



Instituto superior de Engenharia de Lisboa
Serviço de Documentação e Publicações

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

**Área Departamental de Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações e
de Computadores**

Redes de Acesso em Fibra Ótica: Situação Atual e Evolução

António Carlos Martins Oliveira

**Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações**

Orientadores:

Doutor Pedro Renato Tavares de Pinho
Eng^o João Luís Ribeiro Casaleiro

Júri:

Presidente:

Doutor Mário Pereira Véstias

Vogais:

Doutor Paulo Sérgio de Brito André
Doutor Pedro Renato Tavares de Pinho

Novembro de 2017

Agradecimentos

Antes de mais queria agradecer à Deus por ter iluminado o meu caminho e a minha mente durante esse período, de muita dedicação e aprendizagem.

À minha família pelo suporte, amor, carinho e compreensão. Principalmente aos meus pais, Firmino Silva e Adriana Silva por me apoiarem de forma incondicional em todas as etapas da minha vida.

À minha irmã Jocelina Martins Fernandes, um muito obrigado por estar sempre ao meu lado.

Queria prestar o meu agradecimento pessoal ao meu orientador de Mestrado, Professor Pedro Pinho pela sua dedicação, acompanhamento e orientação ao longo da concretização deste trabalho. Sem a sua contribuição não teria sido possível.

A todos os meus colegas da empresa de Projetos e Engenharia em Telecomunicações – CBE, que contribuíram para que os objetivos da dissertação fossem cumpridos. Principalmente ao Engenheiro João Casaleiro e ao Engenheiro Elves Silva.

Aos meus amigos e colegas em geral, que me acompanharam ao longo da vida académica e partilharam comigo bons e maus momentos. Principalmente ao meu grande amigo Carlos Brito, um muito obrigado por tudo.

Resumo

As redes de acesso ótico, têm sido consideradas uma solução definitiva para o problema da limitação de largura de banda quando comparadas com outras soluções. Por essa razão, as redes PON (*Passive Optical Network*) têm tido um crescimento enorme nos últimos anos, oferecendo diversas soluções ao cliente final quer este seja residencial ou empresarial. O sucesso desta tecnologia é tal, que a penetração do serviço tem batido recordes de adesão dadas as vantagens das fibras óticas.

Pretende-se com esta dissertação, dimensionar uma rede GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) numa área de cobertura da zona de Lisboa, para ser explorada por duas operadoras concorrentes. Para tal, utilizou-se o software *AutoCad* com cartografia georreferenciada da zona de cobertura em questão. A rede foi projetada para uma taxa de penetração de 100 % (50 % para cada operadora). Dividiu-se a zona de cobertura em células e posteriormente em microcélulas, sendo que para cada edifício aí existente foram projetadas fibras ativas para alimentar os diferentes ONTs (*Optical Network Terminal*) na rede do cliente. De igual forma, projetaram-se também os equipamentos passivos a serem instalados na célula projetada, desde o CO (*Central Office*), ao ODN (*Optical Distribution Network*) até a rede do cliente. De seguida, fez-se o levantamento destes equipamentos e avaliou-se a viabilidade económica da rede GPON implementada, bem como o tempo de retorno do investimento inicial. Finalmente, introduziu-se a tecnologia XGPON (*10-Gigabit-capable Passive Optical Network*) sobre a mesma rede de acesso, permitindo desta forma ter uma oferta maior em termos de largura de banda.

Em termos médios, pode afirmar-se que o custo de implementação de uma célula ronda valores entre 150 000 € e 200 000 €, sendo que o tempo de retorno é de cerca de um ano e três meses ou um ano e seis meses, dependendo da taxa de penetração dos serviços solicitados pelos diferentes clientes.

Palavras-chave: Rede de Acesso, Fibra Ótica, FTTH, GPON, XGPON, Análise Tecnológica Económica.

Abstract

Optical access networks have been considered a definitive solution to the problem of bandwidth limitation when compared to other solutions. For this reason, Passive Optical Network (PON) networks have grown tremendously in recent years, offering a number of solutions to the end customer whether residential or business. The success of the technology is such that service penetration has hit accession records given the advantages of optical fibers.

