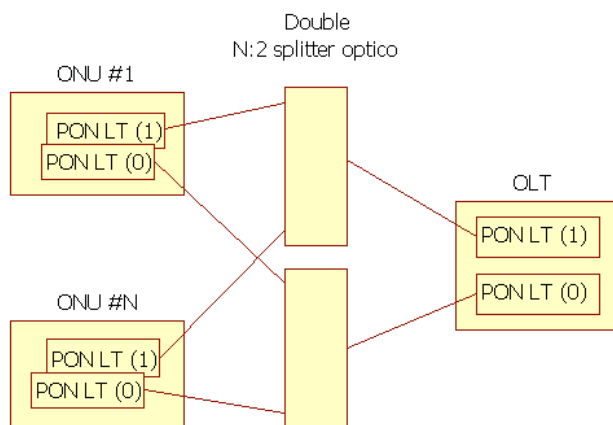


Figura 3.7 Sistema *duplex* GPON - Configuração *duplex*

3.3.3 Requisitos exigidos

O mecanismo de *switching* é geralmente realizado pelas funções do OAM. Consequentemente, o campo de informação do OAM exigido deve ser reservado na trama OAM.

Todas as ligações suportadas entre o nó de serviço e o terminal do equipamento devem ser mantidas após o *switching*.

A função de protecção *switching* deve ser opcional.

Ambas as protecções automáticas e forçadas de *switching* devem ser possíveis nos sistemas GPON (caso requerido), mesmo que estes sejam funções opcionais.

Apesar de serem funções opcionais, devem ser possíveis quaisquer configurações antes apresentadas nestes sistemas [6].

Apesar da última exigência, uma implementação do serviço de nó POTS exige que o período de perda de trama seja inferior a 120 ms. Se o período de perda de trama for superior aos 120 ms, o nó de serviço deve desconectar a chamada e a chamada de instalação é exigida novamente após a protecção de *switching*. Já que o GPON suporta a emulação de serviços convencionais, como POTS e ISDN este período de perda de trama deve ser tomada em consideração.

3.4 Sumário

Em conclusão, a característica mais comuns para a tecnologia GPON seria a da ligação de um equipamento central a uma única fibra que se vai ligar a um *splitter* onde vai ser distribuído o tráfego por N clientes.

As taxas transmissão de tráfego rondam à volta dos 1.2 Gbps em *upstream* e 2.4 Gbps em *downstream*, onde os operadores poderão fornecer serviços de banda larga, POTS entre outros [6].

O UNI e o SNI são as interfaces dos nós de serviço e as interfaces dos nós de utilizador estes vão depender do tipo de serviço que o operador vai disponibilizar e estão atribuídos ao ONU/ONT e ao OLT respectivamente.

Os operadores para além de fornecerem os serviços têm de assegurar o serviço, podendo assim utilizar técnicas de *switching*, onde estas podem ser forçadas ou automáticas. O *switching* é realizado pelo OAM.

Como sistemas de protecção existem quatro topologias base, que servem como referencia para qualquer tipo de rede, os tipo A, B, C e D. Cada um destes depende do tipo de protecção que é pretendido, por exemplo, a topologia de protecção do tipo A, apenas possui uma ligação extra entre o *splitter* e o equipamento central, na altura de *switching* vai haver perda inevitável de trama, mas após este *switching*, todas as ligações terão de ser mantidas [7].

Em suma, a topologia de uma rede GPON, é uma topologia simplista, com agradáveis taxas de transmissão. Os serviços têm de ser assegurados pelos operadores e para isso necessitam de disponibilizar medidas de protecção para a rede. De entre estas topologias de protecção, teremos da mais simplista com apenas uma fibra de redundância, a do tipo A e a mais complexa, com duplicação das saídas do OLT, duplicação de *splitters* e duplicação das entradas para o ONU/ONT. A escolha de cada uma destas topologias, apenas depende do que os operadores pretendem gastar e da qualidade de serviço que cada um dos operadores pretende dar aos seus clientes.

Capítulo 4

Camada de Transmissão

O ITU-T G.984.1 apresenta um *high-level* de componentes e estruturas para o GPON.

Similarmente ao APON, a GPON também define *single-fiber* e *dual-fiber*.

As taxas de transmissão são definidas no ITU-T G.984 e no IEEE:

- *Downstream*: 1244.16 Mbps/2488.92 Mbps.
- *Upstream*: 155.52 Mbps/ 622.08 Mbps/ 1244.15 Mbps/ 2488.32 Mbps.

As normas listam também as características das camadas ópticas para interfaces de velocidade *Gigabit* [9]. Com a mesma disponibilidade de camadas como na APON, o suporte às altas transferências de bits e de potências mais altas são utilizadas para encontrar os requisitos de transmissões de cada sistema.

Para facilitar a implementação de um receptor do OLT (*upstream*) em *burst mode*, o GPON tem especificado um mecanismo de nivelamento de potência, que tem um funcionamento de uma maneira dinâmica.

No mecanismo de nivelamento de potência, o OLT tenta balancear a potência recebida de diferentes ONUs, instruindo os ONUs a aumentar ou diminuir a potência lançada.

Consequentemente, um ONU que se encontre mais próximo do OLT irá ter menos perdas, isto é, irá lançar uma potência mais pequena do que um ONU que se encontre mais longe, que terá mais perdas [8].

A normalização dos sistemas irão ter como taxas de transmissão (*downstream/upstream*) de [6]:

- 1244.16 Mbit/s *dowstream*, 155.52 Mbit/s *upstream*;
- 1244.16 Mbit/s *dowstream*, 622.08 Mbit/s *upstream*;
- 1244.16 Mbit/s *dowstream*, 1244.16 Mbit/s *upstream*;
- 2488.32 Mbit/s *dowstream*, 155.52 Mbit/s *upstream*;

- 2488.32 Mbit/s *dowstream*, 622.08 Mbit/s *upstream*;
- 2488.32 Mbit/s *dowstream*, 1244.16 Mbit/s *upstream*;
- 2488.32 Mbit/s *dowstream*, 2488.32 Mbit/s *upstream*;

Estes parâmetros encontram-se categorizados e definidos por *downstream* e *upstream* e as suas taxas de transmissão nominal podem verificar-se na Tabela 4.1 [8].

Tabela 4.1 Parâmetros de categorias

Direcção de Transmissão	Taxas de Transmissão Nominais
<i>Downstream</i>	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s
<i>Upstream</i>	155.52 Mbit/s
	622.08 Mbit/s
	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s

Estes são especificados relativamente a um objectivo de design de uma secção óptica e de um BER não superior a 1×10^{-10} .

4.1 Arquitectura de Sistema GPON

A Arquitectura de uma rede GPON é a mesma que no caso da especificada em BPON. As informações específicas para os sistemas GPON encontram-se no ITU-T G.984.1.

O sistema GPON suporta taxas de transmissão assimétricas, isto é, taxas de *downstream* e *upstream* diferentes, como se pôde verificar em capítulo anteriores.

Na Figura 4.1, representa-se uma configuração de um sistema GPON que consiste num OLT, um ONU, um *splitter* e fibras. A fibra óptica é ligada do OLT ao *splitter* óptico onde este no mínimo liga-se a 64 fibras que por sua vez irá ser ligadas a 64 ONUs [10].

Na Camada TC em GPON, o alcance máximo lógico encontra-se definido em 60 km enquanto o máximo diferencial de distância de fibra entre o mais longínquo e o mais próximo ONU é de 20 km [8]. O diferencial é restrito para que o tamanho das janelas de transmissão não seja estendido para além do permitido pelo serviço.

O GPON suporta todos os serviços definidos no ITU-T G.984.1. O GTC suporta o transporte de um *clock* de 8 kHz e 1 kHz adicional de referência ao sinal providenciado pelo OLT ao ONU, utilizando um controlo do sinal. Devido à natureza do *multicast* em PON, as tramas *downstream* necessitam de um tipo de mecanismo de segurança na camada TC [8].

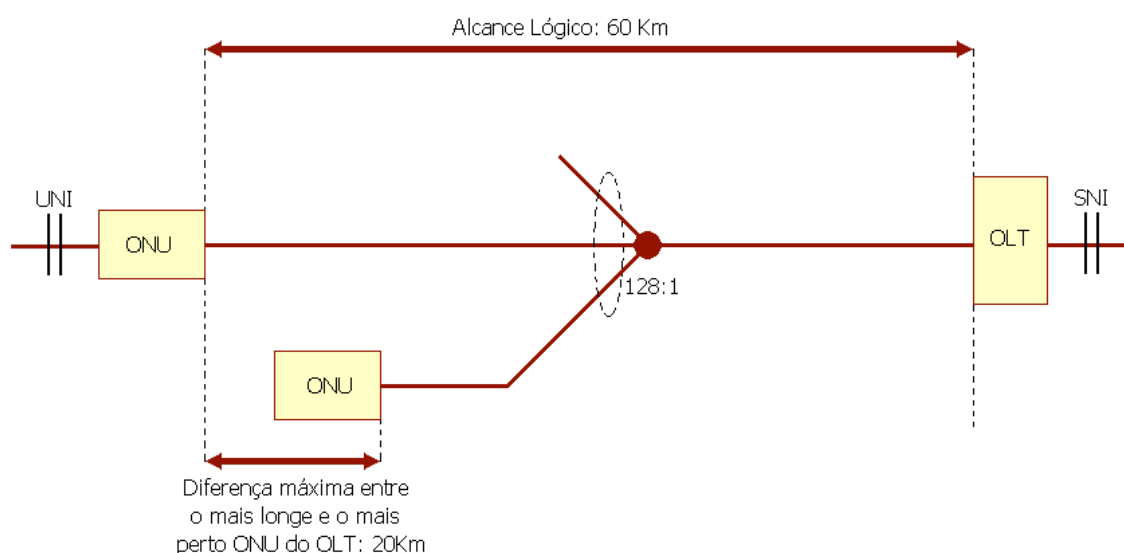


Figura 4.1 Sistema de Configuração GPON

Os OLTs e os ONUs encontram-se categorizados em diversos tipos, como ATM, GEM e Modo Duplo. A Tabela 4.2 apresenta todas as combinações.

Tabela 4.2 Modos Suportados no OLT e ONU

		OLT		
		GEM	Dual	ATM
ONU	GEM	X	X	N/A
	Dual	X	X	X
	ATM	N/A	X	X

4.2 Optical Budget e Potencias

Tipicamente nas redes PON, é ligado uma única fibra proveniente do OLT a múltiplos equipamentos terminais. A chamada ligação ponto-a-multiponto entre o OLT e os múltiplos ONTs é obtida através de um dispositivo que se coloca na única fibra proveniente do OLT.

Mesmo no meio da rede, no ponto de transição existe um *splitter* óptico. Este dispositivo possui uma única entrada e múltiplas saídas. Tipicamente o número de saídas são múltiplos de 2 e a potência óptica é também dividida por todas as saídas [4].

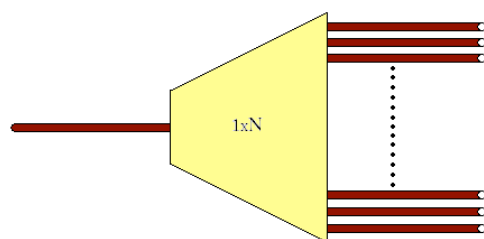


Figura 4.2 Splitter Óptico

Como regra geral, a potencia óptica de cada saída é reduzida relativamente à entrada por um factor de $n \times 3.5$ dB ($10 \log 2n = n \cdot 10 \log 2$; são adicionados 0.5 dB, para que sejam incluídas as perdas no *splitter*).

Este equipamento passivo é um dispositivo bidireccional.

Um dos parâmetros chave para o *design* de redes FTTH é a distância entre o subscritor e o equipamento central, noutras palavras é o máximo de *optical budget* permitido pelo sistema. Estes *optical budget* são contidos na atenuação dos conectores, da transmissão da fibra e dos *splitter* ópticos. De todos estes, o *splitter* óptico é de longe o componente mais exigente em termos de perdas (o *splitter* típico de 1x32 poderá ter perdas entre os 17 dB e 18 dB)

Na arquitectura das redes de acesso óptico (tipicamente PON), estas são compostas por um OLT, ONUs e ODNs este último consiste no meio de transmissão óptica para a ligação do OLT aos ONUs. Uma das características do ODN como as perdas (*link budget*), são muito importantes no *design* da rede de acesso óptico. Normalmente consiste nos seguintes elementos passivos: fibra monomodo, conectores ópticos, atenuadores ópticos entre outros... Estas perdas são dadas na tabela 4.3, que cobre todos os componentes ópticos entre o OLT e o ONU [5].

Tabela 4.3 Perdas no sistema GPON

Items	Unidade	Perdas
Perdas mínimas a 1490 nm	dB	13
Perdas mínimas a 1310 nm	dB	13
Perdas máximas a 1490 nm	dB	28
Perdas máximas a 1310 nm	dB	28

A potência do transmissor e a sensibilidade do receptor são dois parâmetros que definem o alcance das redes de acesso. Na tabela 4.4 encontram-se parâmetros típicos de unidades receptoras - transmissoras para suportar taxas de 1.25 Gbps. Para os dispositivos de receptor e transmissor encontram-se à volta de 22 dB e 23 dB [11]. Baseando-se nestes valores de perdas totais na rede então o máximo de alcance da rede poderá ser calculado, onde P seria o balanço da potência, FCA a atenuação do cabo de fibra em dB/m, L a distância e SL a perdas do *splitter*.

$$P = FCA * L + SL + Penalties [5]$$

A atenuação típica para uma fibra monomodo é de 0.4 dB/m para um comprimento de onda de 1310 nm e 0.3 dB/m para 1550 nm.

Como exemplo, assume-se um balanço de potência de 23 dB, utilizando uma fibra monomodo operando a 1550 nm e SL é de 14 dB, o alcance máximo da rede pode ser calculado a partir de [5]:

$$\frac{23(dB) - SL - 2 * 0.5(dB) - 2 * 0.5(dB)}{FCA \text{ dB/km}} \approx 20 \text{ km}$$

Para configurações típicas PON, o balanço de potência mínimo é apresentado na tabela 4.4:

Tabela 4.4 Mínima potência para diferentes configurações PON

ONUs	L	λ	FCA	SL	Penalidades	Pot. Requerida
16	10 km	1310 nm	0.4 dB/km	14.5 dB	2.5 dB	21dB
16	20 km	1550 nm	0.3 dB/km	14.5 dB	2.5 dB	23 dB
32	10 km	1310 nm	0.4 dB/km	17 dB	2.5 dB	23.5 dB
32	20 km	1550 nm	0.3 dB/km	17 dB	2.5 dB	25.5 dB

4.3 Blocos funcionais

Os Sistemas GPON consistem principalmente em três componentes: OLT, ONU e ODN. Os subcapítulos que se seguem irão providenciar uma referência para a configuração de cada um dos três componentes.

4.3.1 OLT (*Optical Line Termination*)

O OLT é ligado ao *switch* da rede através de um interface normalizado. Do lado da distribuição, apresenta a interface do lado de acesso óptico, de acordo com os *standards* GPON em termos de *bit rate*, de *power budget*, *jitter* etc.

O OLT consiste na sua maioria em três partes:

- Interface de função do porto de serviço
- Função de *cross connect*
- Interface ODN.

A figura seguinte descreve o diagrama de blocos típico de um OLT [8].

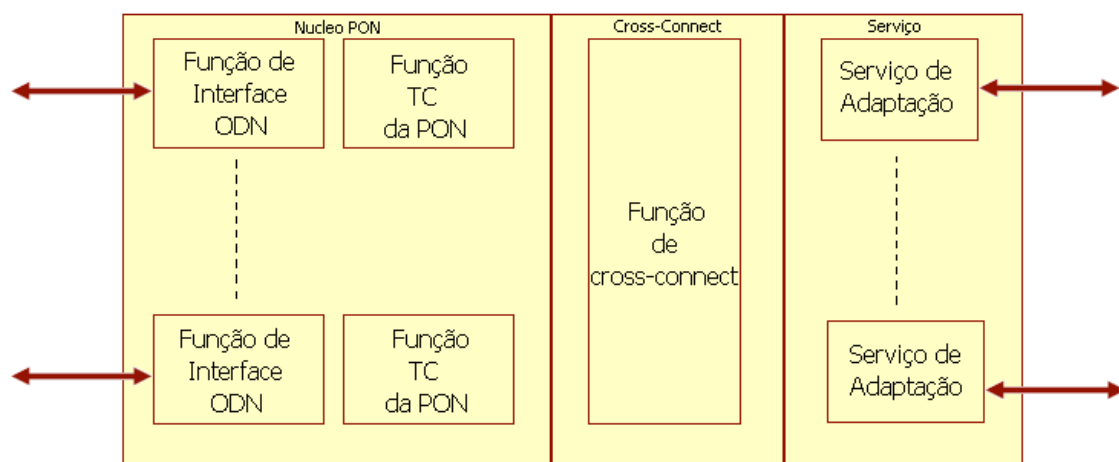


Figura 4.3 Diagrama de Blocos Funcional de um OLT

1)O Núcleo PON

A função PON TC inclui encapsulamento, MAC, OAM, DBA e delineação de PDU para a função de *cross-connect* e administração de ONU. Cada PON TC selecciona um modo de ATM, GEM ou Dual [8].

2)Cross-Connect

O *Cross-Connect* providência um caminho de comunicação entre o Núcleo PON e o Serviço. As tecnologias para ligação deste caminho dependem do serviço, da arquitectura interna no OLT e de outros factores. O OLT providência a funcionalidade de *cross-connect* de acordo com os modos seleccionados [8].

3) Serviço

O serviço providência a conversão de linguagem entre a interface de serviço e a interface da estrutura TC da secção PON.

4.3.2 ONU (Optical Network Unit)

A maior parte dos blocos funcionais do ONU do GPON são muito similares aos blocos funcionais do OLT. Já que o ONU opera apenas com a interface PON (ou no máximo duas interfaces para propósitos de protecção), a função *cross-connect* pode ser omissa. No entanto em vez desta função, funções de serviços MUX e DEMUX são específicas para tratar de tráfego. A configuração típica de um ONU é mostrado na figura 4.4. Cada TC PON selecciona um modo de ATM, GEM e Dual [8].

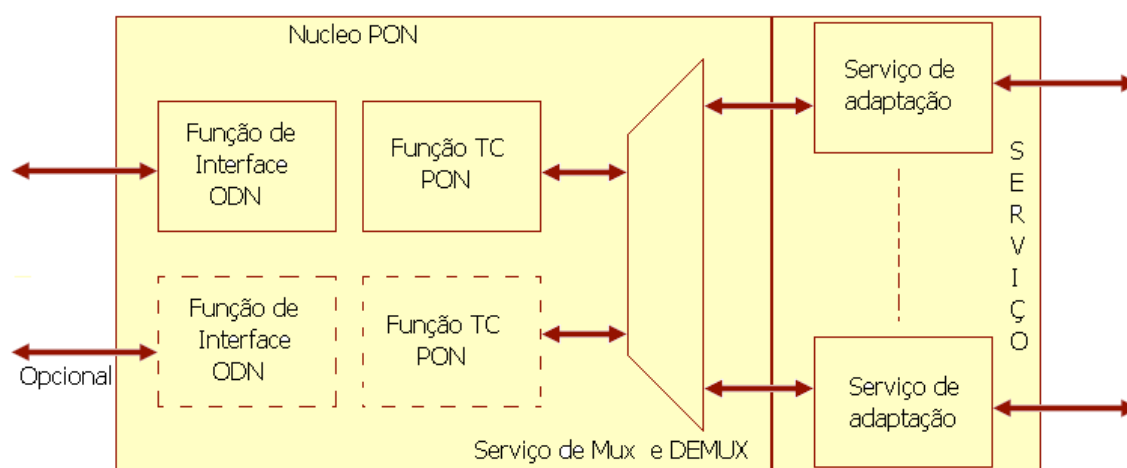


Figura 4.4 Diagrama de Blocos Funcional ONU

4.4 Trama de GTC TC

A Figura 4.5 apresenta o protocolo da *stack* para todo o sistema de camadas TC da GPON. A camada GTC é compreendida em duas sub-camadas, o encapsulamento da sub-camada do GTC e a adaptação da sub-camada de adaptação TC. A partir de outro ponto de vista, o GTC consiste num plano C/M, que trata do fluxo de tráfego do utilizador, da segurança e das características do OAM e do plano U [12]. Como se pode ver na figura 4.5, o encapsulamento da subcamada GTC, partição ATM, partição GEM, OAM embebido e partições PLOAM são reconhecidas de acordo com a localização na trama GTC. Apenas o OAM é terminado nesta

camada para controlo sobre esta sub-camada. A informação PLOAM é processada no bloco PLOAM localizado como uma subcamada do cliente. As SDUs nas partições ATM e GEM são convertidos a partir de/para PDUs convencionais do ATM e GEM em cada adaptação da sub-camada respectiva. Além disso estas PDUs incluem o canal de dados. Estes dados são também reconhecidos nesta sub-camada e são intercambiados de/para a entidade OMCI. O OAM embebido, PLOAM e OMCI encontram-se categorizados em planos C/M. Os SDUs excepto para OMCI em ATM e partições GEM estão categorizadas em planos U.

O encapsulamento das camadas GTC tem uma visão global para todos os dados transmitidos e a camada de encapsulamento GTC do OLT é directo para todas as camadas de encapsulamento GTC do ONU [8].

Além disso o bloco de controlo DBA é especificado como um bloco com funcionalidade comum. Correntemente este bloco tem a responsabilidade de reportar DBAs para todos os ONUs.

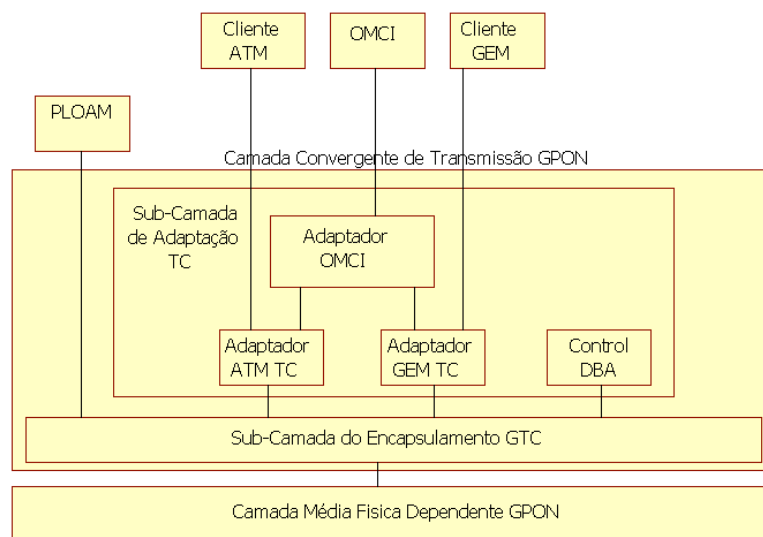


Figura 4.5 Protocolo de *stack* para o sistema GTC

No sistema GTC, o OLT e o ONU nem sempre possuem os dois modos. O ONU reporta o seu suporte básico de modos ATM e GEM via mensagens com os números de série. Se o OLT for capaz de fazer a interface com pelo menos um dos modos este procede ao estabelecimento de um canal OMCI. Se houver uma má combinação, o ONU deve ser declarado como incompatível com os sistemas de operação e de manutenção [8].

Como seria de esperar a estrutura das tramas GTC TC são diferentes para *upstream*, assim como para *downstream*.

A Figura 4.6 apresenta uma estrutura de uma trama GTC TC para *downstream* e *upstream*. A trama de *downstream* consiste no bloco de controlo físico *downstream* (PCBd), a

partição ATM e a partição GEM. A trama de *upstream* consiste em múltiplas transmissões *burst*. Cada *upstream burst* contém no mínimo, o cabeçalho da camada física (PLOu). Para além do *payload*, também contém o PLOAMu, PLSu e as secções DBRu. A trama de *downstream* providência o tempo de referência comum para o PON e providência o controle de sinalização para *upstream* [8] [13].

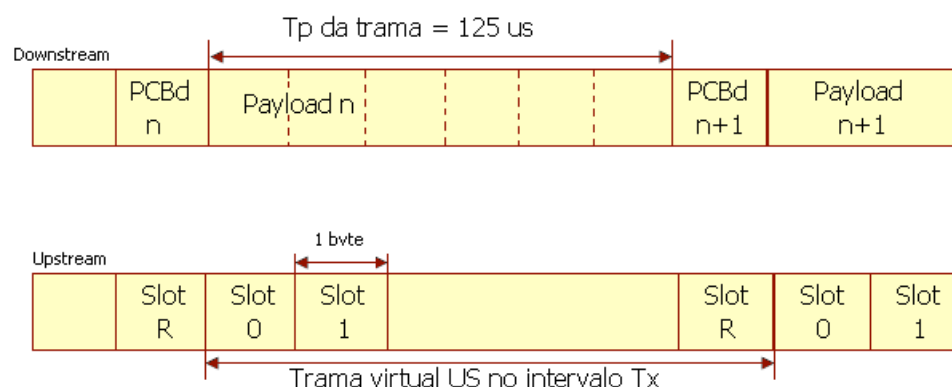


Figura 4.6 Estrutura da trama GTC TC

O OLT envia apontadores no PCBd e estes apontadores indicam o tempo com o qual cada ONU deve começar e terminar a transmissão de *upstream*. Deste modo, apenas um ONU pode aceder ao meio a qualquer momento e não tem nenhuma contenção nas operações normais. Os apontadores são dados em unidade de bytes, permitindo o OLT a controlar o meio a uma largura de banda efectiva estática de 64 kbit/s.

No entanto, algumas implementações do OLT podem escolher os apontadores e o tamanho das *timeslots* e assim alcançar o controlo de agradáveis larguras de banda via a marcação dinâmica.

4.4.1 Mapeamento do tráfego no *payload* GTC

Uma variedade de tipos de dados de utilizador pode ser transportada no *payload* do GTC. O portador primário do protocolo é o ATM e GEM. Dentro de cada um destes portadores de protocolos, vários serviços de utilizador poderão ser transportados [8].

O tráfego ATM é transportado sobre o protocolo GTC na forma transparente. Em *downstream*, as células são transmitidas do OLT para o ONU usando as partições de *payload* ATM. O OLT pode alocar células, quantas forem necessárias em *downstream* e incluir quase todas as tramas *downstream*.

Em *upstream*, as células são transmitidas do ONU para o OLT usando o tempo alocado ATM configurado. Nos *buffers* ONU as células ATM assim que vão chegando, são então enviadas em *burst*. O OLT recebe as células e é multiplexado com o *burst* de outros ONUs, passando-os para o OLT do cliente ATM [8] [12].