This dissertation intends to design a GPON (Gigabit Passive Optical Network) network in a coverage area of the Lisbon zone, to be exploited by two competing operators. For such, used the AutoCad software with georeferenced mapping of the coverage area in question. The network is designed for a penetration rate of 100% (50% for each operator). The coverage zone was divided into cells and then into microcells, being that for each building there was designed active fibers to power the different ONTs (Optical Network Terminal) on the customer network. Likewise, the passive equipment to be installed in the projected cell, from the CO (Central Office), to the Optical Distribution Network (ODN) till customer network, was also designed. Then, the equipment was surveyed and the economic viability of the implemented GPON network was evaluated, as well as the time of return of the initial investment. Finally, XGPON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network) technology was introduced on the same access network, allowing in this way to have a greater offer in terms of bandwidth.

In average terms, it can be stated that the cost of implementing a cell ranges from € 150,000 to € 200,000, with the payback time being about one year and three months or a year and six months depending of the penetration rate of the services requested by the different clients.

Keywords: Access Networks, Optic Fiber, FTTH, GPON, XGPON, Techno-Economic Analysis.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Lista de Acrónimos	xvii
1. Introdução	1
1.1. Motivação	2
1.2. Objetivos Propostos	3
1.3. Organização da Dissertação	4
1.4. Contribuição da Dissertação	5
2. Redes Atuais de Telecomunicações e Evoluções Tecnológicas na Rede de Acesso	6
2.1. Rede do Cliente.....	7
2.2. Rede de Acesso	8
2.3. Rede de Transporte	8
2.4. Rede de Serviços das Operadoras	13
2.5. Evoluções Tecnológicas na Rede de Acesso	14
2.5.1. Cabos de Pares Simétricos.....	14
2.5.2. Tecnologia RDIS	15
2.5.3. Tecnologia xDSL.....	16
2.5.4. Cabo Coaxial	22
2.5.5. Tecnologia FTTx	23
3. Fibra Ótica na Rede de Acesso	26
3.1. Redes AON	28
3.1.1. Ethernet Ativa.....	28
3.2. Redes PON.....	29
3.2.1. APON	30
3.2.2. BPON	30
3.2.3. GPON	31
3.2.3.1. Tráfego em DS e US	32

3.2.3.2.	Estrutura da Trama	33
3.2.3.3.	Transmission Containers	37
3.2.3.4.	Algoritmo DBA	38
3.2.3.5.	Alinhamento ou Ranging	39
3.2.3.6.	Optical Splitter	40
3.2.4.	EPON	41
3.2.5.	Nova Geração das Redes PON	42
3.2.5.1.	XG – PON	44
3.2.5.2.	XGS – PON	45
3.2.5.3.	NG – PON2	46
3.2.6.	Técnicas de Multiplexagem nas Redes PON	49
3.2.6.1.	TDM – PON	49
3.2.6.2.	WDM – PON	49
3.2.6.3.	DWDM – PON	50
3.2.6.4.	CWDM – PON	52
3.2.6.5.	TWDM – PON	53
3.2.6.6.	OFDM – PON	54
4.	Fases do Dimensionamento da Rede GPON	56
4.1.	Fase 1: Survey	60
4.2.	Fase 2: Celulização	67
4.3.	Fase 3: Microcelulização e Elaboração do Projeto	70
4.4.	Fase 4: Construção da Rede	75
4.4.1.	Construção OSP	76
4.4.1.	Construção ISP	89
4.5.	Fase 5: Ensaio na Rede	92
4.6.	Fase 6: Entrega do Projeto FTTH à Operadora	93
4.7.	Fase 7: Comercialização e Marketing	93
5.	Projeto FTTH GPON na Zona de Lisboa	94
5.1.	Celulização na Zona de Benfica	95
5.2.	Microcelulização da Célula BEN04	99
5.3.	Ponto de Divisão Ótica nas Microcélulas	102
5.4.	Rede Primária da Célula BEN04	104
5.5.	Sinóptico da Rede Primária	106

5.6.	Rede Secundária da Célula BEN04	109
5.7.	Sinóptico da Rede Secundária da MC01	111
5.8.	Cálculos das FAS nos Cabos da MC01	112
5.9.	Mapeamento dos Cabos na célula BEN04 e no CO	119
5.10.	Cálculos dos Comprimentos dos Cabos	124
5.11.	Cálculos das Atenuações Teóricas	126
6.	Análise Tecno-Económica da Rede GPON e Introdução da Rede XGPON..	129
6.1.	Otimização da Rede FTTH na Célula BEN04.....	130
6.2.	Levantamento dos Materiais na Célula BEN04.....	135
6.3.	Tabela Price List	136
6.4.	Tempo de Retorno do Investimento da Célula BEN04	138
6.5.	Introdução da Rede XGPON	142
6.6.	Implementação Física da Rede XGPON	144
7.	Considerações Finais	147
7.1.	Conclusões	147
7.2.	Trabalho Futuro	150
	Referências Documentais	153
	Anexo A. Transmissão Assíncrona Vs Síncrona	157
	Anexo B. Price List	159