Existem várias recomendações que descrevem o mapeamento dos serviços dos utilizadores, como a voz, serviços PDH, serviços *ethernet* e outros em um portador ATM de circuito virtual.

O tráfego GEM é realizado sobre o protocolo GTC na forma transparente. Em *downstream*, as tramas são transmitidas do OLT para o ONU usando partições *payload* GEM. Em *upstream*, as tramas são transmitidas do ONU para o OLT usando a alocação de tempo GEM configurado.

O protocolo GEM tem duas funções, providenciar a delineação do utilizador de tramas de dados e providenciar a identificação do porto para multiplexagem [8]. O cabeçalho do GEM contém o indicador de comprimento do *Payload* (PLI), *Port ID* e indicador do tipo de *payload* (PTI) e o campo de 13-bit do HEC.

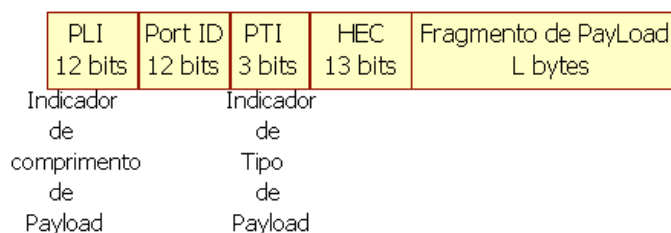


Figura 4.7 Estrutura da trama e cabeçalho da GEM

O PLI indica o comprimento L em *bytes*, do fragmento de *payload* seguindo o cabeçalho. O PLI é usado para encontrar o próximo cabeçalho corrente, para providenciar delineação. O tamanho deste campo de 12 *bit* permite fragmentar até 4096 *bytes* [13].

O *Port-ID* é usado para providenciar 4096 identificadores de tráfego num único PON, onde providência multiplexagem de tráfego. A codificação deste campo de 3 *bit* é similar ao usado no cabeçalho do ATM. Notar que desde que o transporte de GEM ocorra unicamente sobre segmentos GPON, não existe correntemente a necessidade para um *end-to-end* de uma indicação OAM. O código é mostrado em baixo:

Tabela 4.5 Codificação do campo *Port-ID*

Código PTI	Significado
000	Fragmento de dados de utilizador, não ocorrência de congestão, não é o fim da trama.
001	Fragmento de dados de utilizador, não ocorrência de congestão, é o fim da trama.
010	Fragmento de dados de utilizador, ocorrência de congestão, não é o fim da trama.
011	Fragmento de dados de utilizador, ocorrência de congestão, é o fim da trama.
100	GEM OAM
101	Reservado
110	Reservado
111	Reservado

Para o ponto de código 4, o GEM irá reutilizar o formato da célula OAM, isto é, irá suportar um fragmento de *payload* de 48 bytes que é formatada da mesma maneira que a descrita no ATM em funções OAM [8].

O HEC providência a detecção de erro e correcção de funções para o cabeçalho. O HEC para ser usado é uma combinação do código BCH (39, 12, 2) e um bit de paridade singular. O código BCH é processado como a divisão do módulo 2 dos primeiros 39 bits do cabeçalho, pela geração polinomial que deve ser zero na ausência de erros. Se o *shift register* for utilizado para implementar a divisão, os valores iniciais deste registo são todos zeros. O *bit* de paridade é colocado assim que o número total de uns nos cabeçalhos (40 bits) é o mesmo número [8].

Uma vez que o cabeçalho é construído, o transmissor processa um OU exclusivo do cabeçalho com um padrão fixo: 0x0xB6AB31E055 e transmite o resultado. O receptor processa o OU exclusivo dos bits recebidos com o mesmo padrão fixo para recuperar a cabeçalho.

O processo de delineação em GPON requer a presença de um cabeçalho GEM no início de cada partição em *downstream* em cada *payload* GEM *upstream*. O receptor é desse modo assegurado para encontrar o primeiro cabeçalho e podem então encontrar os cabeçalhos subsequentes usando assim o PLI como apontador. Em outras palavras, o receptor transita imediatamente para o estado de *Sync* no início de cada partição de *payload*. No entanto, no caso de erros incorrigíveis no cabeçalho, a delineação do processo pode perder sincronização com a corrente de dados. O receptor irá então tentar readquirir sincronização através de implementação de uma máquina de estados que se representa na figura 4.20 [8]. No estado de procura, o receptor procura por um HEC nos cabeçalhos GEM em todos os alinhamentos (*bit* e *byte*). Quando encontrado, a sua transição passa para o estado de *Pré-sync*. Se o HEC coincidir então a transição é feita para o estado de *Sync*. Se não coincidir então a transição é feita para o estado de procura. De notar que as implementações podem escolher a ter múltiplas instâncias do estado *Pré-sync*, para que falsos HEC não bloqueiem o delimitador

correcto de ser detectado. Também, o processo de recepção pode guardar os dados recebidos enquanto no estado de *Pré-sync* e se a transição para o *Sync* for com sucesso, os dados guardados no *buffer* podem ser correctamente presumidos como sendo um fragmento válido GEM.

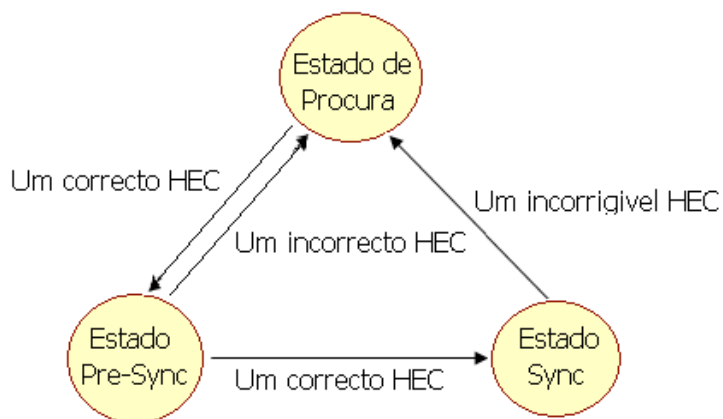


Figura 4.8 Máquina de estados de delineação GEM

Para providenciar a taxa de desacoplamento, é definida uma trama GEM livre [8]. Se não existirem utilizadores de tramas a serem enviados, o processo de transmissão irá gerar estas tramas livres para preencher o tempo vazio. O receptor irá utilizar estas tramas para manter a sincronização, mas como seria de esperar, sem informação para passar ao cliente GEM.

Porque as tramas de dados são de comprimento aleatório, o protocolo GEM deve suportar fragmentação de tramas de dados de utilizador para permitir a inserção de cabeçalho GEM no início de cada partição ou do *payload*. De notar que a fragmentação pode ocorrer em ambos os *downstream* e *upstream*. O bit menos significativo do campo PTI no cabeçalho GEM é usado para este propósito. Cada utilizador de tramas de dados pode ser dividido em número de tramas. Alguns casos de uso do PTI são ilustrados na Figura 4.21.

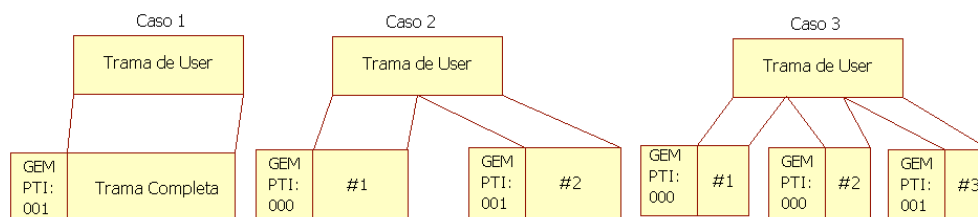


Figura 4.9 Fragmentos de campos de casos de uso.

É importante notar que cada trama produzida é transmitida continuamente [8] [13]. Isto é uma natural consequência dos requisitos em que um cabeçalho GEM deve iniciar cada partição ou *payload*. Consequentemente, o processo de fragmentação deve saber a quantidade de tempo restante na corrente partição ou *payload* e fragmento de um utilizador de tramas de dados apropriados. Outra implicação deste facto é a transmissão de tramas livres. O processo de transmissão deve enviar um padrão de um cabeçalho GEM antecipadamente. O processo de recepção irá reconhecer que este cabeçalho foi enviado antecipadamente. Em qualquer caso, a delineação GEM será restaurada no início da próxima partição ou *payload*.

O processo de fragmentação inerente em GEM pode ser usado para dois propósitos no sistema GTC [13]. O primeiro já foi mencionado, isto é, para inserir um cabeçalho no início de cada partição e *payload*. Em geral estes dois usos de fragmentação podem ser implementados por dois processos separados, o primeiro para inserir o tráfego urgente e o segundo para inserir cabeçalhos para encaixar a partição/*payload* GTC. Os fragmentos GEM urgentes de dados são sempre enviados ao início de cada partição ou *payload*. Porque as tramas GTC possuem uma periodicidade de 125 μ s, isto deve providenciar suficientemente baixa latência para os dados urgentes [13].

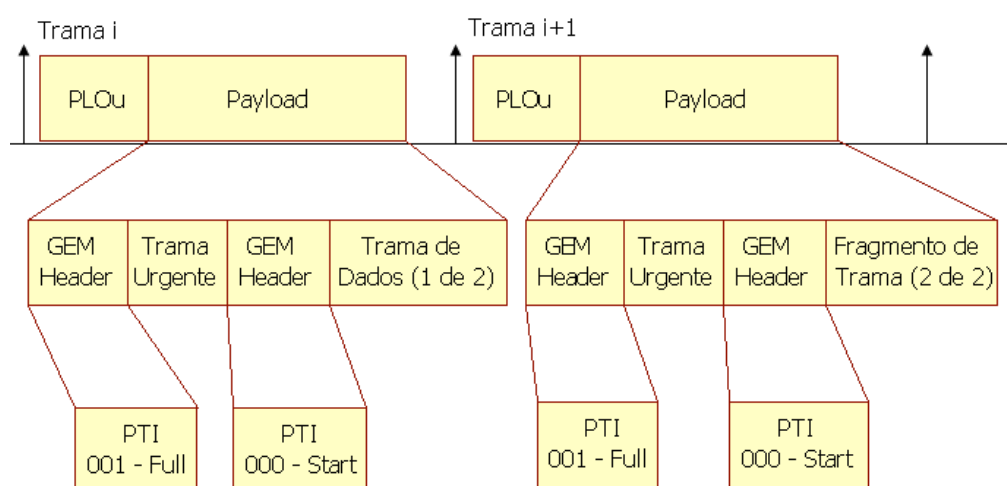


Figura 4.10 Encapsulamento GEM em relação ao encapsulamento GTC

4.5 Mensagens GTC

Existem três métodos de transporte de informação sobre a estação de gerências de rede, o OLT e o ONU.

Canais OAM embebidos: Muitos campos são definidos em estruturas de tramas *downstream* e tramas *upstream*. Estes campos transportam informação em tempo real como a troca de segurança, DBA e Monitorização de *link* BER [8] [20].

Mensagens PLOAM: Mensagens dedicadas de 13 byte podem ser enviadas em *downstream* pelo OLT para o ONU e pelo ONU *upstream* para o transporte de funções OAM entre estes pelo OLT [1].

A informação OAM leva consigo o OMCI que é transportado sobre canais dedicados GEM ou dedicados ATM VPI/VCI.

4.5.1 Formato das mensagens PLOAM

Os alarmes relacionados ou os alertas do *threshold-crossing* accionado por alguns eventos são transportados via mensagens no campo PLOAM de 13 *byte*. Também todas as mensagens de actividade relacionada são mapeadas no campo da mensagem do campo PLOAM [8].

A estrutura da mensagem GTC é mais à frente definida.

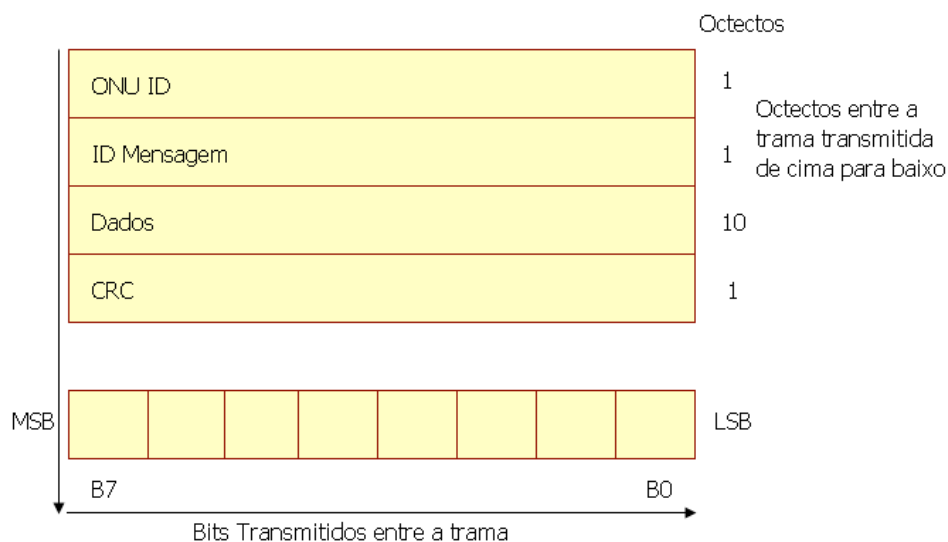


Figura 4.11 Estrutura da mensagem genérica

- O ONU-ID endereça a um ONU particular. Durante este protocolo de *ranging*, ao ONU é atribuído um número, ONU-ID. Este ONU-ID pode ser de 0 a 253. Para *broadcast* para todos os ONUs, este campo é colocado a 0xFF.
- O *Message-ID* indica o tipo de mensagem.
- No *Message Data* os seus octetos são usados para o *payload* das mensagens GTC.
- No CRC o campo é de confirmação da sequência de trama. A mensagem irá ser descartada à recepção quando o CRC é incorrecto. No transmissor, o conteúdo inicial do registo do resto de divisão do dispositivo computado encontra-se presente em todos os 0s e é então modificado pela divisão do campo de mensagem excluindo o campo CRC pelo gerador polinomial; o resultado do resto é transmitido como 8-bit CRC [8].

Nas mensagens de controlo, para o processamento de tempo em todas as mensagens de *downstream* é de 750 us, que é o tempo requerido pelo ONU para processar a mensagem de *downstream* e preparar alguma acção correspondente em *upstream*.

4.6 Alarmes

Os alarmes dependem da performance de monitorização juntamente com o mecanismo de detecção de falha de *link* e monitorização/performance dos *links*. Estes não cobrem funções como gerência de estação, alocação de largura de banda e funções de provisionamento.

Como parte da performance de monitorização oferecida entre o protocolo GTC, as condições de falha de sinal (SF) e a degradação de sinal (SD) são calculados pela recepção lógica e pelos alarmes declarados.

O cálculo das condições de SF e SD são feitas a partir da contagem das violações BIP sobre um certo período de tempo e comparando estes a um *threshold* predefinido. Esclarecendo as condições do SF e SD são feitos de uma maneira similar, sobre os requisitos que o esclarecimento deve ser feito sobre uma ordem de magnitude baixa de condições de detecção, se o SD for declarado com um BER de 10^{-5} este deve ser diminuído para um BER de 10^{-6} .

Os tempos de detecção de *threshold* são dependentes do bit rate de sinal, do desejado BER e do requisito de detecção probabilística [8].

4.7 Esquema de transporte OMCI

A interface de gestão e controlo do ONU é um serviço OAM que providência uma maneira *standard* para descobrir as capacidades do ONU, para gerência-las e controlá-las [9].

4.7.1 Esquema de transporte OMCI

O OMCI opera num canal dedicado bidireccional virtual entre a estação de gerência e o ONU. O transporte da informação do OMCI é feito usando um VC especial estabelecido durante o processo de agrupamento. A estação de gerência pode ser localizada no próprio OLT ou num elemento da rede. A conexão virtual deve alcançar do ONU para o elemento da rede [9].

4.7.2 Modos de transporte

O protocolo GTC providência dois modos alternativos para o transporte OMCI: ATM e GEM. Ambos os OLT e ONU devem suportar ATM, GEM ou ambos simultaneamente.

O OLT aprende da capacidade OMCI do ONUs durante o processo de agrupamento, via a mensagem PLOAM com o número de série ONU. Se existir uma combinação entre o OLT e o ONU, o OLT configura o VPI/VCI ou a *Port-ID* usada para o transporte do OMCI usando uma mensagem PLOAM apropriada.

4.8 Interface de controlo e manuseamento do ONT

As especificações do OMCI cabem no modelo do ITU-T G.984.2 para uma rede de acesso ao sistema conforme ilustrado na figura 4.24. As linhas mostram o caminho para os sinais do OMCI entre um OLT e um ONT.

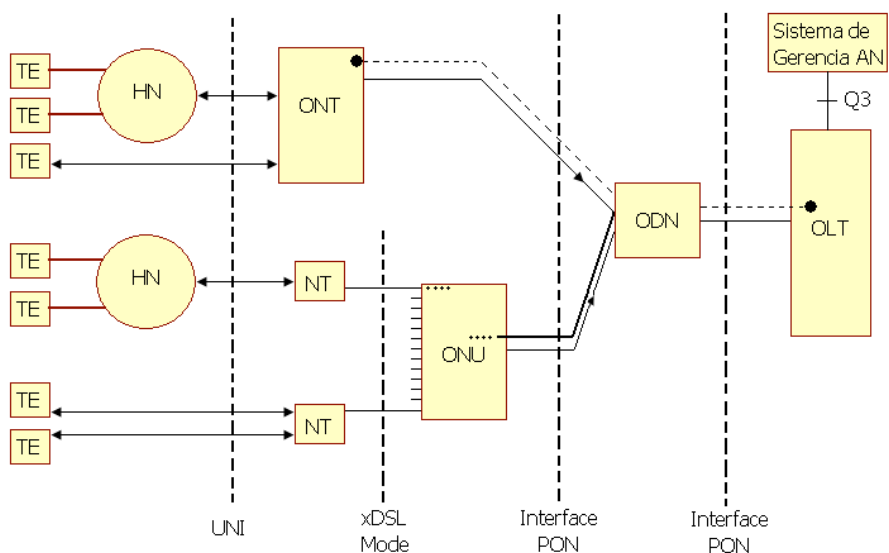


Figura 4.12 Modelo de referência

Nas funções do ONT/ONU como se mostra na figura x, [9] são:

- Função de acesso da rede pela terminação da linha. (NA-LT).
- Função de interface de utilizador da rede pela linha de terminação (UNI-LT), de notar que no caso de *Fibre to the Business* os UNIs de um ONU podem pertencer a diferentes utilizadores.
- Função de multiplexagem e desmultiplexagem (*service MUX e DEMUX*).

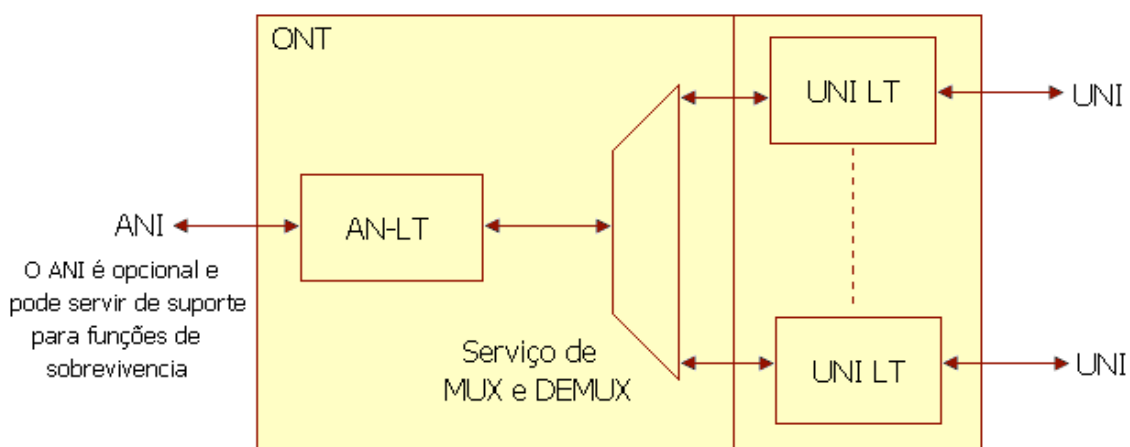


Figura 4.13 Diagrama de blocos ONT/ONU

No ITU-T G.984.3, sistemas GPON *end-to-end* podem funcionar como ATM VP ou VC *cross-connection* com ambos provisionados e conectados em *on-demand* [9].

O ONT, pode, no entanto, sempre actuar como um multiplexador ATM para conexões ATM. O próprio OMCI não distingue entre estes dois casos. O OLT pode, no entanto, atribuir diferentes prioridades às mensagens OMCI.

No encapsulamento das tramas GEM estas são embebidas nas secções PON e são independentes dos tipos de UNIs. O tráfego UNI é sempre encapsulado em tramas GEM para que as funções de *cross-connect* não sejam necessárias no serviço GEM [9].

No suporte de conexões *multicast*, o tráfego pode ser suportado em redes GPON. Enquanto o *Port-ID* é atribuído ao T-CONT na conexão *unicast*, o *Port-ID* é partilhada por múltiplos T-CONTs numa conexão *multicast* [18]. A conexão *multicast* do processo de *setup* é o mesmo que numa conexão *unicast* de processo *setup*. É da responsabilidade do OLT de gerir o membro de um grupo *multicast* e controlar a conexão nos ONUs.

Em *downstream*, a conexão *multicast* que é suportada por um *Port-ID* partilhado é útil. Por outro lado em *upstream*, é impossível de suportar as conexões *multicast* pela sua metodologia porque o OLT não pode voltar a remontar segmentos de pacotes GEM correctamente quando este recebe vários pacotes GEM com a mesma *Port-ID* de diferentes ONTs. Embora, o *multicast Port-ID* deve ser usado quando um OLT envia tráfego *multicast* para os ONTs. A direcção de *multicast Port-ID* é indicada durante as conexões *setup multicast* [9].

4.9 Sumário

Em conclusão, a camada de transmissão desta tecnologia tem um alcance de 60 km e o máximo entre ONUs é de 20 km.

Os *splitters* possuem perdas da ordem dos 17 e 18 dB, assim como a potência requerida por estas redes é da ordem dos 21 a 25,5 dB. Após esta informação e segundo o IEEE, teremos a justificação para os 20 km de diferença entre ONUs.

Os ONUs e OLT suportam tanto ATM, GEM como ambos.

O OLT tem a função de *cross-connect*, isto é, providencia um caminho de comunicação entre o núcleo da rede PON e os serviços que são providenciados. No ONU, o *cross-connect* assimila-se ao OLT, mas no ONU este pode estar omissa.

O GTC tem como objectivo o controlo do fluxo de tráfego do utilizador, de segurança e função de OAM. Isso é feito através de tramas GTC TC que podem ser encontradas em partições ATM, GEM, OAM embebido e mesmo PLOAM.

Nas tramas GTC TC são diferentes em *downstream* e *upstream*. A trama de *downstream* é de 125 μ s, com taxas entre 1.24416 e 2.48832 Gbit/s. Aqui o OLT envia o PCBd em *broadcast*, os ONUs actuam segundo a informação que recebem.

O campo de sincronização da trama é fixo a 32 *bits*. O ONU implementa assim uma máquina de estados para que possa entrar no estado de sincronização.

A trama de *upstream* tem o mesmo comprimento que a de *downstream* para todas as taxas. Para manter a conectividade com o ONU, o OLT tenta alocar a transmissão de *upstream* a todos os ONUs num intervalo mínimo.

No mapeamento de tráfego, uma variedade de tipos de dados de utilizador podem ser transportados no *payload* do GTC. Os portadores primários do protocolo são o ATM e o GEM. Dentro de cada um destes portadores de protocolos, vários serviços de utilizador poderão ser transportados.

São necessários métodos de activação para a instalação de um novo ONU na rede e para isso são utilizados dois métodos principais.

No caso da inserção de um novo ONU é necessário registá-lo e para isso, poderá ser feito por duas maneiras, por avanço ao OLT, ou então, é necessário utilizar um mecanismo de detecção.

Em suma, consegue-se concluir a grande versatilidade desta tecnologia, conseguindo desde já integrar os sistemas mais antigos que utilizam ATM com os novos que utilizam *ethernet*.

Consegue-se também ver que a distância dos 20 km, é algo que já foi comprovado e que é uma distância, com a qual a tecnologia não tem mais perdas do que era suposto.

Os métodos de reconhecimento de novos equipamentos, quer central, quer terminal, é algo que é feito remotamente e que pode ser feito de duas maneiras.

Capítulo 5

Equipamento activo

Efectuaram-se alguns contactos com fornecedores de equipamentos para redes GPON. Apenas duas empresas se mostraram disponíveis para demonstrar e apresentar as suas soluções desta tecnologia. Essas serão designadas por Empresa A e Empresa B. Cada uma das empresas fez a sua apresentação tendo em conta a dimensão, quer geográfica, quer demográfica, da Região Autónoma da Madeira (RAM) e sem conhecer a entidade concorrente.

Os equipamentos de cada empresa são muito semelhantes, apresentando, no entanto, diferenças que são significativas, como se discutirá em capítulos futuros.

5.1 Empresa A

5.1.1 *Optical Line Termination*



Figura 5.1 *Optical Line Termination*

O equipamento central apresentado pela empresa A é o OLT BLM 1500. Com *switchs* redundantes este equipamento garante 100% da capacidade do sistema, sem perda de tráfego e de ligação. As ligações são escaláveis e configuráveis.

Possui um suporte para cartas de *switch* até 320 Gbps (FAB320) e para cartas GPON de 4 ou 8 portos, suportando 3584 ONTs com cartas de 4 portos e 7168 com cartas de 8 portos. Suporta um máximo de 18 cartas.

5.1.1.1 *Switch Fabric/Node Controller*



Figura 5.2 Placa de *switch* e de controlo

O FAB é um equipamento de alta fiabilidade, sem perda em caso de falha e com ligações ponto-a-ponto dedicadas para cada carta. É responsável pela comutação (*switch fabric*), sendo não bloqueante e independente do protocolo de comunicação, a 320 Gbps e não bloqueante em cada slot a 20 Gbps *full-duplex*.

É também responsável pelo controle de nós, com três interfaces de gestão (CLI, TL1 e SNMP) e um interface de utilizador gráfico embebido baseado em Java.

5.1.1.2 Carta de Uplink



Figura 5.3 Carta de Uplink

Para as cartas de uplink, foram apresentados dois modelos:

1. G18, com um porto Ethernet a 10 Gbps e oito a 1 Gbps;
2. G28, com dois portos Ethernet a 10 Gbps e oito a 1 Gbps.

Estas cartas têm como principais características a agregação e protecção de links, o empilhamento (*stacking*) e a etiquetagem (*tagging*) de VLANs e a limitação das taxas por porto para serviços Ethernet a baixa velocidade.

Os SFP ópticos destas cartas suportam alcances ópticos a curta, média e longa distância e funcionam segundo standard 1000 BASE - SX/LX/ZX.

5.1.1.3 GPN



Figura 5.4 Placa para os portos PON

A carta GPON apresentada pela empresa A foi projectada tendo como referência as normas ITU-T G.984. Oferece 2488 Gbps de débito descendente a 1490 nm e 1244 Gbps de débito ascendente a 1310 nm. Opera a classe B+ ODN, a 28 dB. A gestão OMCI respeita a norma ITU-T G.984.4. Esta carta está preparada para um *split ratio* de 1:64, com 128 bit AES e DBA.

Em versões futuras (a partir de 2009) este equipamento terá uma capacidade de 8 portas GPON, o que será mais interessante para a EEM.

5.1.2 Optical Network Termination



Figura 5.5 Equipamento terminal

Este equipamento Terminal tem como portas de *Uplink* uma para GPON e outra para GigE.

Tem a capacidade de transmitir *Wireless*, no caso da utilização de internet, não sendo necessário por parte do cliente a compra de um router adicional.

Possui também um porto para a colocação de telefonia fixa.

5.1.3 FTTB



Figura 5.6 Equipamento para *Fiber to the Building*

A empresa A apresentou um equipamento terminal FTTB que permite oito ligações POTS, oito ligações DS1/E1, uma ligação GigE e oito ligações *Fast Ethernet*.

É um equipamento com especial interesse na ligação a edifícios antigos, onde a instalação de cablagem de fibra até cada habitação pode ser difícil. É política da EEM, bem como de outras empresas na Europa, fazer chegar as ligações de fibra até cada habitação, mesmo nos

casos em que isso se revela mais difícil exigindo, por exemplo, passagem de cabos pelo exterior dos edifícios.

Assim, a solução FTTB oferecida pela empresa A, bem como a solução FTTB oferecida pela empresa A, não é necessária para uma rede GPON na RAM implementada pela EEM.

É por isso que esta solução FTTB é aqui apresentada, por ser uma possibilidade tanto pela Empresa A como pela Empresa B, mas não são colocadas em hipótese nas possíveis redes GPON na RAM.

5.2 Empresa B

5.2.1 Optical Line Termination



Figura 5.7 Equipamento Central

O equipamento central apresentado pela empresa B é baseado nos standards GPON e segue uma linha de continuidade de uma família de produtos com tecnologias e manutenção compartilhadas. Encontra-se preparado para que uma fibra possa suportar 2,5 Gbps em *downstream* e 1,2 Gbps em *upstream*. Utiliza um modo de encapsulamento GPON (GEM) orientado para transferência de tráfego IP/Ethernet mais eficiente.

Cada carta PON tem disponíveis 4 portas PON, sendo que cada uma consegue “alimentar” até 64 subscritores.

Este equipamento encontra-se preparado para a ligação de diferentes ONTs, sendo capaz, desta forma, de satisfazer tanto as necessidades de clientes residenciais como as de clientes empresariais.

5.2.1.1 Ethernet NT 250Gb/s Capacity



Figura 5.8 Carta de *Switching* e de comutação.

Esta carta, que pertence ao equipamento central, realiza *switching ethernet* a 250 Gbps, com uma capacidade WAN de 22 Gbps.

Providencia duas portas a 1 GigE, tendo como interface SFP ópticos e duas portas a 10 GigE, tendo como interface XFP ópticos. Dois NTs poderão ser partilhados onde se cria um núcleo de comutação a 500 Gbps.

Esta carta possui como interface quatro portos para terminação de linha.

5.2.1.2 GPON Line Termination



Figura 5.9 Carta PON

Esta carta pode ser instalada em qualquer uma das 17 *slots* do OLT, possuindo 4 portas PON em conformidade com o standard ITU-T G.984. Oferece débitos de *downstream* e *upstream* de 2,5 Gbps e 1,25 Gbps, respectivamente, com um alcance de 20 km com perdas de ligação na ordem dos 28 dB. Utiliza uma arquitectura não bloqueante com um *switch ethernet* na própria carta.

Utiliza ligações baseadas em 10 GigE para conectividade ponto-a-ponto entre interfaces PON e redes de *uplink*. Tem ainda capacidade para *multicast* de IPTV.

5.2.2 Optical Network Termination

O ONT é o equipamento Terminal, que será colocado nas habitações assim como nas empresas onde serão feitas as ligações terminais ao cliente.

Por parte desta empresa B, foram apresentadas algumas soluções relativamente a ONT, não se ficando exclusivamente por uma.

5.2.2.1 Ultra Compact



Figura 5.10 Solução 1 de Equipamentos Terminais

Este ONT é ultra compacto, tem o tamanho de uma mão e requer espaço mínimo. Desmultiplexa os sinais GPON nas interfaces dos subscritores. Deverá ser montado dentro da habitação, numa parede ou numa mesa, por exemplo.

Providencia dois portos GigE e dois portos *fast ethernet*. A sua alimentação é realizada localmente, dispondo ainda de uma bateria de *backup*.

Este equipamento é ideal para grandes complexos com vários apartamentos, ou locais de pequeno espaço.

5.2.2.2 4 GbE, 2 POTS & optional RF



Figura 5.11 Solução 2 de Equipamentos Terminais

Este equipamento terminal possui quatro portas GigE com autonegociação de 10/100/1000 Base-T, assim como duas portas RJ-11 para POTS e em opção, um interface para RF (coaxial tipo F).

É gerido remotamente pelo Sistema de Gestão de Redes AMS 5520 da Empresa B. Suporta vídeo IP com multistage IGMPv3 ou IGMPv2 para mudança de canal. Possui software cliente VoIP (SIP e H.248) para interligação com POTS.

Este equipamento tem um alcance de 20 km, com perdas de ligação na ordem dos 28 dB.

A alimentação é local, com ou sem bateria de *backup*.

Tem suporte para *antispoofing* de endereços MAC e IP, assim como um gestor de falhas de conectividade para verificação de continuidade, com funções de *loopback*, *traceroute* e avisos AIS.

5.2.2.3 4 GbE



Figura 5.12 Solução 3 de equipamentos terminais.

Este equipamento terminal possui quatro portas GigE com autonegociação de 10/100/1000 Base-T. Todas as portas podem ser configuradas para operar em modo *bridged* para criação de uma LAN. Pode ser gerido remotamente pelo Sistema de Gestão de Redes AMS 5520.

Suporta vídeo IP com *multistage* IGMPv3 ou IGMPv2 para mudança de canal.

Este equipamento tem um alcance de 20 km, com perdas de ligação na ordem dos 28 dB.

A alimentação é local, com ou sem bateria de *backup*.

Tem suporte para *antispoofing* de endereços MAC e IP, assim como um gestor de falhas de conectividade para verificação de continuidade, com funções de *loopback*, *traceroute* e avisos AIS.

Suporta manipulação de *tagged VLANs* baseada em serviços Ethernet.

Disponibiliza informação de diagnóstico como intensidade do sinal recebido (RSSI), temperatura e voltagem.

Permite a ligação de 4 PC's, STB, telefones IP etc.

5.2.2.4 Ethernet, POTS and RF video



Figura 5.13 Solução quatro de equipamentos terminais.

Este é um modelo de ONT compacto e para uso *indoor*, podendo ser montado numa parede ou em cima de uma mesa, por exemplo. Possui duas portas de FE e duas portas RJ-11 para POTS. Opcionalmente, pode ter uma porta para vídeo em RF, com um conector coaxial 75 W F.

É gerido remotamente pelo Sistema de Gestão de Redes AMS 5520 da Empresa B. Suporta vídeo IP com *multistage* IGMPv3 ou IGMPv2 para mudança de canal. Possui *software* cliente VoIP (SIP e H.248) para interligação com POTS.

Este equipamento tem um alcance de 20 km, com perdas de ligação na ordem dos 28 dB.

A alimentação é local, com ou sem bateria de *backup*.

Este ONT é ideal para clientes residenciais, com necessidade de ligações de dados, POTS e vídeo RF.

5.2.3 FTTB



Figura 5.14 Solução para *Fiber to the building*

Este equipamento oferece débitos até 100 Mbps e disponibiliza 24 portas VDSL2. É um equipamento que funciona tanto em FTTB como em FTTH, conseguindo fornecer serviços a clientes com qualquer uma destas duas tecnologias a partir da mesma fibra.

Poder ser instalado tanto em interiores como em exteriores, suportando temperaturas entre os -40C e +65C.

Oferece ONTs virtuais, com gestão de QoS a partir do OMCI tanto para clientes FTTB como para clientes FTTH.

Como já foi referido este equipamento é aqui apresentado como uma solução que, apesar de possível, não será utilizada. Só o seria em casos extremos, que não acontecem na região piloto.

5.3 Sumário

Em conclusão, a Empresa A apresenta um equipamento central com capacidade total de 18 cartas, onde 14 são dedicadas a ligações PON, 2 destas para *switch* e controlo de tráfego e duas mais de *Uplink*. Cada carta PON, tem a capacidade de suportar no máximo oito circuitos PON. A solução apresentada para o equipamento terminal, é básica, onde possui apenas as funções básicas e necessárias para um cliente.

No caso da Empresa B este possui um equipamento central com capacidade para 17 cartas, onde 14 são cartas dedicadas a circuitos PON e duas cartas para comutação de tráfego. Cada carta PON tem a capacidade para suportar 4 circuitos como máximo. Esta empresa para o caso dos equipamentos terminais, ainda a variedade é maior, desde o mais básico com ligações para telefone internet e televisão, ao com a possibilidade para a integração de televisão RF.

Em suma, a solução apresentada pela Empresa A, quando se trata de equipamento central, é mais aliciante, pois tem a capacidade para mais que o dobro dos clientes, assim como as cartas para a possibilidade de *switch* em caso de falha.

Infelizmente, para o caso dos equipamentos terminais, a Empresa B fica a ganhar, tendo então, uma gama mais variada dos equipamentos que são apresentados. Diz-se infelizmente, pois se tudo fosse na mesma empresa, seria perfeito.

Capítulo 6

Equipamento Passivo

Neste capítulo apresentam-se as soluções apresentadas pela empresa fornecedora de equipamento passivo. Neste capítulo, apenas será apresentada uma solução, solução essa de um único fornecedor, isto porque, a Empresa de Electricidade da Madeira já à muito tempo que trabalha com o mesmo fornecedor deste tipo de equipamento.

De entre todos os equipamentos, um dos quais durante esta tese já foi falado algumas vezes encontra-se o *splitter*. A própria fibra pertence ao equipamento passivo, com uma nova fibra de mercado já aqui apresentada.

6.1 Material Utilizado

Nem só de Equipamento Activo vive uma rede passiva, por isso é realmente necessário o equipamento passivo, nestas redes GPON. Nos próprios standards da tecnologia fala-se muito em *splitters* ópticos. Este equipamento passivo assim como a própria fibra óptica que interliga todos os equipamentos activos.

Os restantes equipamentos como os ODF ou mesmo as caixas de Distribuição/Junção, são também elementos passivos, que numa primeira visão do problema não se dá muita importância, mas quando se trata do planeamento e da própria implementação da rede estes se tornam equipamentos fundamentais.

O ODF podem ser instalados na parede ou em bastidores, utiliza-se para a terminação de cabos de fibra óptica por ligação directa mediante soldadura (fusão). Estes equipamentos serão utilizados principalmente para a distribuição final, pois quando o cabo de fibra com N fibras alimenta várias habitações, é necessário fazer a distribuição individual para cada uma destas, por isso utiliza-se o ODF.



Figura 6.1 ODF de parede

Na tabela 6.1, é apresentada a característica de um ODF de parede em que será instalada na base de um prédio, ou mesmo para distribuir às restantes habitações.

Tabela 6.1 Características do ODF

ODF		
Dimensões	Comprimento	420 mm
	Altura	250 mm
	Profundidade	80 mm
Peso	3 Kg	
Capacidade Cabos	4 Cabos de FO int/ext, máx 21 mm	
Painel Frontal	48 ST, 48 SC	
Material	Acero galvanizado	

No caso da distribuição da cablagem, não podemos utilizar estes tipos de distribuidores, pois é necessário algo mais robusto, com muito maior capacidade, que será colocado nos PT's. Isto é, a partir do equipamento central que se encontrará alocado num PT, sairá um cabo com x fibras, quando este chegar ao PT seguinte, irá ser colocado uma caixa de juntas de fibra óptica em que irá fazer a derivação das fibras, podendo assim expandir a rede através de outros PTs.

O Torpedo permite proteger as juntas de cabo com os níveis máximos de qualidade, fiabilidade e estanquicidade em instalações de redes de distribuição. O modelo básico permite a fusão até 2 cabos de entrada e 2 de saída, com uma capacidade máxima standard de 96 fusões, obtida mediante 4 bandejas de juntas de 24 fusões cada uma. As suas propriedades e acessório permitem a instalação directamente enterrada em terra, instalação em caixas de visita em paredes ou em instalações aéreas. As suas características conferem-lhe uma alta resistência a impactos e compressão, assim como à penetração de água. A sua selagem especial de silicone permite múltiplos ciclos de abertura para reparação/manutenção, conservando inalteradas as suas características isolantes.



Figura 6.2 Torpedo

É apresentado assim na tabela 6.2, as características de um torpedo que será instalado nos PT's. Os PT's são a opção mais lógica, pela simples razão, são locais, onde se tem uma zona dedicada a Telecomunicações, onde quem tem acesso é unicamente de quem trabalha nessa área. As restantes possibilidades quando se fala de acesso, não são bem assim. Nas caixas de visita, as equipas de distribuição de energia teriam acesso e muitas vezes teriam que movê-los se quisessem fazer alguma reparação na rede de energia. No caso da Terra enterra-los, não é nada viável, pois se depois necessitássemos muda-los, iria custar mais, do que a própria compra do equipamento.

Tabela 6.2 Características do Torpedo

Torpedo		
Dimensões	Largo	435 mm
	Largura	205 mm
	Altura	113 mm
	Altura módulo de expansão intermédia: 54 mm	
Peso (em vazio)	2,8 kg	
Capacidade Cabos	4 entradas (2+2) m configurações standard	
Diâmetro cabos	6 mm - 25 mm	
Nº Máximo Fusões	4 bandejas de 24 fusões, total 96 juntas	

Podemos falar em Distribuição de Fibra, alimentação às habitações, mas também teremos de falar em distribuição de serviços, taxas de transmissão entre outros. Para isso é necessário utilizar os *splitters* ópticos de 1:64. Os *splitter* ópticos, são os elementos principais nestes tipos de rede (FTTH). Além de menor perda de inserção possível obtida pela diferença de sinal entre a entrada e cada uma das saídas do *splitter* existem também outras características essenciais para um componente de alto desempenho. Têm uma grande uniformidade entre as diversas saídas do *splitter*, alta isolamento entre portas, um elevado valor de perda de retorno, grande compactação e estabilidade térmica para uso externo. São todos factores muito importantes para o uso destes equipamentos. Estes, conforme vem sendo referido ao longo desta tese, irão fazer a ligação de cada PON a 64 utilizadores. O local onde irão ser instalados vai ser dependentemente do que se vai alimentar, pois será diferente se forem 64 habitações residenciais ou dois blocos de apartamentos com 32 habitações cada um.



Figura 6.3 Splitter Óptico de 1:64

E finalmente, é necessário interligar todos os equipamentos, é necessário ter o nosso suporte físico para o transporte. Na rede da Empresa de Electricidade da Madeira irão ser usadas fibras monomodo. Irão ser adquiridos cabos com várias fibras.

A maioria dos cabos ópticos, devido à necessidade de muitas fibras ópticas, será cabos de armadura e de dupla bainha, com capacidades entre 12 a 144 fibras. O cabo standard, possui características mecânicas melhoradas, adequada à instalação directamente enterrada ou directamente em condutas. A topologia *loose*, longitudinalmente estanque e com protecção



Figura 6.5 Nova fibra para *indoor*

6.2 Sumário

Em conclusão, a construção de uma rede óptica para a integração de serviços, também é necessário o equipamento passivo. O caso do ODF, que pode ser instalado na parede ou num bastidor, é utilizado para fazer a ligação de cabos usando para isso a fusão.

Os torpedos equipamentos mais robustos, utilizados para a derivação ou junção de cabos de fibra óptica.

O *splitter* o qual se pode de chamar o coração da rede, será a interface entre o equipamento central, o OLT e os 64 clientes.

Finalmente, temos os cabos de fibra óptica, de tipos diferentes, isto é, um tipo para *indoor* e outro tipo para *outdoor*. Os cabos de fibra de *indoor*, são novas no mercado.

Em suma, as soluções apresentadas pela empresa de equipamento passivo são já do conhecimento da empresa, pois a maior parte destes equipamentos, são utilizados nas redes actuais da empresa.

Capítulo 7

Região Piloto

Neste Capítulo é apresentado a escolha de uma região com a qual a EEM tem objectivo de começar a sua primeira rede GPON. Dando uma certa ideia de como foi realizada a escolha desta zona e as suas razões.

Também se pretende dar uma ideia de como foi feita o design da rede passiva, integrando os equipamentos activos na rede.

E finalmente, pode ser dada uma ideia da quantidade de material que seria necessário para a construção de uma rede deste tipo para poder fornecer serviços a 7404 clientes.

7.1 Escolha da região piloto

Para se poder iniciar um projecto desta envergadura é necessário que se escolha a zona de desenvolvimento da rede piloto, é necessário que essa zona tenha as condições ideais e os clientes alvo para o fornecimento dos serviços.

Sendo assim, foi escolhido uma zona desenvolvida da RAM, onde se teria a certeza que a própria Empresa de Electricidade da Madeira já tivesse condutas, isto é, o transporte e distribuição de energia fosse feito em condutas, aproveitando-nos desta situação para podermos lançar a fibra a baixo custo, visto que a fatia maior de um orçamento para o lançamento de fibra óptica vai para a obra civil, isto é, a abertura de valas, a construção de condutas entre outros.

O facto de a EEM já possuir as suas próprias condutas, ao contrário de muitas zonas de Portugal Continental em que as condutas são propriedade das Câmaras Municipais Locais, foi um facto determinante para que se prosseguisse à análise tecnico-financeira de uma possível Rede GPON, isto porque, o facto de não ter de pagar o aluguer das condutas, não ter de construir novas condutas entre outros factores, é já por si, uma boa quantidade da fatia financeira que a EEM não terá.

Outro grande factor, por se ter escolhido a zona que se escolheu, foi o de que a maioria dos edifícios são novos, sendo assim, a abertura de uma nova realidade FTTH, deixando para trás uma minoria desprezável em que se teria de colocar equipamentos FTTB para integrar na rede GPON fornecendo os mesmos tipos de serviços que a qualquer outro cliente.

Por isso, pesando todos estes factores, foi decidido a região com a qual se vai poder iniciar o desenvolvimento de uma possível rede GPON, como se pode verificar na figura 7.1.



Figura 7.1 Mapa da região piloto

As zonas a vermelho da figura 7.2, são zonas indesejáveis, indesejáveis porquê? Porque, numa das zonas o lançamento de fibra torna-se um pouco custoso e muito pouco viável, pois é uma zona um pouco deserta, onde se teria um ou outros clientes dispersos, será possível incluir esta zona na rede após algum tempo e não numa fase inicial. A outra zona a vermelho é alimentada através de outra subestação, onde o mais viável seria fornecer serviços através da rede GPON com um equipamento central na subestação mais próxima dessa zona. Visto que a região piloto será toda alimentada através de uma Subestação onde serão colocados o/os equipamentos centrais.



Figura 7.2 Red Zone

7.2 Dimensionamento da rede

Tendo uma primeira fase de projecto já definida, é necessário ocupar-se da carteira de clientes alvo, assim como toda a rede de baixa/média tensão, incluindo as condutas e os PT's.

Existe uma ferramenta que a EEM tem vindo a utilizar de há uns anos para cá, o eSit, onde a partir dos dados que obtivemos, poderíamos agrupar os clientes por PT's (figura 7.3) onde se iria ter os nossos ODF's/Torpedos. A partir daí faz-se a distribuição até ao *splitter* chegando finalmente ao cliente final. Aqui já se pode ter uma ideia um pouco definida do número de *splitter* que serão necessários.

	B	C	D	E	F
1513	Morada 1	F-SM-542	15		
1514	Morada 2	F-SM-544	29		
1515	Morada 3	F-SM-544	29	94	2x1:32
1516	Morada 4	F-SM-544	36		1:64
1517	Morada 5	F-SM-549	14		
1518	Morada 6	F-SM-549	15		
1519	Morada 7	F-SM-549	22	52	2x1:32
1520	Morada 8	F-SM-549	1		
1521	Morada 9	F-SM-550	9	9	
1522	Morada 10	F-SM-551	12		
1523	Morada 11	F-SM-551	12		2x1:64
1524	Morada 12	F-SM-551	12	79	
1525	Morada 13	F-SM-551	19		
1526	Morada 14	F-SM-551	24		
1527	Morada 15	F-SM-553	1		
1528	Morada 16	F-SM-553	1		
1529	Morada 17	F-SM-553	1		
1530	Morada 18	F-SM-553	1		
1531	Morada 19	F-SM-553	1		
1532	Morada 20	F-SM-553	1		
1533	Morada 21	F-SM-553	1		
1534	Morada 22	F-SM-553	1		
1535	Morada 23	F-SM-553	1		
1536	Morada 24	F-SM-553	1		
1537	Morada 25	F-SM-553	1		
1538	Morada 26	F-SM-553	1		
1539	Morada 27	F-SM-553	1		
1540	Morada 28	F-SM-553	1		

Figura 7.3 Agrupamento de Clientes por PT.

A região piloto tem como objectivo atingir uma carteira de clientes da ordem dos 7200, onde, como já dito anteriormente encontram-se agrupamos por PT. Após esta fase de agrupamentos por PT's, por uma questão de facilidade de trabalho, é necessário efectuar um esquema unifilar dos PT's, para que se possa ter uma ideia de como se poderia efectuar o lançamento da fibra óptica e qual a melhor solução para a colocação dos ODF/Torpedo (caixas de Derivação).

Depois de concluídas as fases de esquemas unifilares, agrupamentos de clientes por PT, quantidade de *splitters* por clientes deve-se prosseguir à fase verdadeiramente dita de dimensionamento, que primordialmente foi feita em papel como se verifica na figura 7.4 e mais tarde em formato Digital onde devem ser feitas alguns melhoramentos e optimizações necessárias para estes tipos de redes.



Figura 7.4 Dimensionamento da rede em papel.

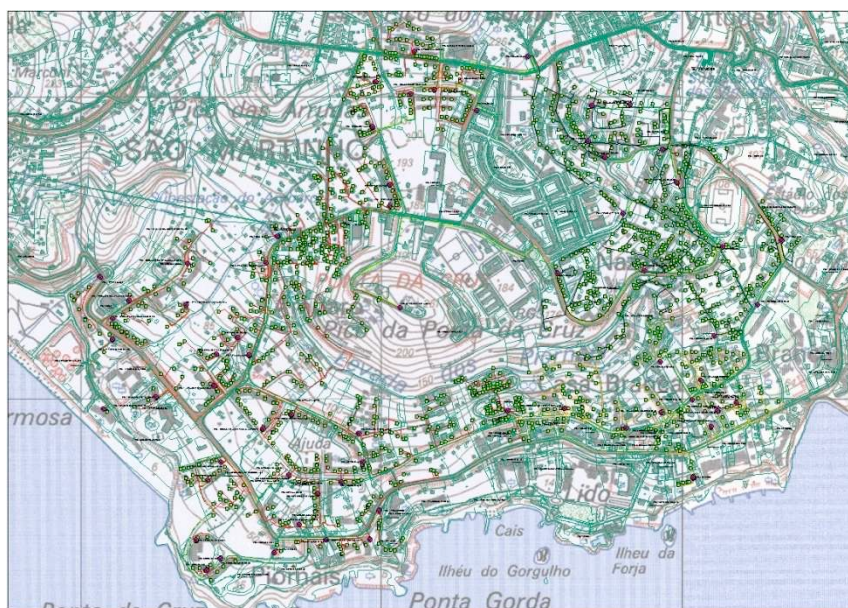


Figura 7.5 Dimensionamento Digital

7.3 Equipamento passivo/activo

Após uma análise profunda e de haver um dimensionamento de uma rede, onde se pode verificar a passagem da cablagem, o número de clientes que se pretende atingir, a quantidade de *splitters* que se terá de utilizar, é necessário fazer-se um balanço da quantidade de equipamento que se vai necessitar. É necessário ter-se a quantidade de cabo que será necessário e o tipo de cabo, a quantidade de *splitters* e o número de torpedos/ODF que serão instalados quando se trata de material passivo. No caso de material Activo, terá de ser visto consoante fabricante. Como se pode verificar em capítulos anteriores, cada um destes tem uma solução diferente relativamente ao equipamento central. Em relação aos ONTs haverá apenas um equipamento por cliente. O OLT que é o equipamento central, o que faz a interface de serviços/clientes este será a única diferença entre fornecedores, pois o equipamento da Empresa B apenas consegue distribuir serviços a 3584 clientes enquanto o OLT da Empresa A consegue um total de 7168 clientes.

No caso dos elementos passivos, como já dito, teremos os torpedos que serão colocados nos PTs para que se possa fazer a distribuição da fibra que vá do equipamento central até antes de chegar ao *splitter*. O ODF será utilizado para a distribuição em alguns casos antes do *splitter* e noutros depois do *splitter*. A fibra, aí teremos variadas hipóteses, consoante o que será necessário, o cabo principal será o descrito no capítulo anterior. Quando se fala do produto final, aí iremos ter outro tipo de fibra (*single-fiber*), onde a Empresa de Electricidade da Madeira irá seguir as restantes implementações no resto da Europa.

Nas quantidades de equipamento passivo, no caso da quantidade de fibra decidiu-se colocar toda a fibra num único patamar e não a colocamos discriminadamente, pois para que se possa ter uma ideia geral de toda a quantidade de fibra que vai ser utilizada.