Índice de Figuras

Figura 1 – Estruturas das redes de telecomunicações[2].....	7
Figura 2 – Rede Doméstica	8
Figura 3 – Sistemas internacionais da rede PDH[4]	9
Figura 4 – Exemplo de um sinal PDH[4]	10
Figura 5 – Estrutura de multiplexagem para a rede SDH[4].....	11
Figura 6 – Proteção em anéis unidirecionais na rede SDH[4]	11
Figura 7 – Sistema DWDM utilizadas na rede OTN[4].....	13
Figura 8 – Rede pública de comutação de voz[5].....	15
Figura 9 – Configuração do acesso básico RDIS[5]	16
Figura 10 – Configuração básica no assinante[5]	18
Figura 11 – Banda de transmissão em sub-portadoras[5]	18
Figura 12 – Tecnologia ADSL[5]	19
Figura 13 – Comparação entre a tecnologia ADSL 2 e ADSL 2+[5].....	20
Figura 14 – Rede VDSL[7]	21
Figura 15 – Arquitetura tree-and-branch[9]	22
Figura 16 – Rede HFC[10]	23
Figura 17 – Estrutura das redes FTTx[11]	24
Figura 18 – Arquitetura de rede ponto-a-ponto	27
Figura 19 – Estrutura da rede ponto-multiponto.....	27
Figura 20 – Arquitetura da rede P2MP.....	28
Figura 21 – Rede Ethernet Ativa[12]	28
Figura 22 – Topologias física de transmissão na rede PON[13]	29
Figura 23 – Arquitetura da rede PON[13]	29
Figura 24 – Tipos de rede PON[15].....	30
Figura 25 – Espectro da rede GPON[12]	32
Figura 26 – Camada física da rede GPON[25].....	32
Figura 27 – Trama GTC em DS[27].....	33
Figura 28 – G-PON bandwidth map[27]	34
Figura 29 – informações de DS e US[5]	35
Figura 30 – GTC payload[26]	36
Figura 31 – Estrutura da trama em US[26].....	37
Figura 32 – Tipos de T-CONT na rede GPON[5].....	38
Figura 33 – Funcionamento do algoritmo DBA[28].....	39
Figura 34 – Mensagem de ranging[26].....	40
Figura 35 – DS em rede EPON[25]	41
Figura 36 – US em rede EPON[25].....	42
Figura 37 – Evolução das redes PON de nova geração[31]	43
Figura 38 – Evolução da rede GPON[30]	43
Figura 39 –Coexistência entre a rede GPON e a XGPON[34]	44
Figura 40 – Cenários de aplicação da rede XGPON[30].....	45
Figura 41 – Coexistência entre a rede GPON, XGPON e a XGS-PON [36]	46

Figura 42 – Arquiteturas da rede XGS-PON[37]	46
Figura 43 – Técnica TWDM na rede NG-PON2[40]	47
Figura 44 – Coexistência com a rede XGS-PON[36]	48
Figura 45 – Alocação dos comprimentos de onda para DS e US na rede NG-PON2[36]	48
Figura 46 – Técnica de multiplexagem WDM-PON[50].....	50
Figura 47 – Técnica de multiplexagem DWDM[4].....	51
Figura 48 – Esquema de arquitetura DWDM-PON[55]	51
Figura 49 – Coexistência da Técnica DWDM com as redes PON[56]	52
Figura 50 – Técnica de multiplexagem CWDM[59]	53
Figura 51 – Técnica de multiplexagem TWDM-PON[60].....	53
Figura 52 – Protótipo de sistema TWDM de 40 Gbps e a coexistência com a rede GPON e a XGPON[41]	54
Figura 53 – Técnica de multiplexagem OFDM-PON[63].....	55
Figura 54 – Área de interesse ou Macrocélula	57
Figura 55 – Cartografia georreferenciada	57
Figura 56 – Infraestruturas existentes na cartografia	58
Figura 57 – Fluxograma das fases do projeto FTTH.....	59
Figura 58 – PDOs de interior[43]	60
Figura 59 – Survey interior[43]	61
Figura 60 – PDOs de Fachada, Poste e CVP[43]	61
Figura 61 – Apresentação de dados em AutoCad[43].....	62
Figura 62 – Informações do edifício	63
Figura 63 – Distribuição das frações.....	63
Figura 64 – Edifício RITA alimentado por CVP	64
Figura 65 – Floorbox[43].....	64
Figura 66 – Tubo de subida metálico[43]	65
Figura 67 – Alimentação Rita-Fachada e por fachada[43]	65
Figura 68 – Identificação dos equipamentos e dos edifícios	66
Figura 69 – Identificação dos cabos	66
Figura 70 – Representação do Survey	67
Figura 71 – Divisão ótica na rede FTTH para OP1 e OP2[43]	68
Figura 72 – Celulização	70
Figura 73 – Microcelulização	71
Figura 74 – Arquitetura da rede FTTH	74
Figura 75 – Construção da rede FTTH	75
Figura 76 – Passagem de cabos nos CVPs[43]	76
Figura 77 – Codificação do cabo[43]	77
Figura 78 – Cabo de 12 FO.....	78
Figura 79 – Cabo de 144 FO.....	79
Figura 80 – Instalação dos equipamentos da rede OSP	80
Figura 81 – Equipamentos instalados no CO[43]	81
Figura 82 – ODF[43]	82
Figura 83 – OLT	83
Figura 84 – Subracks e a organização das cassetes[43]	84