Sendo assim, após uma análise total da rede que a Empresa de Electricidade da Madeira pretende lançar esta irá ter um total de equipamento activo e passivo, como se mostra nas tabelas seguintes:

Tabela 7.1 Quantidade de equipamento Passivo

Equipamento	Quantidades
Fibra (SUBST-PT)	135000 m
Fibra (PT-casa)	60579 m
<i>Splitter</i> 1:64	114
ODF	280
Torpedo	46

Tabela 7.2 Quantidade de Equipamento Activo da Empresa B

	Equipamento	Quantidades
OLT	Hardware	
	Fully configured rack with 1 OLTS-M shelf (ETSI)	3
	Alarm control unit, version C (with EMI gasketing)	3
	NT FILLER ASSEMBLY	3
	250G NT EXNT-A	3
	SFP GE-LX 10km -40C to +85C, 1310nm	3
	XFP 10GigE LW/LR 1310nm SM-LC 10 km	3
	GLT4-A GPON LT Card 2.4 Gbps downstream	28
	Software	
	7342 FTTU OLT SW R4.x RTU on a per GPON line card basis	28
	7342 FTTU FGU4.5.05 OLT SW Kit FTP	3
	7342 Outdoor and Indoor ONT Release 4.5.05 SW FTP	3
ONT	Modelo x	7404

Tabela 7.3 Quantidade de equipamento da Empresa A

	Equipamento	Quantidades
OLT	System Software R6.1	2
	Rear Exhaust Chassis	2
	FAB 320; Switch Fabric/Node Controller	4
	GP8; 8-Port GPON Optical Line Terminal	15
	G18; 8-port GigE + 1-port 10GE	4
	PON SW RTU, price per PON-port	120
	SFP Module, 10 km - 1000baseLX	8
	XFP Module, 10km - 10GBaseLR	4
	POTS Basic Software RTU	15360
ONT	HGU - T08XG	7680

Relativamente à quantidade de material que irá ser utilizada nesta rede, prossegue-se ao pedido às empresas fornecedoras deste tipo de equipamentos os seus preços referencia, para um projecto desta envergadura, visto isto ser uma tecnologia de presente e futuro na Europa.

7.4 Sumário

Em conclusão, na implementação de uma rede deste género, é preciso ter em conta que a Empresa de Electricidade da Madeira possui já as suas próprias condutas, fazendo assim com que o custo da mão-de-obra baixe significativamente.

O grande factor para a escolha da região piloto, foi devido à zona escolhida ser nova, onde a maior parte da população pertence a uma classe social média-alta.

No inicio do dimensionamento de uma rede, é necessário ter-se em atenção o numero de clientes e agrupa-los ao PT mais próximo, pois será a partir dai que serão alimentados. Partindo de um design à mão, isto é em papel, para à posteriori passar para um digital, onde se faz uma optimização da rede e dos recursos que serão utilizados.

Após tudo isto, é necessário fazer a mão-de-obra, da quantidade de material que será utilizado, para que as empresas fornecedoras possam fazer os seus orçamentos reais, quer dos equipamentos activos, quer dos equipamentos passivos.

Capítulo 8

Análise Financeira

A análise financeira vai determinar até que ponto os meios financeiros da EEM irão ser adequados à manutenção do desenvolvimento estável e se vão permitir fazer frente aos seus compromissos.

Na análise financeira iremos ter a recolha de informação e o estudo financeiro de forma que no final se possa fazer um julgamento seguro sobre a viabilidade de um projecto desta envergadura.

Para qualquer projecto as empresas necessitam de capitais, capitais esses que neste caso irão ser próprios [21].

Partindo deste factor, nunca se poderá esquecer que todos os capitais têm um custo, custo esse que deverá ser reduzido ao mínimo. Não deve ser esquecido que uma gestão financeira exige a utilização de um conjunto de capitais, o mais reduzido possível, dentro dos limites necessários.

Sendo assim, irá ser feita com as duas soluções apresentadas pelas duas empresas a A e a B uma análise tendo em vista todo o capital que será necessário investir, o retorno que se poderá ter e o tempo até à ocorrência do retorno. [22].

Para efeito da análise financeira é considerado o pior dos casos, isto é, um crescimento anual baixo, da ordem dos 5% que vai corresponder sempre a 5% da carteira de clientes que falta abranger pela rede. Também se considera a venda do equipamento terminal para cada cliente, sendo assim, irá ser aliviada de uma maneira considerável todo o capital investido. E finalmente a venda dos serviços ao próprio cliente. No caso para próprio benefício da Empresa de Electricidade da Madeira esta rede irá abranger um projecto antigo que é a Telemetria, com os contadores eléctricos, água e gás a serem conectados a esta rede.

Sendo assim, prossegue-se à própria análise Financeira tendo todos estes factores em conta, pois cada um terá um impacto importante na viabilidade da Implementação do projecto [21].

Após a avaliação das necessidades de equipamento para o projecto e após a Empresa A e a Empresa B terem dado os seus preços referência, terá de se fazer o balanço deste projecto e estudar a sua viabilidade.

Em relação ao equipamento Passivo, todo o material necessário será igual tanto para a Empresa A, como para a Empresa B. Isto acontece porque o Material Passivo não irá ser comprado a nenhuma das duas, será algo à parte em que a Empresa de Electricidade possui o seu próprio fornecedor, onde não possui qualquer contracto fixo com nenhuma empresa.

Desta forma, convém inicialmente fazer-se uma análise separada. Quando se tratar de fazer os balanços financeiros de cada solução apresentada, aí sim, teremos de entrar com todo o equipamento presente.

Das duas soluções apresentadas para o equipamento activo, a da empresa A e a da empresa B, o equipamento que mais diferenças apresentam é o equipamento central. Como foi discutido em capítulos anteriores, o equipamento central da empresa A possui uma capacidade muito superior ao da empresa B.

No estudo inicial efectuado, já se tinha uma ideia de quanto seria o gasto financeiro por cliente, apresentando assim uma tabela com percentagens por categoria, isto é equipamento activo equipamento passivo entre outros.

Tabela 8.1 Gastos para a rede em percentagens

Materiais da rede passiva (Fibre; splitters; joints)	15,40%
Equipamento Activo (Equipment 1:64 Split Ratio)	15%
Diversos	1.4%
Obra Civil/ Mão de Obra / Design da Rede	68.2%

É importante ter em consideração que os valores apresentados na tabela são previsões efectuadas antes de cada uma das empresas ter apresentado as suas soluções para o projecto.

8.1 Equipamento passivo

Ao ser feito o dimensionamento da rede e já sabendo à partida quantos clientes se pretendia abranger, tem então uma ideia da quantidade de equipamento passivo que vai ser necessário nesta rede, isto é, o número de ODFs, de torpedos e a quantidade de fibra que vai ser necessária, assim como a quantidade de splitters ópticos.

Pediu-se então os preços referência ao fornecedor com quem a Empresa de Electricidade normalmente contacta e sendo assim, foi inicialmente fornecido um conjunto de preços de material passivo que após o dimensionamento da rede, tornou-se completamente irreal. Sendo assim, foi novamente pedido um orçamento com as quantidades reais que irão ser necessárias, deixando para trás quaisquer irrealismos.

Como já dito anteriormente esta apresentação dos preços dos equipamentos passivos, é inicialmente feita à parte, pois o fornecedor é diferente. Os equipamentos Activos, foram empresas a quem contactamos e que se demonstraram interessadas. No equipamento passivo, a EEM já teria um fornecedor. Para o balanço final, tudo entrará em conta, o equipamento activo de cada um e o equipamento passivo.

Sendo assim, a tabela de preços, assim como as quantidades necessárias são demonstradas na tabela 8.2.

Tabela 8.2 Preços do Equipamento Passivo

Equipamentos	Quantidades	Investimento
Fibra (SUBST-PT)	135000 m	
Fibra (PT-Casa)	60579 m	
Splitter (1:64)	114	
ODF	280	
Torpedo	46	
Custo Total Investimento		290.000,00 €

8.2 Empresa A

No caso da Empresa A, a sua configuração para esta rede seria indispensável a utilização de dois equipamentos centrais, um com configuração máxima, tentando assim abranger o maior numero de clientes e outro com configuração mínima dando solução aos restantes clientes, onde o primeiro equipamento central não conseguiu. Então, teríamos um equipamento central com 14 cartas com possibilidade de 8 PONs abrangendo assim um total de 7168 clientes e um segundo equipamento central com apenas uma carta PON (tendo em conta a carteira de clientes) para abranger os restantes 236 clientes, restando ainda PONs por utilizar. Este segundo equipamento, ainda não dá a possibilidade de expandir, colocando mais cartas PON. Na solução de equipamento terminal desta empresa apenas nos apresenta uma solução, não dando a hipótese de ter escolha.

A solução da Empresa A tem uma grande vantagem, devido às suas cartas possuírem quase o dobro da capacidade dos equipamentos da Empresa B, consegue-se reduzir o espaço ocupado de três equipamentos, para dois equipamentos.

Poderemos verificar na tabela 8.3, os preços dos equipamentos centrais assim como as configurações de cada um dos dois equipamentos.

Tabela 8.3 Equipamento Central e Terminal

	Equipamento	Quantidades	Valor de Aquisição (Por Equipamento)
OLT	System Software R6.1	1	250.000,00 €
	Rear Exhaust Chassis	1	
	FAB 320; Switch Fabric/Node Controller	2	
	GP8; 8-Port GPON Optical Line Terminal	14	
	G18; 8-port GigE + 1-port 10GE	2	
	PON SW RTU, price per PON-port	112	
	SFP Module, 10 km - 1000baseLX	4	
	XFP Module, 10km - 10GBaseLR	2	
	POTS Basic Software RTU	14336	
ONT	HGU - T08XG	7168	250,00 €

	Equipamento	Quantidades	Valor de Aquisição (Por Equipamento)
OLT	System Software R6.1	1	60.000,00 €
	Rear Exhaust Chassis	1	
	FAB 320; Switch Fabric/Node Controller	2	
	GP8; 8-Port GPON Optical Line Terminal	1	
	G18; 8-port GigE + 1-port 10GE	2	
	PON SW RTU, price per PON-port	8	
	SFP Module, 10 km - 1000baseLX	4	
	XFP Module, 10km - 10GBaseLR	2	
	POTS Basic Software RTU	1024	
ONT	HGU - T08XG	512	250,00 €

Infelizmente esta solução apenas nos apresenta uma única solução de equipamento terminal, um único ONT, não deixando assim, grandes possibilidades de escolha, como dito já anteriormente.

Resumindo, ao se realizar esta análise financeira, pretende-se apresentar um panorama pessimista, tendo como objectivos mínimos uma obtenção de 5% dos clientes que se pretende abranger, assim como um preço de venda de cada ONT. Toda esta analogia é exactamente igual ao da solução da Empresa anterior, isto porque embora se tenha uns preços diferentes, nas soluções muito caras, não se poderá aumentar também o preço de venda na mesma grandeza, temos que ter em conta a realidade que se vive e o país em que se vive. Em suma, todas as considerações que foram realizadas para o primeiro caso, também foram realizadas para este caso, os custos de obra civil, o lançamento de cabo em condutas, as fusões, a própria instalação de equipamento, assim como os custos de manutenção permanente. O preço da venda de serviços seria o mesmo em volta dos 40€.

Após isto tudo, apenas resta fazer o balanço total desta solução, juntando assim, todo o investimento equipamento activo/passivo e obra civil, assim como todos os lucros que se vai poder obter mensalmente e finalmente a manutenção necessária da rede.

Tabela 8.4 Valores de Investimento Inicial

	Ano 0	
Investimento do Equipamento Activo	2.230.000,00 €	
Investimento do Equipamento Passivo	290.000,00 €	
Custos com pessoal (Obra Civil)	1.262.382,00 €	
Custos com pessoal (Manutenção por % do I.I.)	10,0%	
Taxa de Crescimento Anual de Clientes	5,0%	
Venda do ONT (preço por unidade)	100 €	
Preço de Venda ao Cliente (preço por mês)	40,00 €	0,00 €
	Dos Quatro Serviços	Telemetria (Obrigatório)
Total de Encargos Financeiros	3.908.382,00 €	

Tabela 8.5 Balanço

Contas	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Dívida de Negócio	-3.908.382,00 €	-4.348.842,38 €	-4.589.022,13 €	-4.601.345,22 €	-4.355.469,45 €
Vendas	222.120,00 €	455.346,00 €	700.233,30 €	957.364,97 €	1.227.353,21 €
Vendas de ONTs a Clientes	37.020,00 €	38.871,00 €	40.814,55 €	42.855,28 €	44.998,04 €
Custo de Manutenção	-390.838,20 €	-390.838,20 €	-390.838,20 €	-390.838,20 €	-390.838,20 €
Custos de Capitais	-308.762,18 €	-343.558,55 €	-362.532,75 €	-363.506,27 €	-344.082,09 €
<i>Cash Flow</i>	-4.348.842,38 €	-4.589.022,13 €	-4.601.345,22 €	-4.355.469,45 €	-3.818.038,49 €

Contas	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8
Dívida de Negócio	-3.818.038,49 €	-2.952.412,91 €	-1.718.378,47 €	-71.829,65 €
Vendas	1.510.840,87 €	1.808.502,92 €	2.121.048,06 €	2.449.220,47 €
Vendas de ONTs a Clientes	47.247,94 €	49.610,34 €	52.090,86 €	54.695,40 €
Custo de Manutenção	-390.838,20 €	-390.838,20 €	-390.838,20 €	-390.838,20 €
Custos de Capitais	-301.625,04 €	-233.240,62 €	-135.751,90 €	-5.674,54 €
<i>Cash Flow</i>	-2.952.412,91 €	-1.718.378,47 €	-71.829,65 €	2.035.573,48 €

Como se pode verificar, com esta solução, apenas a partir do ano 8, começaríamos a ter algum lucro. Mas também se poderia ver as coisas com outros olhos e em vez de um panorama pessimista, poderíamos fazer as coisas de outra forma, que seria ter uma taxa de crescimento de 10 % ao ano, uma taxa de manutenção inicial de 5 % do valor inicial e a venda do ONT a um preço de 120 euros e concerteza que se vai ver a mesma diferença que no caso da Alcatel, teríamos um lucro a partir do ano 4. É uma visão optimista e ambiciosa. Não se pode dizer, que para estes tipos de projecto não se deve ser ambiciosos, mas sim ambiciosos quanto baste.

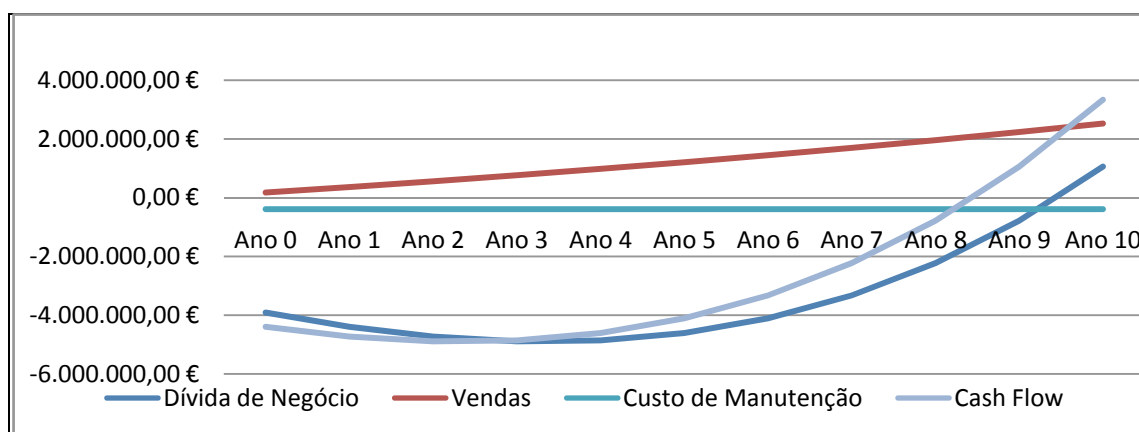


Figura 8.1 Gráfico relativamente ao primeiro balanço efectuado.

8.3 Empresa B

Na solução apresentada por esta eram necessários 3 equipamentos centrais, com capacidade para 168 portos PON, significa que poderíamos expandir a rede sem necessidade de comprar outro equipamento central ou mesmo outras cartas para expansão de PONs. Cada Equipamento central, possui uma certa quantidade de cartas como se pode verificar na tabela 8.6. Também se pode verificar, as várias possibilidades de Equipamentos terminais apresentados por esta empresa, tendo a Empresa de Electricidade da Madeira optado por uma dessas soluções, por não ser muito limitada e ter funcionalidades que darão algumas possibilidades diferentes aos vários clientes. Mas mesmo assim, são aqui apresentadas todas as possibilidades, para que se possa ter uma ideia dos preços e da variação desses preços consoante as suas funcionalidades.

Como se pode ver na tabela 8.6, temos os preços dos equipamentos centrais, contemplando toda a carteira de clientes, um total de 7404 clientes.

Tabela 8.6 Equipamento Central OLT

	Equipamento	Quantidades	Valor de Aquisição (Por Equipamento)
OLT	Hardware		6.900,00 €
	Fully configured rack with 1 OLTS-M shelf (ETSI)	3	
	Alarm control unit, version C (with EMI gasketing)	3	
	NT FILLER ASSEMBLY	3	
	250G NT EXNT-A	3	
	SFP GE-LX 10km -40C to +85C, 1310nm	3	
	XFP 10GigE LW/LR 1310nm SM-LC 10 km	3	
	GLT4-A GPON LT Card 2.4 Gbps downstream	42	
	Software		
	7342 FTTU OLT SW R4.x RTU on a per GPON line card basis	42	
	7342 FTTU FGU4.5.05 OLT SW Kit FTP	3	
	7342 Outdoor and Indoor ONT Release 4.5.05 SW FTP	3	

Como já falado anteriormente, temos as várias soluções de equipamentos terminais, que se pode verificar os seus preços por unidade assim como todos os seus preços totais.

Tabela 8.7 Tabela dos Equipamentos Terminais

Equipamento	Quantidades	Valor de Aquisição (Por Equipamento)	Investimento (em Euros)
Ultra Compact	7404	150,00 €	1.110.600,00 €
4 GbE, 2 POTS, optional RF	7404	210,00 €	1.566.129,00 €
4 GbE	7404	200,00 €	1.480.800,00 €
Ethernet, POTS and RF video	7404	230,00 €	1.702.920,00 €

Finalmente, é apresentado um panorama pessimista relativamente ao crescimento da carteira de clientes que a Empresa de Electricidade da Madeira tende a conseguir anualmente, pensou-se que os 5% dos clientes que faltam abranger seria um valor pessimista e um valor mínimo para que se possa ter alguma rentabilidade em pouco tempo, assim como o preço de venda de cada ONT. Temos também o valor de toda a obra civil, isto é, o lançamento de cabo nas condutas, nas habitações, as fusões que serão necessárias fazer e finalmente a instalação de equipamento. Todas estas redes, têm um custo de manutenção e face às redes actuais da na Região Autónoma da Madeira e a experiencia nesta empresa,

teremos uma aproximação ao custo de manutenção permanente de 10 % do custo inicial. Finalmente, após uma breve consulta de mercado, através da concorrência, as mensalidades que cada cliente teria de pagar seria de 40€, pensou-se que começar abaixo de qualquer concorrência seria o ideal.

Após isto tudo, apenas resta fazer o balanço total desta solução, juntando assim, todo o investimento equipamento activo/passivo e obra civil, assim como todos os lucros que se vai poder obter mensalmente e finalmente a manutenção necessária da rede.

Tabela 8.8 Valores de Investimento Inicial

	Ano 0		
Investimento do Equipamento Activo	1.857.900,00 €	ONT (melhor opção)	4 GbE, 2 POTS, optional RF
Investimento do Equipamento Passivo	290.000,00 €		
Custos com pessoal (Obra Civil)	1.262.382,00 €		
Custos com pessoal (Manutenção por % do I.I.)	10,0%		
Taxa de Crescimento Anual de Clientes	5,0%		
Venda do ONT (preço por unidade)	100 €		
Preço de Venda ao Cliente (preço por mês)	40,00 €		0,00 €
	Dos Quatro Serviços		Telemetria (Obrigatorio)
Total de Encargos Financeiros	3.114.122,00€		

Tabela 8.9 Balanço

Contas	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Dívida de Negócio	-3.114.122,00 €	-3.456.833,84 €	-3.638.188,11 €	-3.636.015,98 €
Vendas	177.696,00 €	364.276,80 €	560.186,64 €	765.891,97 €
Vendas de ONTs a Clientes	37.020,00 €	38.871,00 €	40.814,55 €	42.855,28 €
Custo de Manutenção	-311.412,20 €	-311.412,20 €	-311.412,20 €	-311.412,20 €
Custo de Capital	-246.015,64 €	-273.089,87 €	-287.416,86 €	-287.245,26 €
<i>Cash Flow</i>	-3.456.833,84 €	-3.638.188,11 €	-3.636.015,98 €	-3.425.926,20 €

Contas	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
Dívida de Negócio	-3.425.926,20 €	-2.981.105,95 €	-2.272.104,88 €	-1.266.600,69 €
Vendas	981.882,57 €	1.208.672,70 €	1.446.802,33 €	1.696.838,45 €
Vendas de ONTs a Clientes	44.998,04 €	47.247,94 €	49.610,34 €	52.090,86 €
Custo de Manutenção	-311.412,20 €	-311.412,20 €	-311.412,20 €	-311.412,20 €
Custo de Capital	-270.648,17 €	-235.507,37 €	-179.496,29 €	-100.061,45 €
<i>Cash Flow</i>	-2.981.105,95 €	-2.272.104,88 €	-1.266.600,69 €	70.854,96 €

Como se pode ver, apenas a partir do ano 7 se poderá dizer que conseguiríamos ter um lucro. Também se poderia ver as coisas de outra forma, que seria uma taxa de crescimento de 10% anual, a venda dos equipamentos terminais a 120 euros e uma taxa de manutenção de 5 % do investimento inicial, aí, conseguia-se ter um lucro a partir do ano 3, o que seria uma diferença de 4 anos estes últimos valores são um pouco ambiciosos, não se pode dizer que sejam impossíveis, mas ambiciosos.

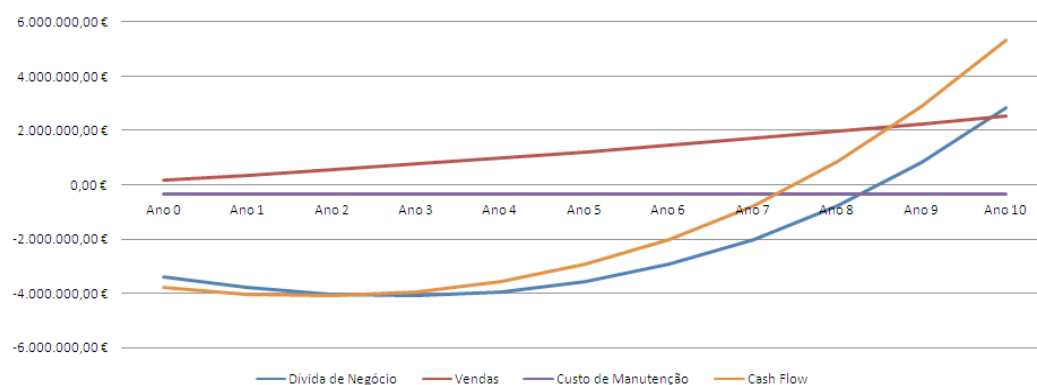


Figura 8.2 Gráfico relativo ao primeiro balanço efectuado.

8.4 Sumário

Em conclusão, a análise financeira é que vai determinar a viabilidade do projecto em si. Teve que ser feita a recolha de alguma informação para que este estudo se pudesse tornar algo mais real e não fossem só número numa tabela. A própria análise financeira é feita de maneira separada para as duas empresas que fornecessem os equipamentos activos, pois duas soluções diferentes, com preços indiscutivelmente diferentes, apresentarão duas visões diferentes. Em relação ao material passivo, aí a empresa fornecedora é independente das outras duas, onde entrará na análise financeira de cada uma das soluções dos equipamentos activos apresentados.

Ao ver as duas soluções, cada uma destas com alguma capacidade de expansão, sem ter a necessidade de comprar mais material. Para uma destas empresas a configuração dos equipamentos centrais é completa enquanto a outra apresenta uma configuração completa e outra mínima.

Em relação aos equipamentos terminais, uma das empresas apresenta várias soluções, com equipamentos para variadas soluções, dando várias possibilidades ao cliente final, tendo assim, também uma variedade de preços que vão influenciar indiscutivelmente o projecto final.

Em suma, financeiramente a solução apresentada pela empresa B é muito mais vantajosa que a solução apresentada pela empresa A, os custos dos equipamentos muito mais baixa. A nível de equipamentos centrais embora a solução apresentada pela empresa B tenha menos capacidade o preço para este equipamento é muito mais baixo que da outra empresa. Quando se fala de equipamentos terminais, a empresa B, para além de ter uma variedade de equipamentos terminais, consegue equiparar os preços da empresa A.

Capítulo 9

Conclusão e Perspectivas de Desenvolvimento Futuro

Neste capítulo sintetiza-se as principais conclusões obtidas durante o desenvolvimento desta dissertação, concluindo com uma nota final para desenvolvimentos futuros que podem ser feitos neste domínio.

9.1 Conclusão

No início deste trabalho fez-se uma síntese do que seria a tecnologia GPON, o tipo de arquitectura, os tipos de protecções, os débitos que esta tecnologia pode oferecer. Conclui-se que a arquitectura desta tecnologia é algo muito simples no âmbito da implementação, não exige uma grande “ginástica” no que se trata de instalação de equipamentos, quer terminal quer central, quando se fala da parte activa. Quando é a parte passiva, as coisas se tornam diferentes embora não sejam também muito complicadas, o lançamento da fibra nas condutas da Empresa de Electricidade da Madeira, colocando, quer os *splitters*, quer a parte de fusões nos PT's, ou em caves de edifícios.

O mercado dos serviços que são pretendidos disponibilizar, é um mercado que se encontra constantemente em evolução, onde o utilizador procura sempre o melhor serviço e mesmo uma melhor largura de Banda.

Sendo nesta dissertação em âmbito empresarial objecto de estudo a análise técnica desta tecnologia, avaliou-se os standards apresentados pelo ITU-T, pelo IEEE e pelo FSAN, sob os quais a tecnologia GPON se rege.

O trabalho teve por base a Empresa de Electricidade da Madeira, com o propósito de utilizar as suas infra-estruturas para o lançamento da fibra e a colocação dos equipamentos Centrais.

Após uma análise profunda das infra-estruturas da Empresa de Electricidade da Madeira, conclui-se que esta possui já um bom avanço para a implementação desta rede. Caso a Empresa tivesse em ideia a realização de mais de uma rede esta teria a facilidade de as interligar, através do seu próprio *backbone*.

Neste sentido, foi feito o design de uma possível rede GPON, tendo por base, os standards e os artigos publicados e procurando respeitar as boas práticas e métodos seguidos pela empresa.

No final do design da rede e após se ter feito uma análise aos custos que a realização deste rede, isto é, apenas os custo da parte passiva, concluiu-se que a abertura de condutas, é algo não muito agradável financeiramente, nem mesmo burocraticamente, isto porque, a abertura de uma vala, requer muita burocracia e um investimento financeiro que não vale a pena, muitas vezes, senão quase todas as vezes é muito mais viável o lançamento de mais quatrocentos metros ou mesmo um quilometro de fibra, pois o lançamento da fibra é algo muito barato.

Outra das coisas era a colocação de *splitters*, ODF e torpedos em que inicialmente, pensou-se em colocar em armários de distribuição de electricidade, o que também se pensou que isto daria o acesso do material óptico a muita gente e seria então sujeito a qualquer tipo de engano por parte das equipas de distribuição, concluiu-se coloca-los nos PT's, onde as telecomunicações possuem algo próprio, isto é, onde só as telecomunicações necessitam de lá mover.

Após todas estas verificações, houve uma reestruturação da rede e um design mais atento.

Para a realização do design da rede, é sempre necessário ter-se em conta o número de clientes que se pretende atingir, para que se possa ter uma ideia da quantidade de equipamento activo que se vai necessitar.

Sendo assim, as empresas de mercado, fornecedoras desta tecnologia, são contactadas e apresentam assim as suas soluções, tendo em conta o número de clientes que a Empresa de Electricidade da Madeira pretende abranger, juntamente com os preços de venda dos equipamentos.

Segue-se finalmente a um passo seguinte, a realização da análise financeira, onde foi necessário ter em conta os custos dos equipamentos passivos, dos equipamentos activos, dos custos de mão-de-obra que iriam ser necessários para lançar a fibra, os custos de manutenção e finalmente os preços de venda dos equipamentos terminais e dos serviços.

Para os custos dos equipamentos terminais e dos serviços, foram feitos alguns estudos de mercado, tendo em conta as empresas concorrentes e concluiu-se então que um custo de equipamento terminal de 100 euros seria um preço entre os mais baixos do mercado, fazendo com que a EEM possa reaver algum do dinheiro investido nestes equipamentos. No caso dos pagamentos mensais, 40 euros, é um preço abaixo de qualquer concorrente, sendo todos os

outros muito acima deste. Foram escolhidos estes preços, tendo em vista aliciar qualquer potencial cliente.

Após a análise financeira, onde se verifica o balanço anual de cada uma das soluções e tendo sempre em conta que foram escolhidos cenários pessimistas, conclui-se que a solução da Empresa A é muito mais viável, pelas seguintes razões:

1. Os custos dos equipamentos centrais, são muito mais baratos embora a capacidade destes fique muito aquém da expectativa.
2. Em relação a soluções diferentes de equipamentos terminais, o seu catalogo é muito mais vasto, deixando à EEM e ao próprio cliente qual o equipamento terminal que pretende.
3. Foi uma empresa, com a qual a EEM já teve previamente algum contacto e com o qual sempre lhe agradou a disponibilidade e os equipamentos apresentados por esta tecnologia.

Finalmente, terá de se falar da própria viabilidade do projecto.

É verdade, que com uma perspectiva pessimista todo o projecto apenas iria ter viabilidade apenas a partir do ano sete, mas também tem-se de ter em conta que se o investimento nestes tipos de redes não for efectuado agora, a EEM irá perder terreno para a concorrência. Tem-se que ter em conta que também é possível um cenário optimista e que aí, os lucro virão a partir do ano 4.

Em qualquer um dos casos, optimista/pessimista os lucros serão exponenciais chegando mesmo no final a serem bem aliciantes.

Sendo assim e tendo em atenção, todo o trabalho da Dissertação, todas as análises efectuadas, todos os prós e todos os contras, conclui-se que é impreterível que se avance com este projecto, não perdendo assim tempo para a concorrência. A implementação desta rede irá trazer à EEM e à própria Região Autónoma da Madeira um desenvolvimento económico e tecnológico.

9.2 Desenvolvimento Futuro

Para finalizar, após esta análise técnico-financeira, fica como trabalho futuro a implementação desta rede caso a administração da Empresa de Electricidade da Madeira assim o decida.

Outro dos trabalhos futuros antes da implementação seria a compra de equipamentos e testa-los, isto é, fazer a ligação do equipamento central aos servidores de IPTV, VOD, Internet de Banda Larga e VOIP e ai medir atenuações e ver os comportamentos dos equipamentos, quer centrais, quer terminais. Visto que em Portugal continental, já existe a

distribuição de serviços através desta tecnologia então na Região Autónoma da Madeira é mais que viável.

E deixando para trabalho final, seria a procura/angariação de clientes para que a EEM possa vender os serviços, para que finalmente possa ter a recompensa de todo o investimento que fará.

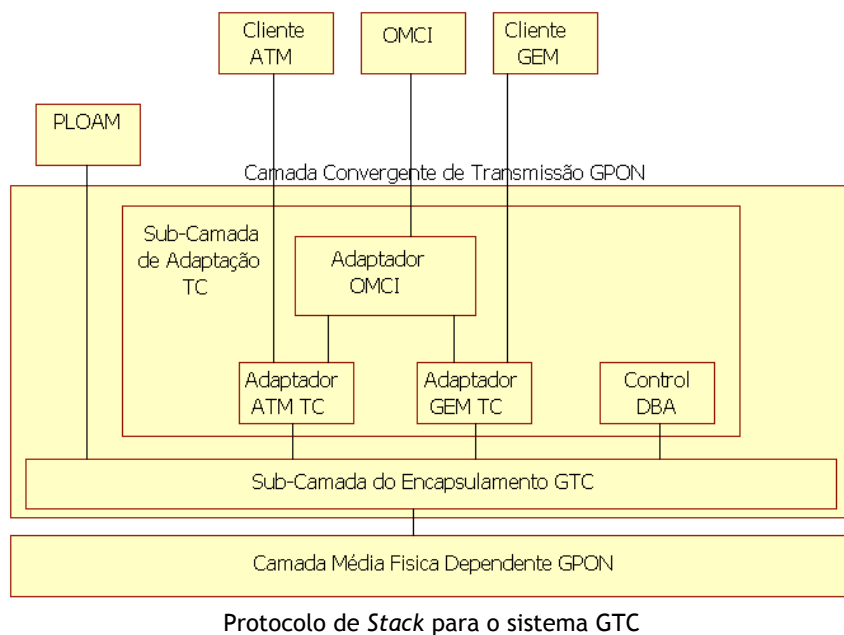
Anexo A

GTC

Neste anexo descreve-se a arquitectura das camadas TC nos sistemas GPON. A camada GTC é compreendida em duas sub-camadas, o encapsulamento da sub-camada do GTC e a adaptação da sub-camada de adaptação TC. A partir de outro ponto de vista, o GTC consiste num plano C/M, que trata do fluxo de tráfego do utilizador, da segurança, das características do OAM e do plano U. O encapsulamento da sub-camada GTC, partição ATM, partição GEM, OAM embebido e partições PLOAM são reconhecidas de acordo com a localização na trama GTC. Apenas OAM embebidos são terminados nesta camada para controlo sobre esta sub-camada, porque a informação do OAM embebido é embebido directamente no cabeçalho da trama GTC. A informação PLOAM é processada no bloco PLOAM localizado como uma sub-camada do cliente. As SDUs nas partições ATM e GEM são convertidos a partir de/para PDUs convencionais do ATM e GEM em cada adaptação da sub-camada respectiva. Além disso estas PDUs incluem o canal de dados. Estes dados são também reconhecidos nesta sub-camada e são intercambiados de/para a entidade OMCI. O OAM embebido, PLOAM e OMCI encontram-se categorizados em planos C/M. Os SDUs excepto para OMCI em ATM e partições GEM estão categorizadas em plano U [8].

O encapsulamento das camadas GTC tem uma visão global para todos os dados transmitidos e a camada de encapsulamento GTC do OLT é um *peer* directo para todas as camadas de encapsulamento GTC do ONU.

O bloco de controlo DBA é especificado como um bloco com funcionalidade comum, correntemente este bloco tem a responsabilidade de reportar DBA para todos os ONUs [8].



No sistema GTC, o OLT e o ONU nem sempre possuem os dois modos. O reconhecimento de cada um dos modos é suportado e invocado na altura da instalação do sistema. O ONU reporta o seu suporte básico de modos ATM ou GEM via mensagens com os números de série. Se o OLT for capaz de fazer o interface com pelo menos um dos modos oferecidos este procede ao estabelecimento de um canal OMCI. Se houver uma má combinação, o ONU é declarado para ser incompatível com os sistemas de operação de manutenção [8].

PROTOCOLO STACK PARA PLANOS C/M

Os planos de controlo e manutenção no sistema GTC consistem em três partes: OAM embestado, PLOAM e OMCI. O OAM embestado e os canais PLOAM controlam as funções da PMD e das camadas GTC. O OMCI dispõe de um sistema uniforme de controlo das camadas superiores [8].

O canal OAM embestado é providenciado por um campo que formata a informação no cabeçalho da trama GTC. Este canal providencia uma baixa latência para o tempo de controlo de informação, porque cada parte de informação é mapeada em campos específicos no cabeçalho da trama GTC. As funções que utilizam este canal incluem: concessão de largura de banda, mudança de chaves e sinalização da atribuição da largura de banda dinâmica.

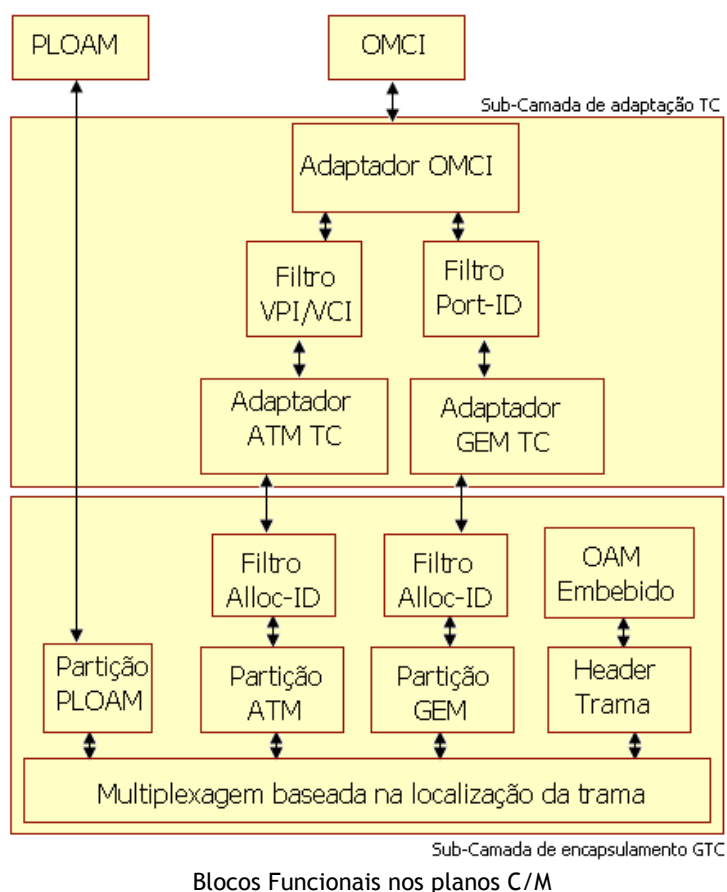
O canal PLOAM é uma mensagem formatada do sistema, é carregada num espaço dedicado à trama GTC [8].

As mensagens para o canal OAM são formatadas de uma maneira similar ao encontrado no ITU-T G.983.1.

O canal OMCI é utilizado para gerir os serviços que definem as camadas que configuram acima do GTC. O GTC tem de dispor de uma interface de transporte para este tráfego e sendo

assim temos duas opções para este transporte: ATM ou GEM. As funções GTC providenciam os meios para configurar os canais opcionais para o ajuste das capacidades dos equipamentos, incluindo as especificações dos identificadores de fluxo do protocolo de transporte (VPI/VCI ou *Port-ID*) [8].

Os blocos funcionais no plano C/M são mostrados na figura abaixo. Todos os relatórios DBA do ONU são especificados nos planos C/M. No entanto, como são opcionais não são mostrados na figura.

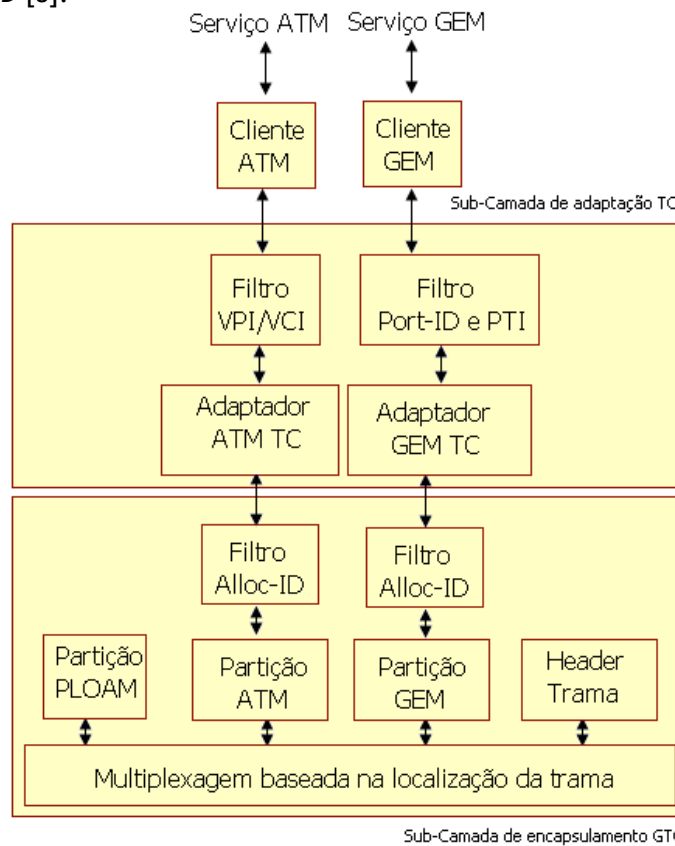


PROTOCOLO DE STACK PARA U-PLANE

O fluxo do tráfego no *U-Plane* é identificado pelo tipo de tráfego (ATM ou GEM) e pelas *Port-ID* ou VPI [8].

O tipo de tráfego é implicitamente indicado pelo *Port-ID* de 12 bit e é utilizado para identificar fluxos no caso do tráfego GEM. O VPI é providenciado para identificar fluxos de tráfego no caso do ATM. O T-CONT é identificado pelo *Alloc-ID* e é um pacote para o fluxo de tráfego. A atribuição de largura de banda e controlo de QoS são executados em todos T-CONT pela alocação BW via um número variável de *time slots* de controlo. É necessário ter atenção

que o tráfego encapsulado ATM e GEM não poderão ser mapeados num T-CONT e não poderão ter o mesmo *Alloc-ID* [8].



Protocolos de *Stack* para o *U-Plane* e identificação pela partição e *Port-ID* ou *VPI*.

É apresentado então uma pequena sumarização das operações de cada tipo de tráfego.

- ATM em GTC
 - No *downstream*, as células são levadas em partições ATM e são entregues a todos os ONUs. O encapsulamento das sub-camadas do ONU é extraído das células. E o adaptador ATM TC filtra as células baseando-se no VPI. Apenas as células com os VPIs apropriados são permitidos a serem entregues ao cliente ATM [8].
 - No *upstream*, o tráfego ATM é levado sobre um ou mais T-CONT. Cada T-CONT é associado ao tráfego ATM ou GEM, sendo assim, não é necessário nenhum tipo de multiplexação. O OLT recebe a transmissão associada ao T-CONT identificado pelo *Alloc-ID* e as células são enviados para o adaptador ATM TC e então depois ao cliente ATM [8].
- GEM em GTC
 - Em downstream, as tramas GEM são transportadas em partições GEM e são entregues a todos os ONUs. O encapsulamento das sub-camadas extrai as tramas e os adaptadores GEM TC filtram as células baseadas no seu *Port-*

ID 12-bit. Apenas as tramas com *Port-ID* apropriadas são permitidas até ao do cliente GEM [8].

- o Em *upstream*, o tráfego GEM é levado sobre um ou mais T-CONTs. Cada T-CONT é associado apenas ao tráfego GEM ou ATM. O OLT recebe assim o tráfego do T-CONT associado, a partir daí é reencaminhado para o adaptador GEM TC e finalmente ao cliente GEM [8].

FUNÇÕES CHAVE DO GTC

Nos sistemas de acesso ao controlo de fluxo, o sistema GTC providencia um meio de acesso ao controlo do tráfego de *upstream*. No seu conceito básico, as tramas de *downstream* indicam os locais permitidos para o tráfego das tramas de *upstream*, sincronizando assim com as tramas de *downstream* [8].

O OLT envia apontadores no PCbD e estes apontadores indicam o tempo com o qual cada ONU deve começar e terminar a sua transmissão de *upstream*. Desta maneira, apenas um ONU pode aceder ao meio quando assim o deseja e não existe qualquer tipo de contenção numa operação normal. Os apontadores são dados em unidades de bytes, permitindo assim ao OLT controlar o meio em uma largura de banda estática e efectiva de 64 kbit/s. No entanto, algumas implementações do OLT podem atribuir os valores dos apontadores a uma granularidade mais larga e alcançar boas larguras de banda de controlo de uma maneira dinâmica [8].

O controlo de acesso ao meio é feito em cada T-CONT, cada ONU corresponde só a um T-CONT.

O Registo do ONU é realizado através de um procedimento de auto procura. Existem dois métodos para o ONU registar-se. No caso do Método A, o número de serie do ONU é registado no OLT pelo sistema de administração. No caso do método B, os números de serie do ONU não são registados no OLT pelo sistema de administração [8].

FUNÇÕES DAS SUB-CAMADAS EM GTC

O encapsulamento das sub-camadas do GTC possui três funcionalidades:

- Multiplexagem e desmultiplexagem
 - o As porções PLOAM, ATM e GEM são multiplexadas em tramas TC em *downstream* de acordo com o limite de informação indicada no cabeçalho da trama. Cada porção é extraída do *upstream* de acordo com o indicador do cabeçalho [8].

- Criação do cabeçalho e do *decoder*
 - O cabeçalho das tramas TC é criado e é formado numa trama em *downstream*. Cabeçalho da trama em *upstream* é decodificado [8].
- Função de *Routing* interna baseado em *Alloc-ID*
 - O *routing* baseado em *Alloc-ID* é desempenhado para dados de/para ATM e Adaptadores GEM TC.

A adaptação às sub-camadas providencia três adaptadores TC, o adaptador ATM TC, o adaptador GEM TC e o adaptador OMCI. Os adaptadores ATM e GEM TC delineiam PDUs de ATM e GEM para cada partição no encapsulamento de sub-camadas GTC e mapeia estes PDUs para cada partição [8].

Estes adaptadores providenciam os seguintes interfaces para as entidades da camada superior:

- Interface ATM
 - O encapsulamento das sub-camadas GTC e os adaptadores ATM TC associados providenciam a interface do *standard* ATM. No geral, as camadas normais de ATM podem ser utilizadas como clientes ATM [8].
- Interface GEM
 - O adaptador GEM TC pode ser configurado para adaptar estas tramas numa variedade de interfaces de tramas de transporte [8].

Estes adaptadores reconhecem os canais OMCI de acordo com a especificação do VPI/VCI no caso ATM e no caso GEM de acordo com a especificação do *Port-ID*. Os adaptadores OMCI podem mudar os canais de dados para adaptadores ATM e GEM TC. O Adaptador OMCI aceita dados e a partir destes adaptadores é transferido numa entidade OMCI. Por outro lado, transfere dados a partir de entidades OMCI para adaptadores TC [8].

O encapsulamento das sub-camadas GTC providencia uma interface para o intercâmbio de mensagens PLOAM [8].

FLUIDO DE TRÁFEGO E QOS

As relações entre o GTC e os controladores de dados de utilizadores poderão ser de duas maneiras:

- Serviço ATM
 - O sistema GTC tem em consideração a gestão de tráfego de T-CONTs. E cada T-CONT é identificado por um *Alloc-ID*. Cada T-CONT pode conter um ou mais caminhos virtuais e cada VP pode conter um ou mais VCs. O tráfego do OLT é carregado em cada T-CONT e faz alguns ajustes para a alocação de largura de banda para distribuir apropriadamente dos recursos PON [8].
- Serviço GEM
 - O sistema GTC tem em consideração a gestão de tráfego de T-CONTs e cada T-CONT é identificado por um *Alloc-ID*. Cada T-CONT pode conter um ou mais Port-ID GEM. O tráfego do OLT é carregado em cada T-CONT e faz alguns ajustes à largura de banda alocada dos recursos PON distribuídos. O sistema GTC não observa ou mantém relações QoS das subentendidas *Port-IDs* [8].

Os recursos são atribuídos a todos as ligações dinâmicas ou estáticas. No caso da alocação de recursos dinâmicos, o OLT examina os relatórios de DBA do ONU e/ou o tráfego. Só então pode alocar adequadamente os recursos. O GTC providencia a mesma funcionalidade, com o SR e/ou NSR-DBA especificado pelo ITU-T G.983.4 [8].

Vários QoS são providenciados pelas funcionalidades DBA. As camadas GPON TC especificam cinco tipos de T-CONT. No caso do ATM é completamente compatível com ITU-T G.983.4. As formas VCC ou VPC de vários descritores de tráfego podem ser carregados num tipo de T-CONT de acordo com os requisitos QoS. Este esquema de mapeamento é administrado pelos operadores.

No caso de ATM, a célula ATM é substituída por um bloco de comprimento fixo. No caso do GEM, as conexões identificadas GEM podem ser moldadas por alguns descritores de tráfego [8].

ESPECIFICAÇÕES DBA

O DBA G-PON para GEM pode adoptar a mesma arquitectura que no ITU-T G.983.4 como um método por defeito. Mesmo quando se tem um comprimento variável de pacotes que são suportados em GEM estes pacotes são normalizados por um comprimento de dados fixos nas operações DBA.

O DBA em G-PON deve providenciar as mesmas funcionalidades especificadas no ITU-T G.983.4 para ATM e GEM. As funcionalidades DBA são executadas em todos os T-CONT. As funcionalidades DBA são categorizadas em diferentes partes [8]:

- Detecção e estado do congestionamento pelo OLT e/ou ONU;
- Relatórios de estado de congestionamento do OLT;
- *Update* das larguras de banda atribuídas pelo OLT de acordo com os parâmetros.
- Concessão de edições pelo OLT de acordo com o *update* da largura de banda e tipos de T-CONTs.
- Administração de operações DBA.

Em DBA G-PON existem cinco tipos de T-CONTs que se encontram especificados.

Em GEM, o comprimento de bloco é negociado por OMCI e por defeito 48 bytes.

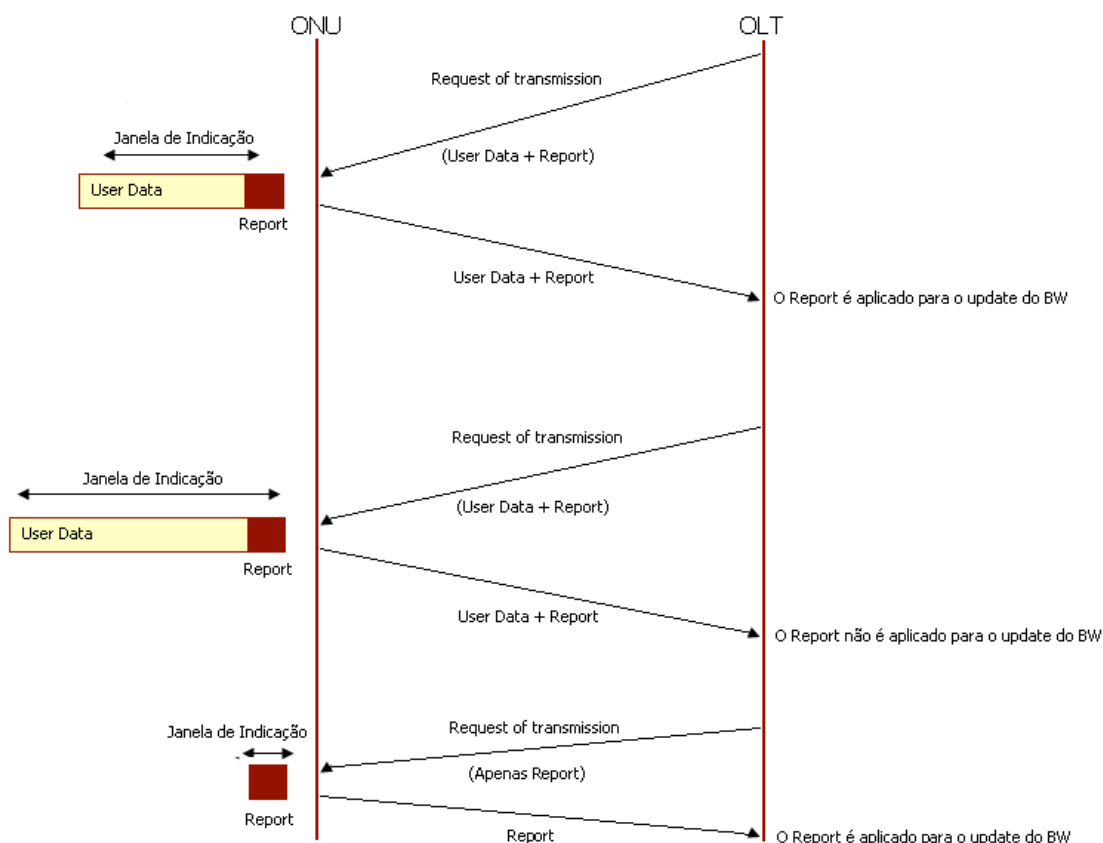
Em operações DBA existem dois modos: SR (*status-report*)-DBA e NSR (*non status-report*)-DBA em todos T-CONT. Com a função de envio de relatórios DBA é opcional para o ONU, todas as combinações de equipamento podem ser consideradas. Todos os OLTs devem suportar ambos os estados de sistemas SR e NSR, para que a todos os ONUs seja providenciado algum nível de funcionalidades DBA. Estes modos são especificados pela habilidade do ONU e pela situação de serviço [8].

Tabela: Sumário de cada modo de operação DBA

	SR ONU	NSR ONU
DBA OLT	SR-DBA e/ou NSR-DBA	NSR-DBA

- SR-DBA
 - Para reportar o estado de congestionamento do T-CONT, quando o T-CONT envia dados de *upstream* do ONU para o OLT, o número de células ou blocos no *buffer* T-CONT são colocados no campo DBA do DBRu. Se o OLT não quiser permitir a transmissão de dados em *upstream* para o T-CONT, o OLT pode atribuir tempo para o DBRu. No entanto, mesmo que o OLT receba o relatório, nem sempre se aplica este relatório ao *update* da largura de banda. Por outro lado, se o T-CONT não puder reportar o número de células ou blocos que se encontram armazenados por qualquer razão neste buffer, responde então com um código inválido no campo DBA do OLT. Neste modo a transmissão do campo DBA é obrigatório se o OLT o requerer, porque se faltar o campo DBA o formato de dados upstream não será reconhecida [8].
- NSR-DBA
 - O OLT reconhece o estado da congestão de cada T-CONT pela sua própria monitorização do fluxo de tráfego que vai chegando. Deste modo, o

campo DBA no DBRu nunca será enviado, assim como o OLT nunca vai requerê-lo. Nesta situação excepcional onde o OLT não requer o DBRu, o ONU deve enviá-lo, apesar de os seus conteúdos serem ignorados pelo OLT [8].



Sumário de operações de SR-DBA.

Para o DBA operar, alguns parâmetros devem ser precavidos ou negociados pelas funcionalidades de gestão. Usando estes meios, o OLT e o ONU concordam no modo de operação DBA e respondem correctamente aos pedidos de cada um. Todos os parâmetros DBA devem ser provisionados ou negociados pelo OMCI [8].

ALOCÇÃO, SINALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DE LARGURA DE BANDA DINÂMICA

Os sistemas GPON suportam a alocação dinâmica de largura de banda via SR e também a monitorização do tráfego do OLT.

Em SNR DBA, não existem protocolos com requisitos de características e todo o mecanismo DBA encontra-se contido no OLT. No caso de SR DBA existem três mecanismos de

sinalização de relatórios DBA sobre GPON: estados de indicação no PLOu, relatórios *piggy-back* no DBRu e relatórios ONU no *payload* do DBA [8].

Os indicadores de estado providenciam uma rápida e simples indicação de tráfego que se espera no ONU. Existem quatro *bits* simples para reportar, um para cada tipo de T-CONT. Isto tem a intenção de dar ao OLT um alerta rápido que a supervisão do DBA que é necessária no ONU em questão, mas não identifica o T-CONT em questão ou providencia qualquer tipo de detalhe como a largura de banda.

Os relatórios *piggy-back* providenciam um *update* contínuo do estado do tráfego de um específico T-CONT. Este relatório é transportado no DBRu associado ao T-CONT em questão. Existem três formas para este tipo de relatório (tipo 0, 1 e 2). O formato do relatório do tipo 0 é um método suportado por *default* e os outros tipos são de suporte opcionalmente.

Todos os relatórios providenciam uma maneira do ONU enviar um relatório DBA a todos os seus T-CONTs numa transmissão única. É feito o transporte numa partição *payload* dedicada DBA que o OLT vai alocar em *upstream* [8].

Como algumas funções de relatório DBA são opcionais, o OLT e o ONU executam um procedimento de acordo mútuo e negociam o tipo de relatório DBA que será utilizado. O canal GPON OMCI é utilizado para este propósito. Antes do mútuo acordo OMCI estar completo, as características do DBA não devem ser usadas. No entanto, o transporte do sistema é feito para ser do tipo falha-tolerante, que ao colocar os requisitos para o ONU para sempre produzir a forma correcta de relatório requerida pelo OLT, independentemente das capacidades do DBA [8].

O estado de indicação do relatório DBA consiste em 4 *bits* no campo *Ind* PLOu. É enviado a todos as transmissões de *upstream* de um ONU. Cada *bit* corresponde a diferentes tipos de T-CONT. Se o bit é colocado num tipo X do T-CONT então o OLT pode assumir que existe alguns dados de espera em pelo menos um dos *buffer* T-CONT do tipo X. Se o ONU tem mais que um T-CONT daquele tipo, o bit lógico ou função do estado de todos os *buffers*, neste caso o OLT não conhecerá qual T-CONT tem dados à espera e necessitará de efectuar acções futuras [8] [12].

Para T-CONT tipo 2 até 4, não existem componente de largura de banda no “contracto”. No entanto, o T-CONT tipo 5 é especial, onde o seu *buffer* pode conter dados que pertencem a uma parte fixa da largura de banda. Os dados de uma largura de banda fixa não devem disparar a indicação do estado, desde que resulte na indicação sempre colocada em 1. Consequentemente, para T-CONT tipo 5, apenas a presença de larguras de banda não fixa de dados devem usar a indicação bit [8] [12].

Estas indicações de estado são realizadas para providenciar um *warning* antecipando ao OLT que tem dados à espera. Consequentemente, o algoritmo DBA OLT não necessita de esperar por tais indicações antes que sejam concedidas larguras de banda ao ONU. Tais requisitos podem introduzir atrasos ao providenciar a largura de banda inicial ao ONU.

O ONU e o OLT podem, ou não suportar o modo de relatórios, devem ter estes bits sempre a zero. O design do OLT deve ter em atenção o facto de que em algumas implementações os seus indicadores de estado devem ser colocados a zero. Se o OLT não suportar este modo, o estado bit é ignorado [8].

Devido a estes modos de relatórios usarem um local fixo de bit numa estrutura existente, os desacordos no suporte destes modos não vai causar delineação de erros. O algoritmo do OLT deve ser designado para que possa ser compatível com ambos os tipos de ONUs.

O relatório *piggy-back* DBA consiste em 1, 2 ou 4 mensagens de byte que especifica a quantidade de dados que esperam no *buffer* do T-CONT correspondendo ao *Alloc-ID* que “dispara” a transmissão DBA [8].

O OLT activa a transmissão de DBRu ao colocar o código apropriado no campo *flag* da estrutura de alocação do mapa da largura de banda. O relatório é então coberto pelo CRC-8 que faz parte do DBRu.

As mensagens utilizam números de células ATM ou blocos GEM que esperam no *buffer* do T-CONT com as suas unidades básicas.

Os suportes dos relatórios *piggy-back* DBA são opcionais para o ONU. Se o ONU não suportar estes relatórios, então deve suportar o formato de relatório do modo 0. Pode suportar opcionalmente os modos 1 e 2, ou ambos. O OLT deve suportar *piggy-back* DBA modo 0 e pode opcionalmente suportar modos 1 e 2 [8] [12].

Dadas as capacidade dos ONUs e as do OLT poderá ser colocado cada modo de relatório T-CONTs [12].

O OLT não deve enviar a alocação DBRu que requer um formato incorrecto DBRu. O formato DBRu é propriamente controlado pelo OMCI. No entanto, devido à sua falta de configuração, o OLT pode requerer o DBRu de um tipo que o ONU não esteja a espera ou não o suporte. Quando isto acontecer, o ONU deve responder com o formato do DBRu requerido na alocação, mas este deve preencher todos os campos de uma maneira errada do formato requerido com o código inválido. O OLT então interpreta isto como um erro e ignora o DBRu. Importante, o OLT irá manter a delineação do *burst*, desde que o comprimento do DBRu enviado pelo ONU coincide sempre com o esperado pelo OLT [8].

Todo o relatório ONU DBA permite o ONU a transmitir relatórios DBA para qualquer dos seus T-CONTs. Ao contrário do método *piggy-back*, o método completo dá ao ONU a liberdade de escolher qual T-CONTs deseja relatar. Em geral esta latitude permite ao OLT organizar o *payload* DBA que é consideravelmente mais pequeno que o requerido para reportar completamente todos os T-CONTs no ONU [8].

Os relatórios são formatados similarmente aos já usados DBRu, mas o relatório vai depender de dois *bytes* que transportam o *Alloc-ID* correspondente ao relatório T-CONT e duas cópias do modo de indicação DBRu. Existem dois tipos de cópias no modo de indicação DBRu e uma cópia implícita no *Alloc-ID*, já que cada *Alloc-ID* possui um modo associado.

Daqui, o OLT pode comparar os três formatos de indicação e fazer uma votação pela maioria, decidindo para determinar o comprimento do relatório. Este resultado pode ser confirmado pela presença do CRC-8. Se o OLT perde a delineação, de um formato de decisão inconclusivo ou de um erro CRC incorrigível, o OLT geralmente descarta o restante do relatório DBA. Note-se que irá tomar dois *bits* de erro para fazer com que isto se passe [8].

Modo 0

Alloc-ID	MI	MI	Campo 1	CRC - 8
12 bits	2b	2b	8 bits	8 bits

Modo 1

Alloc-ID	MI	MI	Campo 1	Campo 2	CRC - 8
12 bits	2b	2b	8 bits	8 bits	8 bits

Modo 2

Alloc-ID	MI	MI	Campo 1	Campo 2	Campo 3	Campo 4	CRC - 8
12 bits	2b	2b	8 bits	8 bits	8 bits	8 bits	8 bits

Três formatos de relatórios das funções DBA do ONU.

O OLT irá implementar a detecção de erro e correção de funções do CRC-8. Se o CRC-8 indica que um erro incorrigível ocorre então a informação na estrutura irá ser descartada [8].

Toda a capacidade de reportar do ONU é opcional para o ONU e OLT. O OLT descobre a capacidade do ONU através do OMCI. Dado a capacidade de ONU, o OLT pode atribuir um novo *Alloc-ID* e configura para todos os relatórios ONU DBA. O ONU deve então ser capaz de responder ao *Alloc-ID* de uma maneira normal [8].

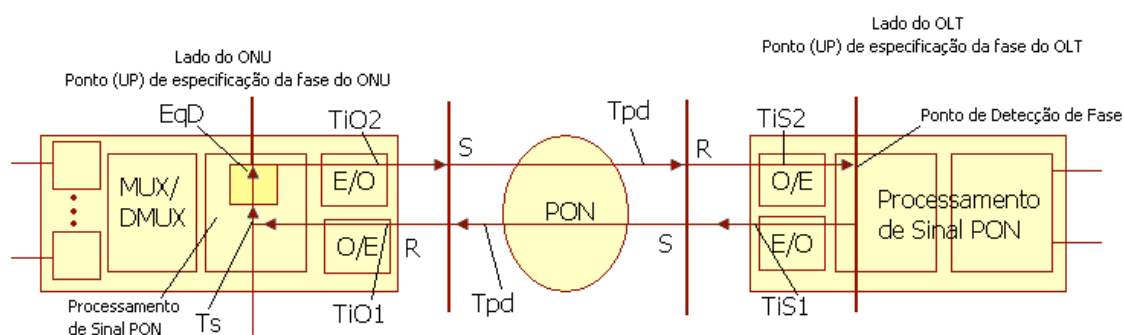
O OLT deve não tentar configurar um *Alloc-ID* para todos os propósitos dos relatórios DBA se o ONU não suporta esta função. No entanto, se isto acontecer, o ONU deve responder para a alocação, para que se preencha o *payload* com zeros, como se não existisse nenhum relatório para enviar. O OLT irá receber esta transmissão sem incidente e negligenciá-la [8].

PROCEDIMENTOS DE MEDIDA RTD

Devido às características PON, os dados de *upstream*, recebidos no OLT são baseados na soma de todos os dados transmitidos de todos os ONUs. Para evitar as colisões, a transmissão entre cada trama de *upstream* é atribuído a cada ONU, onde apenas este específico ONU é permitido enviar dados. Em adição, todos os ONUs devem aparecer equidistantes do encapsulamento de *upstream* do ONU, isto é, o início de todas as tramas *upstream* de todos

os ONUs deve chegar ao OLT ao mesmo tempo. Para alcançar isto, uma igualização de atraso é atribuído a cada ONU. O atraso da fase *upstream* do ONU em referencia a fase de *dowstream*, baseada no valor do igualização de atraso [8].

O processo de agrupamento trata do cálculo de igualização do atraso. O cálculo da igualização de atraso é baseado na medida arredondada do atraso entre OLT e cada ONU.



Configuração dos pontos de atraso de fase.

O atraso de propagação da fibra óptica (Tpd) é devido ao comprimento/distância da fibra óptica entre OLT e ONU [8].

Temos também o atraso de transmissão básico (Ts) devido ao processamento de sinal PON no ONU.

O atraso óptico ($TiO1$, $TiO2$, $TiS1$, $TiS2$) é devido a conversão optoelectrónico e electro-optico no ONU e OLT [8].

Anexo B

Forward Error Correction

Forward Error Correction (FEC) é utilizado pela camada de transporte em comunicação de sistemas e baseia-se na transmissão de dados num formato codificado. A codificação introduz alguma redundância, o que permite que o decodificador detecte e corrija erros de transmissão. O FEC resulta num aumento de perdas de ligação de aproximadamente 3-4 dB, embora, *bit rate* mais altos e distancias mais longas do OLT para o ONU possam ser suportadas, assim como número mais amplos de *splitters* por cada *PON tree* [8].

BLOQUEIO BASEADO FEC

O *read-solomon* (RS) é um bloco baseado em código, que pega num bloco de dados de tamanho constante e adiciona um extra redundante de *bits* no final, criando assim uma *codeword*. Usando esses bits extra, o decodificador FEC processa os dados, descobre e corrige erros, após corrigir os erros este recupera os dados originais [8].

Quando se usa um bloco baseado em FEC, os dados originais são preservados. No entanto, ao ignorar a paridade de bits, mesmo que o outro lado não suporte o FEC, os dados originais podem ser processados. O bloco baseado em FEC não será eficiente com um alto BER.

A solução FEC deve suportar situações onde o OLT comunica simultaneamente com ambos os suportes FEC ONU e não suportes FEC ONUs [8].

Na interoperabilidade *downstream*, o OLT deve ser capaz de codificar ou não codificar os seus dados de *downstream*. O estado de codificação FEC irá ser enviado para o ONU utilizando o *bit* FEC do campo IDENT. Cada ONU deve ser capaz de decodificar ou não decodificar os dados recebidos. Ao usar o código de bloco baseado RS, a localização de paridade de *bits* é conhecida em avanço. Então, o ONU que não suporta FEC não pode processar a paridade de bits e recuperar completamente os dados em *downstream* sem decodificação FEC.

Na interoperabilidade *upstream* cada ONU deve ou codificar FEC ou não codificar FEC em dados *upstream*. O OLT envia um estado de codificação de ONU FEC usando o *bit* FEC contido no campo *flags*. O OLT deve ser capaz de decodificar ou não decodificar os dados recebidos em *upstream* [8].

DOWNSTREAM FEC

Quando construída a trama D/S com FEC, a paridade de *bytes* são inseridas no fim de cada palavra codificada.

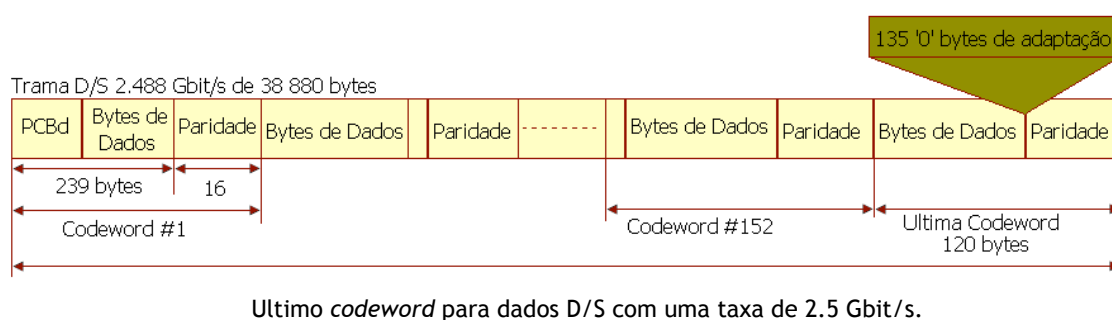
A parte da trama PCBd é incluída no primeiro *codeword*, o *codeword* começa com o encapsulamento da secção, que é o primeiro *byte* da primeira trama.

De notar que desde o *bit rate* D/S não irá ser aumentado, a paridade de *bytes* FEC irá ser inserida em vez dos dados de *bytes*. Embora, quando o FEC for utilizado, teremos menos largura de banda para os dados de utilizador [8].

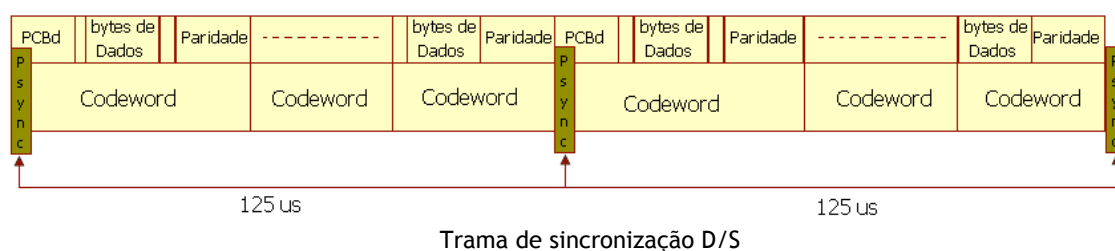
A trama D/S é dividida em múltiplos *codewords* de 255 *bytes*. Quando utilizado tramas de 125 us, isto é, menos que 255 *bytes* estes irão ser deixados para os últimos *codeword* [8]:

- Para que o número de *bytes* no último *codeword* seja igual a 255 serão adicionados extra zeros antes do *encoder* e no final do último *encoder*.
- A paridade de *bytes* será calculada.
- Os *bytes* extra são removidos e os *codewords* mais curtos serão transmitidos.
- Quando a trama é recebida no OLT, os zeros extra são reinseridos antes do *decoder*, no final do último *codeword*.
- Seguindo o processo de *decoding*, os *bytes* extra são novamente removidos.

Para taxas de transmissão de dados de *downstream* de 2.488 Gbit/s, a trama tem 38 880 *bytes* de comprimento. Enquanto apenas 120 *bytes* são à esquerda para o último *codeword*, 104 *bytes* são utilizados como *bytes* de dados, 16 *bytes* são usados para paridade de *bytes* e 135 *bytes* são usados para zeros [8].



Na sincronização do *codeword* FEC no ONU, a sequência de encapsulamento de *downstream* é o campo físico de sincronização (Psync), que é baseado nos primeiros 32 *bits* do PCBd nas tramas dos primeiros *codewords*. Desde que a codificação do bloco é usada estes bits não são mudados durante o processo de codificação FEC e são recebidos embora, o ONU poderá continuar a utilizar esta sequência para a sincronização da trama [8] [12].



Já que todos os *codewords* são organizados de maneira sequencial na trama, não é necessária de sincronização para estes. Uma trama de sincronização é alcançada então, ao implementar o contador de 255 bytes, então a sincronização da *codeword* é então alcançada.

Uma vez alcançada a sincronização de *codewords*, cada *codeword* irá ser decodificada e o *payload* original de *downstream* irá ser reconstruído [8].

UPSTREAM FEC

Quando constrói-se a transmissão U/S com FEC, a paridade de bytes FEC são inseridas no final de cada *codeword*. Quando utilizado RS, cada 239 *bytes* de dados são seguidos de 16 *bytes* de paridade [8].

O delimitador e o campo de preâmbulo da secção PLOu do ONU não são incluídos no primeiro *codeword*, o *codeword* começa com o *byte* BIP.

A transmissão original é dividida em 239 *bytes* de *codewords*. Na maior parte dos casos menos que 239 *bytes* irão ser deixados para o último *codeword*:

- Para que o número de bytes no último *codeword* seja igual a 239, então serão adicionados extra zeros antes do *encoder* e no final de cada *codeword*.
- A paridade de *bytes* é calculada.
- Os *bytes* extra são removidos e os *codewords* mais curtos transmitidos.
- A transmissão é recebida no OLT.
- Os *bytes* zero extra são reinseridos antes do decodificador, no final de cada *codeword*. Desde que o tamanho da transmissão é conhecida ao OLT em avanço, pode facilmente calcular o número de zeros de bytes.
- Após o processo de decodificação, os bytes extra são removidos novamente.

Na sincronização da transmissão os campos do preâmbulo e do delimitador na secção PLOu da transmissão de *upstream* do ONU são usados para a sincronização da transmissão de *upstream* [8] [12].

Já que todos os *codewords* são organizados de maneira sequencial na transmissão, não é necessário sincronizar as *codewords*. Uma vez que a transmissão sincronizada é conseguida, consegue-se saber o local exacto de cada *codeword*.

Devido ao alto BER, a probabilidade de receber erros no encapsulamento de palavras é alta. Embora, ao alcançar a transmissão de sincronização, apenas três ou quatro erros de *bits* são permitidos no delimitador de trama de 16 ou 20 *bits* de comprimento, respectivamente [8].

Anexo C

Métodos de activação dos equipamentos

MÉTODO DE ACTIVAÇÃO

Um método de activação completo *digital in-band* deve ser usado nos sistemas PON para medir a distância lógica entre cada ONU e OLT. Uma vez que o ONU é escalado e pode ser operacional em PON.

O valor máximo de escala em PON é pelo menos 20 km.

Quando instalados novos ONUs, o protocolo de activação é específico e aplicável a vários tipos de métodos de instalações dos ONUs [9] [19].

Existem dois possíveis métodos de instalação do ONU.

- Método A: O número de série do ONU é registado por avanço no OLT pelo sistema OpS. No caso de um ONU com um número de série que não se encontra registado no OLT é detectado, é declarado como *Unexpected ONU*.
- Método B: O número de série do ONU não é registado no OLT pelo sistema OpS. Requer um mecanismo de detecção automática do número de série do ONU. No caso de um novo ONU ser detectado, é atribuído um ONU-ID e o ONU é activo.

Existem três *triggers* para activação do ONU:

- O operador de rede permite a activação do processo de início quando se conhece que um novo ONU foi conectado.

- O OLT inicia automaticamente o processo de activação, quando um ou mais dos ONUs que se encontravam anteriormente em funcionamento perdem-se, para ver se estes ONUs poderem voltar a funcionar.
- O OLT periodicamente inicia o processo de activação testando se algum ONU foi conectado. A frequência de funcionamento é programável sobre as instruções do sistema OpS.

Nas activações dos processos, diferentes situações podem ocorrer. Existem três categorias sobre a qual o processo de activação pode ocorrer [9].

A situação de *Cold PON* e *Cold ONU* é caracterizada quando não se tem tráfego em *upstream* na PON e o ONU todavia não recebe um ONU-ID do OLT.

O *Warm PON* e o *Cold ONU* esta situação é caracterizada pela adição de um novo ONU que não pertencia previamente à rede ou pela adição de ONU previamente activos tendo a potência restaurada e integrada na PON enquanto esta continua a transmitir tráfego.

Na situação *Warm PON* e *Warm ONU* existem previamente um ONU activo que permanece ligado à rede activa PON, mas devido ao seu longo estado de alarme esta retorna ao estado inicial (O1).

PROCEDIMENTOS DE ACTIVAÇÃO DO ONU

O processo de activação é efectuado sobre o controle do OLT. O ONU responde a mensagens que são iniciadas no OLT [8].

O esboço do processo activação:

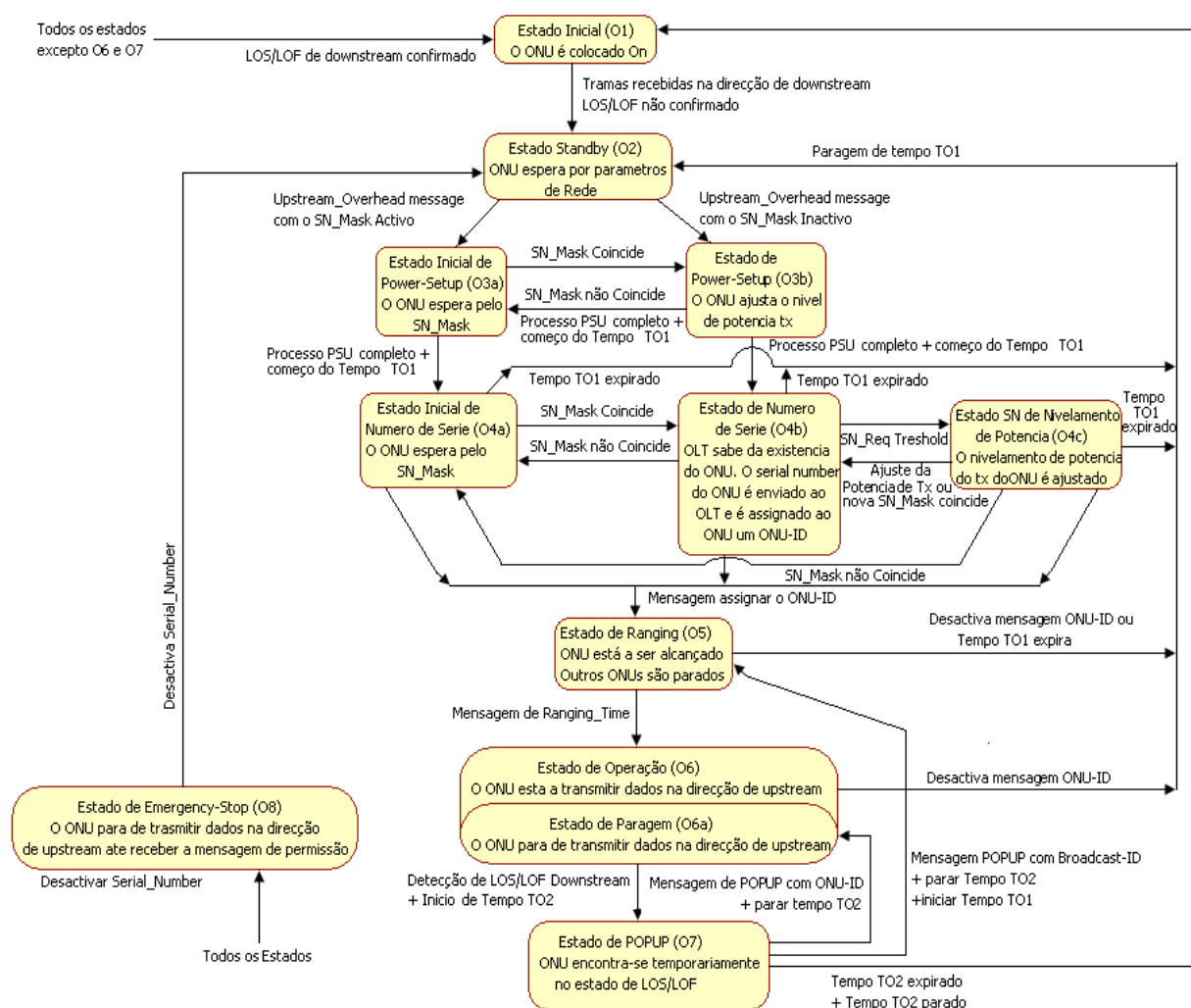
- O ONU ajusta o nível da potência óptica de transmissão baseado nos requisitos do OLT.
- O OLT descobre o número de série de um novo ONU que é conectado
- O OLT atribui um ONU-ID ao ONU
- O OLT mede a fase de chegada da transmissão em *upstream* do ONU.

- O OLT notifica o ONU da igualização do atraso.
- O ONU ajusta a fase da transmissão para o valor notificado

Este processo é efectuado pela troca de *flags* em *upstream/downstream* e mensagens PLOAM.

No estado de operação normal, todas as transmissões podem ser usadas para monitorizar a fase que chega à transmissão [12].

Nos estados do ONU, o processo de activação é específico pelo comportamento funcional nos estados e no estado de transição como se pode ver na figura seguinte:



O ONU possui 8n estados [8] [16]:

- a. Estado Inicial (O1)
O ONU é activo neste estado. O LOS /LOF é activo. Uma vez que o tráfego em *downstream* é recebido, o LOS e o LOF são limpos, o ONU move-se para o estado de *standby* (O2).
- b. Estado *standby* (O2) [8]
O tráfego *downstream* é recebido pelo ONU. O ONU espera por parâmetros de rede global. Uma vez que a mensagem de cabeçalho de *upstream* é recebido, o ONU move-se para o estado de *power-setup* (O3).
- c. Estado *power-setup* (O3) [8]
Baseado na recepção na mensagem de *upstream* cabeçalho, o ONU ajusta o nível de potência da transmissão. Uma vez que a potência óptica se encontra nivelada, o ONU move-se para o estado de *serial-number*.
 - i. Estado inicial de *power-state*
Preparação do estado para os procedimentos de *power-setup*. O mecanismo de *SN-Mask* é aplicado. O ONU não permite a resposta aos números de serie requerido.
Notar que em algumas implementações, o ONU pode ajustar o nível de potência de transmissão sem activar o transmissor. Neste caso, o ONU coloca o nível de potência do Tx durante este estado e move directamente para o O4a.
 - ii. Estado *power-state* (O3b) [8] [16]
O ONU coloca o nível da potência de sinal do Tx baseado num valor específico na mensagem de *upstream* cabeçalho. O ONU consegue obter o processo de atribuição de potência ao responder ao número de série requerido e envia o campo *power-setup*.
 - iii. Estado *serial-number* (O4)
Ao enviar o número de série requerido a todos os ONUs no estado do *serial-number*, o OLT aprende sobre o ONU existente e os seus números de série.
Uma vez que o ONU é descoberto este espera a atribuição de um único ONU-ID do OLT. O ONU-ID é atribuído utilizando a mensagem *Assign_ONU-ID*. Uma vez que o ONU-ID é atribuído, o ONU move-se para o estado de *ranging* (O5).
 - iv. Estado inicial *serial-number* (O4a)
Estado de preparação para o procedimento do *serial-number*. O mecanismo de *SN-Mask* é aplicado. ONU não é permitido a responder ao pedido de *serial-number*.
 - v. Estado *serial-number* (O4b)
O ONU responde ao pedido de *serial-number*. Assim que o OLT vai sabendo da existência do ONU e do seu número de série este atribui um ONU-ID utilizando a mensagem *Assign_ONU-ID*.

vi. Estado *SN-Power-Levelling* (O4c)

Em alguns casos, devido as grandes distâncias do ONUs OLT, o nível de potência do transmissor poderá ser demasiado baixa. Embora neste estado, o ONU pode receber a mensagem *change_power_level* (modificação do nível de potencia) em *broadcast* e subseqüentemente re-calibrar o seu transmissor para operar com níveis mais altos de potência.

d. Estado de *ranging* (O5) [8]

A transmissão de *upstream* de diferentes ONUs devem encontrar-se sincronizadas com as tramas *upstream*. Para que os ONUs, que se encontram localizados a diferentes distâncias do OLT, vão parecer que se encontram a distâncias iguais do OLT, um atraso de igualização por ONU é o que é requerido.

O factor de igualização de atraso, por ONU, é calculado durante o processo de agrupamento, que é iniciado pela transmissão de um pedido de *ranging* do OLT para o ONU alcançado. O ONU responde com a transmissão na direcção de *upstream*.

Baseado no tempo *round-triple-play*, o OLT calcula o e o atraso de igualização do ONU e envia ao ONU utilizando mensagens de *ranging time*.

Em suma, o *ranging-transmission* contém o ONUs SN. Como parte do ciclo de *ranging*, o OLT verifica que o ONU-ID coincide com o SN, isto é, que o ONU-ID atribuído ao estado *serial-number* (O4) foi realizado com sucesso.

Uma vez que o ONU recebe a mensagem de *ranging-time* este move-se para o estado *operation* (O6).

e. Estado *operation* (O6)

Uma vez que a rede é agrupada e todos os ONUs estão funcionando com o seu correcto igualizador de atraso, todas as tramas em *upstream* serão sincronizadas juntas entre todos os ONUs. As transmissões *upstream* irão chegando separadamente, cada uma na sua localização correcta entre a trama.

i. Operação de paragem do ONU.

Em alguns casos, devido ao número de série ou ao processo de agrupamento com outros ONUs, um ONU em operação poderá ser parado pelo OLT. Isto poderá ser conseguido ao colocar o *slot star* e o *slot end* apontados para zero para o *Alloc-ID* correspondente ao ONU. Alternativamente, o OLT poderá simplesmente não enviar nenhuma estrutura de alocação no *BWmap* ao ONU.

f. Estado de *POPUP* (O7)

O ONU entra neste estado a partir do estado *Operating* (O6) seguindo a detecção dos alarmes de LOS ou LOF. Quando entra no estado *POPUP* (O7), o ONU pára imediatamente a transmissão de *upstream*. Como resultado, o OLT ira detectar alarmes LOS para aquele ONU. Baseado num esquema de rede de sobrevivência, uma das seguintes opções ira ser implementada:

- i. No caso do OLT fizer o *switch* a todos os ONUs para as fibras de protecção, todos os ONUs necessitam de ser agrupados. No entanto, o OLT ira enviar uma mensagem de *POPUP* em *broadcast* para o ONU, o que, como resultado, ira mover-se para o estado de *ranging* (O5).

- ii. No caso de um alarme *short* LOS ou LOF, neste caso o ONU faz o seu próprio *switch* para a fibra de protecção, o ONU pode voltar ao estado de *Operation* (O6). No entanto, o OLT deve primeiro testar o ONU ao comandar o ONU a transmitir *burst* simples na direcção de *upstream*. O OLT acerta os seguintes campos:

- ONU-Ids = ONU-IDs testados.
- PLOAMu = '1'
- Apontadores - valores escolhidos para intercalar ONU em teste com outros ONUs, como se estivessem no estado normal de operação.

O ONU responde, baseado na afirmação dos apontadores, com o seguinte campo de *upstream* POPUP: PLOu e PLOAMu contendo a mensagem de *serial-number-ONU*.

No caso de a transmissão ser recebida pelo OLT e a localização esperada, o OLT irá enviar uma mensagem POPUP ONU-ID (*unicast*) ao ONU, o qual, irá retornar o estado de operação (O6).

- iii. No caso de o ONU não receber nenhuma mensagem POPUP, irá mover, o *time-out* (TO2) para o estado *initial* (O1).
- g. Estado de *emergency-stop* (O8) [8]
 Durante o *emergency-stop*, o ONU não envia nenhuns dados na direcção e *upstream*.
 Quando recebe uma mensagem de *disable-serial-number* com a opção de *disable*, o ONU deve mover-se para o estado de *emergency-stop* (O8) e encerrar o laser.
 Se o ONU falhar o movimento para o estado *emergency-stop*, o OLT continua a receber o ONU em transmissão *upstream*, um alarme é confirmado no OLT.
 Quando o ONU é desactivado o mau funcionamento é fixado, o OLT deve activar o ONU para que o traga de volta para a condição de trabalho. A activação é conseguida ao enviar a mensagem *disable-serial-number* com a opção de *enable* ao ONU. Como resultado, o ONU deve retornar para o estado de *standby* (O2). Todos os parâmetros são reexaminados.

PROCEDIMENTOS DE ACTIVAÇÃO DO OLT

O procedimento de activação é especificado pelo comportamento funcional do estados.

As funções do OLT para o procedimento de activação podem ser dividida em “parte comum” e a “parte de distribuição individual ONU”. A “parte comum” trata das funções numa interface e a “parte de distribuição individual ONU” trata de cada ONU suportado numa Interface. Cada estado para ambas as partes é descrito [8].

As partes mais comuns são as de tratar das novas aquisições de números de série dos novos ONUs e a descoberta do ONU que retorna ao serviço após o estado LOS.

Os estados são definidos como:

Descrição do comportamento da parte comum das especificações do OLT

	Número de Série adquirido no estado standby (OLT-COM1)	Número de Série adquirido no estado (OLT-COM2)	Medidas RTD do estado de standby (OLT-COM3)
Novo ONU do Sistema OpS	OLT-COM2	-	-
Alarme de Falta de ONUs (estado LOS)	OLT-COM2	-	-
Aquisição periódica do serial number no ciclo de time-out	OLT-COM2	-	-
Recepção valida do serial number transmitido do novo ONU.		Extracto SN Alocação livre do ONU-ID	-
Recepção valida do serial number transmitido do ONU em falta.		Extracto SNR Re-assignar o ONU-ID	-
Recepção inesperada da transmissão do serial Number.		Desactivar ONU	
Serial Number recebido não válido.		OLT-COM3	
Aquisição do serial number no ciclo limite alcançado.		OLT-COM3	
Medida de Atraso Completa.			OLT-COM1

- Estado de *stanby* de aquisição do numero de série (OLT-COM1)
O OLT espera por uma indicação de *new* ou de *missing* de ONU, ou por periódicos ciclos de *time-out* [8] [12].

- Estado de aquisição de número de série (OLT-COM2)
Quando entra neste estado, o OLT começa com o ciclo de aquisição do número de série. Apesar, do OLT verificar para *new* ou *missing* ONUs e atribui um ONU-ID para descobrir ONUs [12].
Como resultado, ciclos de medida de RTD são activos sobre as descobertas de ONUs.
- Estado de *stand by* de medidas RTD (OLT-COM3)
Quando entra neste estado, a parte individual do OLT começa um ciclo de medidas RTD sobre descobertas de ONUs.
Enquanto os ciclos de medições de RTD estiverem a ser aplicados, o OLT não pode verificar para *new* ou *missing* de ONUs.

O funcionamento dos estados é definido na tabela acima apresentada.

MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DO OLT

Para que as transmissões não colidam com dados de operações de ONUs, o OLT cria uma *ranging window* na trama de *upstream*.

Isto é feito, parando os ONUs utilizando quer alocação de estruturas com apontadores com zeros, ou nenhum tipo de alocação. Notar que mesmo após o ONU receber a indicação de paragem estes continuam a enviar dados na direcção de *upstream* para o tempo de igualização atraso [8]. Seguindo o tempo, o ONU no estado de operação irá parar de enviar dados na direcção de *upstream*.

Já que os ONUs em funcionamento param as suas transmissões *upstream* por diversas tramas durante o ciclo de paragem, o OLT tem de esperar tempo suficiente para que o ONU em funcionamento da fila volte ao seu estado normal de operação. Este tempo é referido como tempo mínimo entre ciclos de paragens. O tempo exacto depende das considerações feitas nas implementações [8].

No caso da localização dos alvos ONUs serem desconhecidos, é sugerido que o OLT abra uma *ranging window* que é baseada na soma das propagações de atraso do D/S e U/s para o ONU. Os valores sugeridos para a *ranging window* serem de 250 us [8].

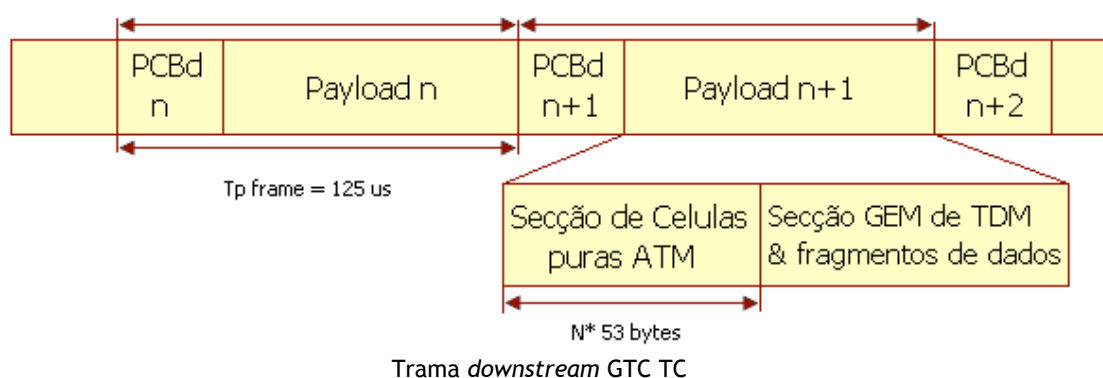
Em alguns casos a transmissão do número de série inclui um não esperado SN (o número de série não é definido no OLT pelo sistema OpS), o ONU ira ser desactivado pelo OLT, usando o *disable serial number message*. O ONU irá mover para o estado de *emergency-stop* (O8) e parar de responder aos pedidos de *serial number*.

Anexo D

Estruturas das Tramas de *Upstream* e *Downstream*

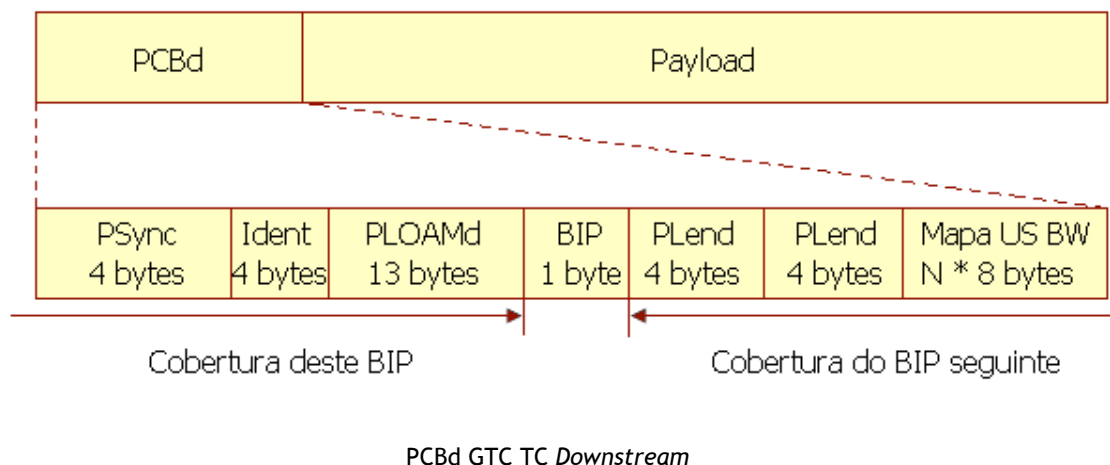
ESTRUTURA DA TRAMA DE DOWNSTREAM

Um diagrama da estrutura da trama de *downstream* é mostrada na figura 4.7. A duração da trama é de 125 μ s para taxas de dados de *downstream* de 1.24416 Gbit/s e 2.48832 Gbit/s. A trama mais longa 19440 bytes no sistema 1.24416 Gbit/s e mais 38880 bytes no sistema 2.48832 Gbit/s. O comprimento do PCBd é igual para ambas as velocidades e depende do número de estruturas alocadas por trama [8].



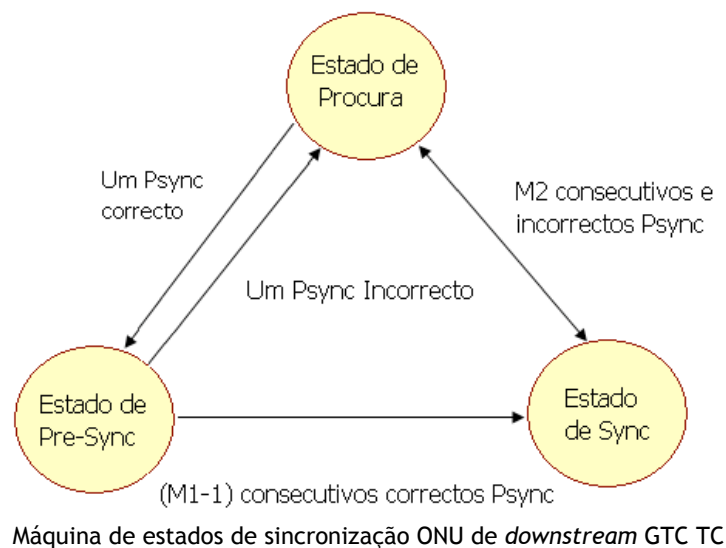
A trama de *downstream* é baralhada usando um polinómio-baralhado na trama-sincronismo. Este padrão é adicionado ao módulo dois de dados de *downstream*.

O diagrama do PCBd é mostrado na figura 4.8. O PCBd contém vários campos, cada qual é descrito subsequentemente. O OLT envia o PCBd em *broadcast* e todos os ONU recebem o PCBd inteiro. Os ONUs actuam sobre a informação relevante contida neles [8] [9].



O campo de sincronização é realizado por um padrão fixo de 32 bits que inicia todos os PCBd. O ONU lógico pode usar este padrão para encontrar o início da trama [8].

O ONU implementa a máquina de estados de sincronização como se mostra na figura 4.9.



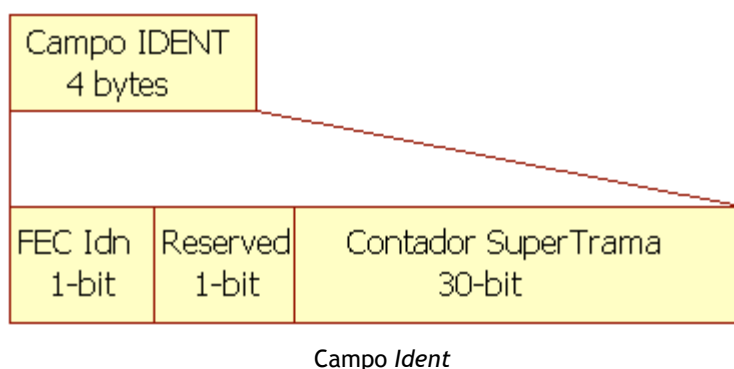
O ONU inicia no estado procura. O ONU procura então o padrão de *Psync* em todos os alinhamentos (ambos *bit* e *byte*) possíveis enquanto se encontra no estado procura. Quando

encontra um *Psync* correcto, o ONU transita para o estado *Pré-sync* e coloca o contador N, para o valor de 1. Então, o ONU procura por outro padrão *Psync* que segue o último por 125 us. Por cada *Psync* correcto, o contador é incrementado. Se algum campo *Psync* encontrado for incorrecto, o ONU transita novamente para o estado procura. Se o contador for igual a M1 e se encontrar no estado de *Pré-sync*, o ONU transita para o estado de *Sync*. Uma vez que o ONU alcança este estado este pode declarar que encontrou a estrutura da trama de *downstream* e sendo assim poderá começar a processar a informação de PCBd. Se o ONU detecta M2 consecutivos com campos incorrectos de *Psync* então poderá declarar que perdeu a trama de alinhamento de *downstream* e transita novamente para o estado de procura. O valor recomendado para M1 é de 2 e o valor recomendado para M2 é de 5 [8].

Os 4 bytes do campo *Ident* servem para indicar o tamanho da estrutura da trama. Este contador supertrama é usado para o sistema de encriptação de dados do utilizador e também poderá ser usado para providenciar uma referência de sincronismo do sinal a uma taxa baixa. Os 30 bits menos significativos do campo *Ident* irão conter um contador em cada *Ident* de cada trama irá ser cada vez mais largo que o anterior. Sempre que o contador chegar ao seu valor máximo, o contador volta ao valor de zero [8].

Para que se tenha um erro de tolerância, o ONU deve implementar um contador local de supertrama e uma máquina de estados de sincronização de supertrama. Esta máquina de estado é idêntica à máquina de estados de sincronização descrita anteriormente. Quando no estado de procura, o ONU carrega o contador da supertrama recebido no campo *Ident* do contador local. Quando nos estados de *Pré-Sync* e *Sync*, o ONU compara o seu valor local com o valor recebido do contador, se corresponderem significa que estão correctamente sincronizados enquanto se não, indica que, ou há um erro de transmissão ou um erro de sincronização.

O *bit* mais significativo do campo *Ident* é usado para identificar se o FEC se encontra em uso no *downstream*. Outros bits no campo *Ident* são reservados. A figura 4.10 ilustra o campo *Ident* [8] [9].



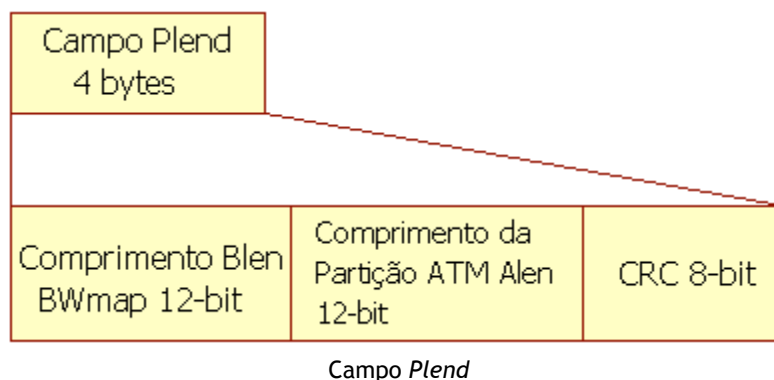
O campo de *downstream* é um campo de 13 bytes que contém as mensagens PLOAM.

O campo Bit é um campo de 8 bits que contém a paridade de um bit intercalado de todos os bytes transmitidos desde o último BIP. O receptor deve processar a paridade do bit intercalado, assim como comparar o seu resultado com o BIP transmitido para que meça o número de erros na ligação [8].

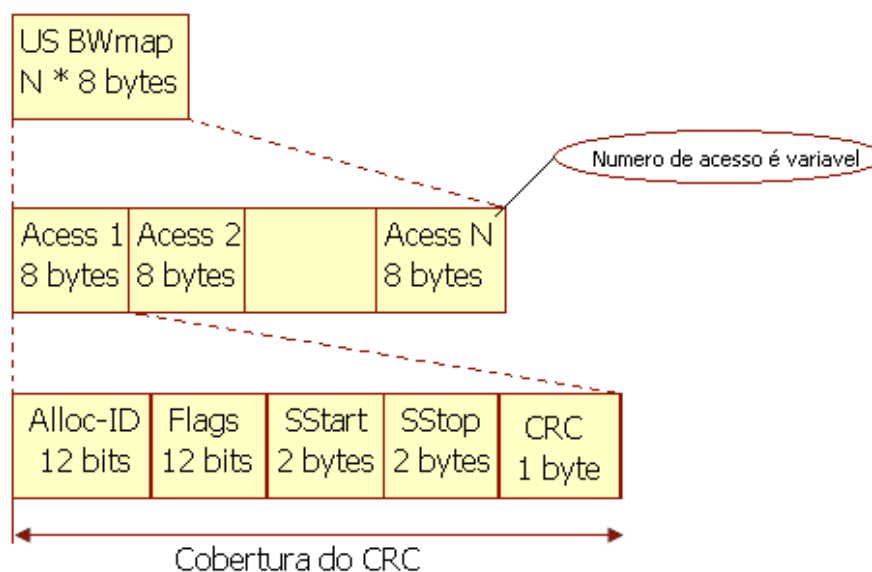
O comprimento do campo *payload* de *downstream* especifica o comprimento do mapa da largura de banda e da partição do ATM. Este campo é enviado duas vezes para robustez de erro e o processo para assegurar essa robustez será o seguinte:

O comprimento do mapa de largura de banda é dado nos primeiros 12 bits. Isto limita o número de alocações (IDs) que podem ser concedidas em quaisquer 125 μ s durante 4095. O comprimento da partição ATM é dado pelos próximos 12 bits do campo *Plend*. Isto permite até 4095 células ATM numa trama, o que é suficientemente para as taxas de dados de 10 Gbit/s [8].

O receptor irá tentar decodificar ambas as cópias do campo *Plend* enviado, dependendo do resultado do processo de detecção do CRC-8 este irá usar o campo *Plend* da mais alta qualidade. No caso em que ambos os campos *Plend* se encontram incorrigíveis estes são da mesma qualidade, mas possuem diferentes valores, o receptor não pode analisar a trama, assim como ela é não detectável à combinação de erros.



O mapa da largura de banda é um *array* escalar de 8 bytes de alocação de estruturas. Cada entrada neste *array* representa a alocação singular de largura de banda a um particular T-CONT. O número de entradas no mapa é dado pelo campo *Plend* [8].



Estrutura de alocação do mapeamento de largura de banda GTC

A alocação do campo ID contém um número de 12 bits que vai indicar um T-CONT particular que é concedido ao tempo no *upstream* do PON [8] [12]. O campo de 12 bits é geralmente não estruturado. Em primeiro, os 254 valores mais baixos da alocação do ID são usados para endereçar o ONU directamente. Durante o processo de agrupamento, o primeiro *Alloc-ID* dado ao ONU deve-se encontrar na escala.

Os *Alloc-ID*=254 é o ID de activação do ONU, usado para descobrir ONUs desconhecidos e o *Alloc-ID*=255 é o *Alloc-ID* não atribuído. Isto é usado para indicar que nenhum T-CONT pode usar a estrutura alocada associada.

A *flag* é um campo de 12 bit que contém 4 indicações separadas da maneira como a alocação deve ser usada. O significado dos bits é o seguinte [8]:

- Bit 11 (MSB). Envia o PLSu (*power levelling sequence*): Se o bit é colocado, o ONU deve enviar a informação PLSu durante essa alocação. Se este bit não é colocado, o ONU não vai enviar a informação PLSu nesta alocação.
- Bit 10: Envia PLOAMu, se o bit é colocado, o ONU vai enviar a informação PLOAMu durante a alocação. Se este bit não for colocado, o ONU não ira enviar informação PLOAMu nesta alocação.
- Bit 9: Uso FEC, se este bit for colocado, o ONU deve computar e inserir a paridade FEC durante esta alocação. É de notar que este bit deve ser o mesmo para o tempo de vida da alocação de ID e é meramente uma confirmação *in-band* prévia de alguns dados já conhecida.

- Bit 8 e 7: Envia DBRu (modo), dependendo do conteúdo destes dois bits, o ONU vai enviar o DBRu correspondente ao ID alocado ou não. Os pontos de código definidos são:
 - 00: Não enviar o DBRu a todos.
 - 01: Enviar o 'modo 0' DBRu (dois bits)
 - 10: Enviar o 'modo 1' DBRu (dois bits)
 - 11: Enviar o 'modo 2' DBRu (cinco bits)

É de notar que o ONU deve responder com um número requerido de bytes, independentemente do modo que vai suportar [8].

O campo de *start time* contém 16 bits que indicam o tempo de *início* da alocação. Este tempo é mapeado sob a forma de bytes, começando pelos zero no início da trama de *upstream*. Isto limita o tamanho da trama de *upstream* a 65 536 bytes. Isto é o suficiente para endereçar até 2.488 Gbit/s de taxas de *upstream*.

Os pontos do *start time* dos dados de transmissão validos não incluem o cabeçalho de tempo da camada física. Isto faz o significado do apontadores o mesmo independentemente da sua posição num *burst* de alocações para o mesmo ONU. O cabeçalho de tempo das camadas físicas é definido para incluir o tempo requerido para tolerâncias (tempo de guarda), recuperação de receptor, recuperação do nível de sinal, recuperação de tempo, delimitador e o campo PLOu. Os valores para os tempos das camadas físicas são recomendados pelo ITU-T G.984.2 e são baseados nas taxas de dados da direcção de *upstream*. O OLT e ONU devem ambos designar o tempo de cabeçalho da camada física se é propriamente contado.

O campo de *stop time* contém o número de 16 bits, que indiciam o tempo de paragem da alocação. Este tempo é medido em bytes, começando com zero no *início* da trama de *upstream*.

Imediatamente após a última entrada do mapa de largura de banda temos as partições do *payload* GTC. Existem duas partições:

- Partição ATM

A partição ATM contém um número de 53 *byte* de células ATM. O comprimento desta partição é dado pelo campo *Plend*. O campo é consequentemente um múltiplo inteiro de 53 *bytes* de comprimento e as células encontram-se todas alinhadas com a partição. A delineação das células é trivial e a delineação deve ser confirmada assegurando que o *byte* HEC verifica a restante do cabeçalho da célula.

A célula do *downstream* é então filtrada no ONU baseado no VPI contido em cada célula. ONTs são configurados para reconhecer qual VPIS pertencem e as

células que pertencem ao ONU são passadas para o processo do cliente ATM [8] [12].

- Partição GEM

A partição GEM contém qualquer número do modo-trama GEM delineado em tramas. O comprimento da partição GEM mantém após o PDBd as partições ATM a serem subtraídas de todo o comprimento da trama.

A trama de *downstream* é filtrada no ONU baseado no campo Port-ID de 12 bit contido em cada fragmento de trama. Os ONTs são configurados para se reconhecer qual Port-ID a que estes pertencem e as tramas que pertencem ao ONU são passadas ao processo do cliente GEM [8] [12].

ESTRUTURA DA TRAMA DE UPSTREAM

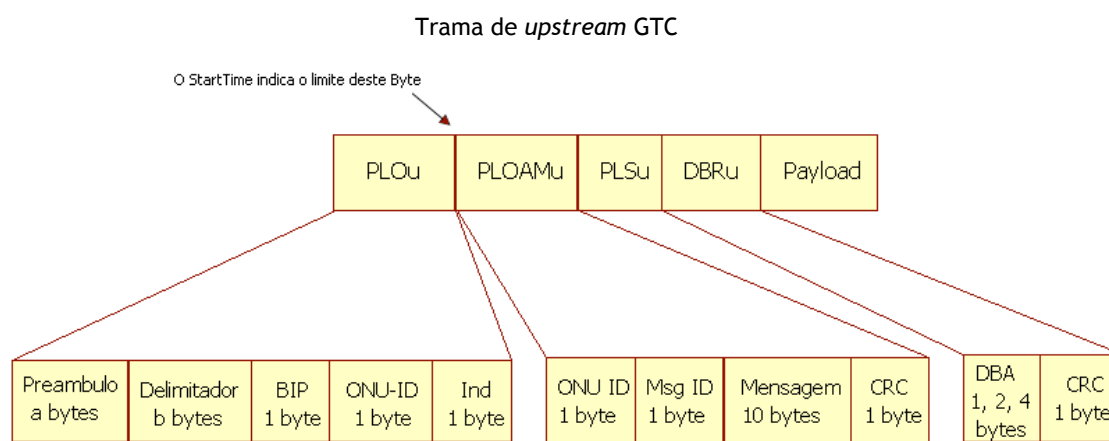
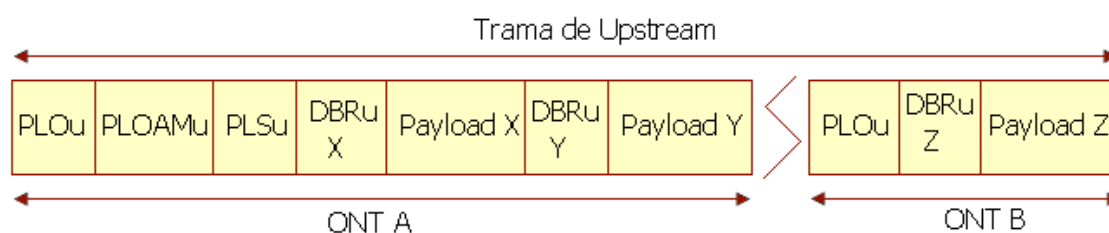
O diagrama da estrutura da trama de *upstream* é representada na figura 4.14. O comprimento da trama é o mesmo que em *downstream* para todos as taxas. Cada trama contém um número de transmissões de um ou mais ONUs. O *BWmap* dita os arranjos destas transmissões. Durante cada período de alocação de acordo com o controle de OLT, o ONU pode transmitir entre um a quatro tipos de cabeçalhos PON, dependente dos dados de utilizador. Os quatro tipos de cabeçalho são [9]:

- *Overhead* da camada Física (PLOu)
- Operação, administração e gerência da camada física em *upstream* (PLOAMu)
- Nivelamento da sequência de potência *upstream* (DBRu).
- Reportar dinamicamente a largura de banda em *upstream* (DBRu).

O OLT indica através das *flags* do campo *BWmap* as informações PLOAMu, PLSu ou DBRu que devem ser enviadas em cada alocação. O *schedule* no OLT necessita de verificar as exigências de largura de banda e latência dos canais subordinados para a colocação da frequência da transmissão.

O estado da informação PLOu é implícito nos arranjos das alocações dos próprios. As regras são que cada tempo de cada ONU toma sobre o PON médio de outro ONU, deve enviar uma nova cópia dos dados PLOu. No caso, onde um ONU é dado dois IDs alocados que são contíguos então o ONU deve suprimir o envio de dados PLOu para o segundo *Alloc-ID*. As alocações devem ser exactamente contíguas, ou devem ser organizadas assim como se fossem de dois diferentes ONUs [8].

Seguindo qualquer uma destas transmissões de cabeçalho, os dados do utilizador são enviados até ao local indicado pelos apontadores de *Stop Time*.



Detalhe do cabeçalho do GTC *upstream*

A trama de *upstream* é baralhada usando o polinómio baralhador da trama-sincronizada. Este padrão é adicionado aos dados de *upstream*. O *shift register* usado para calcular este polinómio faz o *reset* a todos os uns ao primeiro *bit* seguindo o campo delimitador do PLOu da primeira alocação de *upstream*, só é permitido para correr até ao último bit da transmissão. Se o ONU transmitir várias alocações contíguas, o baralhador de *upstream* não deve fazer o *reset* [8].

Os dados do PLOu incluem o cabeçalho da camada física e três campos de dados que correspondem ao ONU como inteiro. Estes dados são enviados no início de qualquer transmissão *burst* de um ONU. É de notar que para manter a conectividade com o ONU, o OLT

deve tentar alocar a transmissão de *upstream* a todos os ONU a um intervalo mínimo. A duração deste intervalo é determinada pelos parâmetros de serviço do ONU.

O preâmbulo e o delimitador são formados como ditado pelo OLT na mensagem de cabeçalho do *upstream*. Notar que estes bytes são transmitidos previamente no tempo imediato ao *byte* indicado pelo apontador do *start time* [8].

O campo BIP é um campo de 8 bit que contém o bit de paridade intercalado a todos os *bytes* transmitidos desde o último BIP deste ONU excluindo os *bytes* de preâmbulo e delimitador. O receptor do OLT deve computar o *bit* intercalado de paridade para cada *burst* ONU e comparar os seus resultados com o campo BIP recebido para medir o número de erros na ligação.

O campo ONU-ID é um campo de 8-bit que contém um único ONU-ID, do ONU que envia esta transmissão. O ONU-ID é atribuído ao ONU durante o processo de agrupamento. Antes de ser dado o ONU-ID, o ONU deve colocar o ONU-ID (255) não atribuído neste campo. O OLT pode verificar este campo contra a gravação de alocações, para confirmar que o ONU correcto está a transmitir.

O campo de indicação providência a tempo real o *Status Report* do ONU para o OLT.

Também de notar que o ONU vai acertar o PLOAMu esperando pelo *bit*, assim que um ou mais células PLOAM esperam. O agendamento do algoritmo do OLT devem tomar este facto como conta, quando determinado a enviar as alocações do PLOAMu.

O campo PLOAMu é de comprimento de 13 bytes e contém a mensagem PLOAM. Este campo é enviado quando indicado por campos de *flags* na alocação da estrutura.

O campo PLSu é de comprimento de 120 *bytes* e é usado para controlar a potência medida pelo ONU. Esta função assiste nos ajustes do nivelamento de potência do ONU para reduzir o campo óptico dinâmico como é visto pelo OLT. O conteúdo deste campo é localmente colocado pelo ONU, conforme o seu *design*. Este campo é enviado quando indicado no campo de *flags* na alocação das estruturas [8].

O mecanismo de controlo de potência é útil em dois casos: inicial da instalação da potência e modo de mudança de potência nos transmissores do ONU. O anterior só acontece durante os procedimentos de activação de potência do ONU enquanto o segundo ocorre durante o seu modo de operação assim como o de activação. Assim, o PLSu pode ser requerido a qualquer momento.

Em muitos casos durante o processo de activação, o OLT pode colocar o *bit* PLSu em alocações *broadcast* para permitir os ONUs a colocar a sua transmissão. Se o ONU não necessitar de usar o campo PLSu então este deve desactivar a sua transmissão nesse tempo. Isto irá reduzir as possibilidades de colisão [8].

No caso do PLSu, durante a operação o ONU em geral terá de transmitir seguindo o PLSu. Consequentemente, durante a operação o ONU deve enviar o PLSu quando requerido, independentemente da sua necessidade para fazer alguns ajustes de transmissor.

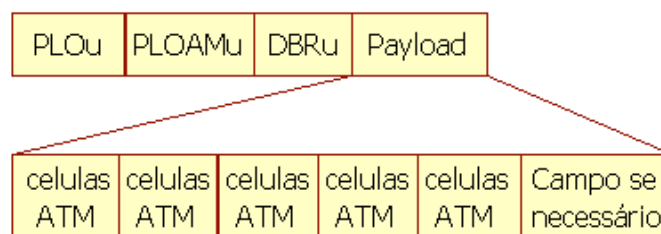
A estrutura DBRu contém informação que é interligada com a entidade T-CONT, como oposto do ONU. Este campo é enviado quando indicado pelo campo da *flag* na estrutura de alocação.

O campo DBA contém o estado do tráfego do T-CONT em questão. Um campo de 8-, 16- ou 32 *bit* é reservado para este propósito. É de notar que o ONU deve transmitir o comprimento apropriado do campo DBA, mesmo que esse modo DBA não seja suportado, para que se mantenha a delineação.

A estrutura DBRu é protegida usando o CRC-8. O receptor do campo DBRu irá implementar o detector de erro e as funções de correcção do CRC-8. Se o CRC-8 indicar que um erro incorrigível ocorreu então a informação do DBRu irá ser descartada.

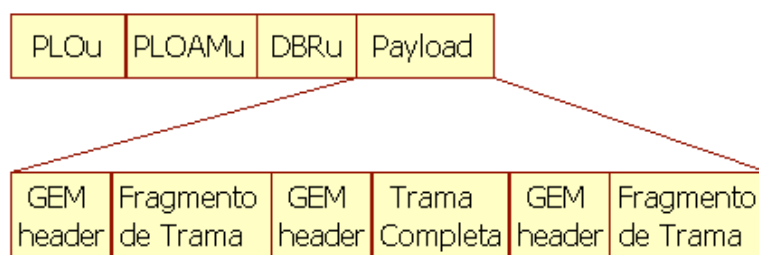
Imediatamente após o campo de cabeçalho da última *upstream* é o *payload* do *upstream* GTC. Isto pode ser usado para transportar células ATM e tramas delineadas GEM, ou relatórios DBA [8] [13].

O *payload* ATM em *upstream* contém um número de 53 *byte* de células ATM. O comprimento deste *payload* é dado pela duração da alocação menos o tamanho dos cabeçalhos requeridos. O OLT deve tentar fazer com que os apontadores como o ATM *payload* sejam sempre múltiplos inteiros de 53 *bytes* de comprimento. As células são sempre alinhadas com o início do *payload*.

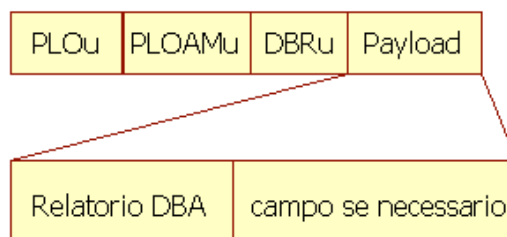


Células ATM em *upstream*

O *payload* GEM contém qualquer número do modo-trama GEM delineando a trama. O comprimento deste *payload* é dado pela duração da alocação menos o tamanho do cabeçalho requerido. O OLT deve manter múltiplas instâncias da delineação GEM da máquina de estados e tramas fragmentadas do *buffer* até estarem completas.

Tramas GEM em *upstream*

O *payload* DBA contém um grupo de largura de banda alocada dinâmica que reporta do ONU em questão (figura 4.18) [8]. O primeiro relatório DBA é sempre alinhado, o primeiro *byte* do relatório encontra-se no início da alocação. Todos os relatórios são contínuos. Se o comprimento da alocação não coincidir com o comprimento total do relatório então o ONU, ou irá truncar o final do último relatório ou acrescentar zeros no final do último relatório. Note-se que o ONU deve responder a uma alocação *payload* do DBA, mesmo que este modo do DBA não seja suportado, apenas para manter a delineação.

Relatório DBA em *upstream*

Glossário

Backbone é a infraestrutura que interconecta várias peças numa rede, providenciando o caminho para a troca de informação entre redes diferentes. O *Backbone* pode interligar várias redes. Normalmente, a capacidade do *backbone* é superior às redes que se encontram ligadas a si.

Transceiver é um dispositivo que possui tanto o transmissor como o receptor, que se encontram em conjunto e que partilham o mesmo circuito. Caso o circuito não seja partilhado por ambos este dispositivo chama-se de transmissor-receptor.

Splitter, o splitter tem a função de concentrar e distribuir o sinal pelo seu ratio. Não possui funções de aumento de largura de banda.

Fiber to the curb, o FTTC refere-se à instalação e uso de cabos de fibra óptica directamente até a um ponto de distribuição local próximo de um cliente habitacional ou empresarial. A partir do ponto de distribuição local até ao cliente final são utilizados cabos coaxiais ou pares simétricos.

Passive optical network (PON), é uma arquitectura de rede ponto-a-multiponto em que não é necessária a alimentação do seu *splitter* óptico que é utilizado para servir vários utilizadores. É referente apenas ao equipamento passivo de uma rede.

Downstream, é a direcção a jusante, isto é, quando se fala do tráfego em *downstream*, fala-se de tráfego da fonte ao cliente.

Upstream, é a direcção montante, isto é, quando se fala de tráfego em *upstream*, fala-se de tráfego do cliente à fonte.

Burst, o termo *burst* possui o seguinte significado. Quando qualquer transmissão com grande largura de banda transmite num curto espaço de tempo. Por exemplo, se um download utiliza em média 2 Mbit/s e de repente há um pico para 2.4 Mbit/s.

Asynchronous transfer mode (ATM), é um modo de transferência de informação adoptado em redes de banda larga, é orientado a conexões, isto é estabelecem-se conexões sobre os canais virtuais, a informação é encapsulada em células de comprimento fixo.

Multicast, é a entrega de informação para múltiplos destinatários simultaneamente usando a estratégia mais eficiente onde as mensagens só passam por um link uma única vez e somente são duplicadas quando o link para os destinatários se divide em duas direcções.

Jitter é uma variação estatística do retardo na entrega de dados em uma rede, ou seja, pode ser definida como a medida de variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados.

Trama, é um pacote de dados codificado para as características específicas de um determinado canal de transmissão.

Payload, O *payload* será os dados que são transportados pelos *cabeçalhos*.

Buffer, Os *Buffers* são utilizados para interligar dois circuitos digitais operando com o mesmo débito, podem guardar dados para serem utilizados mais tarde, pode corrigir temporizações numa trama de dados.

Adaptation Function (AF): AF é um equipamento adicional para converter uma interface ONT/ONU de um cliente na interface UNI que é necessária para o operador, ou para converter uma interface UNI numa interface ONT/ONU de um cliente. As funções AF dependem da interface ONT/ONU do cliente ou da interface UNI. AF é também usado para converter uma interface de rede OLT na interface SNI que é necessária para um operador, ou para converter uma interface SNI numa interface de rede OLT.

Logical reach: *Logical Reach* é definido como a máxima distância que um sistema particular de transmissão pode alcançar, independentemente do seu *optical budget*.

Differential fibre distance: Um OLT é conectado a vários ONU/ONTs. A distância diferencial de fibra é a diferença da distância entre o ONU/ONT mais perto do mais longínquo referente ao mesmo OLT.

Optical Access Network (OAN): O OAN é quem coloca as ligações dos pontos de acesso partilhando a mesma interface na rede e é suportado por sistemas de transmissão de acesso óptico. O OAN pode incluir um número de ODNs ligados ao mesmo OLT.

Optical Network Termination (ONT): Um ONT é um ONU utilizado para FTTH, isto incluía função de utilizador de porto. Um único dispositivo do subscritor que termina em qualquer um dos pontos do ODN, implementa um protocolo PON. Um ONT é um caso especial do ONU.

Optical Network Unit (ONU): Um ONU providencia a interface da parte do utilizador do OAN e está conectado ao ODN. Um ONU é um termo genérico que qualifica um equipamento que termina num dos pontos do ODN. Em alguns contextos, um ONU implica um equipamento para múltiplos subscritores.

Optical Distribution Network (ODN): Um ODN proporciona os meios de transmissão óptica desde o OLT até os utilizadores e vice-versa. Utiliza componentes ópticos passivos.

Optical Line Termination (OLT): Um OLT providencia a interface da parte da rede do OAN, é está conectado a um ou mais ODN.

Time Division Multiple Access (TDMA): É uma Técnica de transmissão que funciona dividindo um canal de frequência em vários intervalos de tempo distintos. Cada usuário ocupa um espaço de tempo específico na transmissão, o que impede problemas de interferência.

Wavelength Division Multiplexing (WDM): Multiplexagem bidireccional que utiliza diversos comprimentos de onda ópticos para sinais *upstream* e *downstream*.

Broadband Passive Optical Network (B-PON): B-PON são sistemas de transmissão óptica de banda larga de ponto-multiponto. B-PON podem transportar qualquer tipo de informação, por exemplo voz, vídeo etc. O B-PON é capaz de transportar informação independentemente do tipo de trama de dados (isto é, não só ATM, como Ethernet etc.).

C/M-plane: C/M-Plane trata a informação de controlo e de gestão do sistema G-PON. Informação sobre OMCI está transferida pelo CM-plane.

Dynamic Bandwidth Assignment (DBA): DBA é o procedimento pelo qual os ONU exigem dinamicamente a largura de banda em *upstream*. O OLT então, atribui a largura de banda ao ONU para *upstream*.

OAM embebido: OAM embebido providencia funcionalidades OAM consistindo em *Granting*, mudança de chaves para segurança e funcionalidades relacionadas com DBA.

G-PON Encapsulation Mode (GEM): GEM é um método que encapsula dados sobre GPON. Apesar de qualquer tipo de dados ser possível encapsular, na verdade estes vão depender da situação do serviço. GEM providencia comunicação orientada à conexão assim como o ATM.

Gigabit passive Optical Network (G-PON): G-PON são sistemas de transmissão ópticos de banda larga ponto-multiponto. O G-PON pode transportar qualquer tipo de dados utilizando funcionalidades ATM ou GEM.

GTC framing sub-layer: É uma parte da camada GPON TC. Tem a responsabilidade de reconhecimento da delineação e do enquadramento em cada porção de dados.

Non-Status Reporting DBA (NSR-DBA): o NSR-DBA invoca a alocação de largura de banda que não necessita reportar do ONU. No entanto, providencia alocação dinâmica ao utilizar a monitorização pelo próprio OLT.

Physical Layer OAM (PLOAM): Providencia à rede PON funcionalidade de gestão, como *ranging*, activação de ONU estabelecimento de OMCC e transferência de alarmes.

Portos: Os portos, são unidades para multiplexar o T-CONT em GEM. Um ou mais portos são especificados no T-CONT. Os dados são transferidos entre o OLT e o ONU através dos Portos. O porto corresponde ao VP/VC em ATM. Cada porto é identificado pelo Port-ID especificado em GEM.

ranging: *ranging* é um método para medir a distancia entre cada ONU e o seu OLT associado e determinar o tempo de transmissão, para que as células de *upstream* enviadas de diferentes ONUs no mesmo ODN não colidam.

Status Reporting DBA (SR-DBA): O SR-DBA providencia a alocação de largura de banda de acordo com os relatórios do ONU.

TC adaptation sub-layer: A sub-camada de adaptação TC é uma parte da camada TC em GPON. Tem a responsabilidade de filtrar os dados transferidos de acordo com o VPI/VCI ou Port-ID. Para além disto, para o OMCI esta sub-camada permite a diferença entre o ATM e GEM baseado-se no OMCI para providenciar a interface comum para a entidade OMCI.

Transmission Containers (T-CONTs): Os T-CONTs são utilizados para gerenciar a largura de banda alocada nas secções PON da camada convergente de transmissão. Os T-CONTs são utilizados primeiramente para melhorar a largura de banda utilizada em PON.

- O T-CONT podem transportar VCs/VPs de ATM e/ou portos GEM e reportar o estado dos seus buffers aos seus OLTs associados.
- Um único T-CONT pode transportar tráfego ATM e/ou GEM com varias classes de serviços.
- O DBA T-CONT *status report* sumariza o estado do buffer de um T-CONT específico.
- O T-CONT é uma entidade que transporta na camada TC e transfere informação de camadas superiores da entrada para a saída.

Transmission Convergence (TC): O TC encontra-se posicionado entre a parte física e o cliente GPON. A camada TC consiste no framing das sub-camadas GTC e a adaptação das subcamadas TC.

U-plane: o U-plane processa dados de utilizador sobre sistemas GPN. O U-plane providencia a comunicação entre os clientes ATM e os clientes GEM.

Referencias

- [1] LAM, Cedric F.; “Passive Optical Networks Principles and Practice”;London; 2007; Elsevier Inc.;
- [2] H. Shinohara, “Broadband Access in Japan: Rapidly Growing FTTH Market,” *IEEE* Sept. 2005.
- [3] Shachaf Y., Kourtessis P., Senior J.M; “Multiple-PON Access Network Architecture”;
- [4] Dutton, Harry J. R;” Understanding Optical Communications - IBM”; September 1998; IBM Corporation;
- [5] Cale, Ivica; Salihovic, Aida; Ivekovic, Matija; “Gigabit Passive Optical Network - GPON”; 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces, June 25-28, 2007, Cavtat, Croatia;
- [6] ITU-T Recommendation G.984-1 (2003), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics”;
- [7] Smith, Stephen;” Business Class Services over a GPON Network”, *IEEE Communications Magazine*;
- [8] ITU-T Recommendation G.984-3 (2004), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission convergence layer specification”;
- [9] ITU-T Recommendation G.984-4 (2004), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): ONT management and control interface specification”;

- **[10]** ITU-T Recommendation G.984-4 (2004), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification”;
- **[11]** ITU-T Recommendation G.652 (2005), “Characteristics of a single-mode optical fibre and cable”;
- **[12]** ITU-T Recommendation G.984-3 (2005), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission convergence layer specification”; Amendment 1;
- **[13]** ITU-T Recommendation G.984-3 (2006), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission convergence layer specification”; Amendment 3;
- **[14]** Lin, Chinlon; “Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home”; John Wiley & Sons Ltd.
- **[15]** Green, Paul E.; “FIBER TO THE HOME”; 2006; John Wiley & Sons
- **[16]** ITU-T Recommendation G.984-3 (2006), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission convergence layer specification”; Implementers’ Guide for ITU-T Rec. G.984.3;
- **[17]** ITU-T Recommendation G.984-5 (2007), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Enhancement band”;
- **[18]** ITU-T Recommendation G.984-3 (2006), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): ONT management and control interface specification”; Amendment 2;
- **[19]** ITU-T Recommendation G.984-3 (2006), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): ONT management and control interface specification”; Amendment 3;
- **[20]** ITU-T Recommendation G.984-3 (2005), “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): ONT management and control interface specification”; Amendment 1;
- **[21]** Mitha, Omar; “Analise de Projectos de Investimento”; Escolar Editora;

- **[22]** Saunders, Anthony; Cornett, Marcia; “Financial Institutions Management”; Indianapolis; 2003; Macgraw-Hill;
- **[23]** Russell Davey, BT; Junichi Kani, NTT; Fabrice Bourgart, France Telecom; Kent McCammon, AT&T Labs; “Options for Future Optical Access Networks”; IEEE Communications Magazine, October 2006 ;
- **[24]** Goode, Bur; “Voice Over Internet Protocol (VoIP)”; Proceedings of the IEEE, Vol. 90; September 2002;