Figura 85 – Cassetes do Armário Agregador[43].....	84
Figura 86 - JFO[43].....	85
Figura 87 – Fusion Splicer Machine.....	86
Figura 88 – Cassete da JSO[43].....	86
Figura 89 – Instalação das fibras nas cassetes[43].....	86
Figura 90 – JSO em CVP[43].....	87
Figura 91 – PDO de fachada e JFO de fachada[43].....	87
Figura 92 – JSO em Poste[43].....	88
Figura 93 – RGE ou RGFO[44].....	90
Figura 94 – Módulos do PDO de interior[43].....	90
Figura 95 – Projeto da rede FTTH nos edifícios ITED.....	91
Figura 96 – Modem ONT.....	92
Figura 97 – Ensaios na rede FTTH[43].....	93
Figura 98 – Zona de Benfica.....	95
Figura 99 – Infraestruturas de telecomunicações e carimbos na zona de Benfica.....	95
Figura 100 – Celulização na zona de Benfica.....	97
Figura 101 – Esquemático da zona de Benfica.....	98
Figura 102 – Ligação das Células.....	99
Figura 103 – Microcelulização na célula BEN04.....	100
Figura 104 – Definição do cabo vetor.....	103
Figura 105 – Área de influência do PDO.....	104
Figura 106 – Rede primária da célula BEN04.....	106
Figura 107 – Sinóptico da rede primária.....	107
Figura 108 – Cálculo da capacidade dos cabos da rede primária.....	108
Figura 109 – Codificação dos cabos da rede primária.....	109
Figura 110 – Desenho da rede secundária da MC01.....	110
Figura 111 – Desenho da rede secundária da célula BEN04.....	110
Figura 112 - Sinóptico da rede secundária da MC01.....	111
Figura 113 – Configuração da JSO da OP1[43].....	113
Figura 114 – Ligações dos PDOs para a OP1.....	114
Figura 115 – Ligações dos PDOs para a OP2.....	116
Figura 116 – Informações dos cabos da rede secundária.....	117
Figura 117 – Codificações dos cabos da rede secundária.....	117
Figura 118 – Edifício do PDO0012.....	118
Figura 119 – Mapeamento dos cabos vetor no CO.....	124
Figura 120 – Esquemático para cálculos de comprimentos dos cabos de FO.....	125
Figura 121 – Cálculo do cabo que liga a JFO01 na MC01.....	126
Figura 122 – Contabilização das fusões e dos conetores no cálculo da atenuação teórica.....	127
Figura 123 – Rede secundária da MC07.....	132
Figura 124 – Sinóptico da rede secundária da MC07.....	132
Figura 125 – Otimização dos cabos na rede na MC07.....	134
Figura 126 – Payback da célula BEN04.....	142
Figura 127 – Implementação física da rede GPON.....	145

Figura 128 – implementação física da rede XGPON..... 145

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Níveis hierárquicos e respetivos débitos de transmissão nas redes SONET/SDH[19]	11
Tabela 2 – Níveis hierárquicos e respetivos débitos de transmissão nas redes OTN[4]	12
Tabela 3 – Débitos diferentes em cada par no E1[5]	17
Tabela 4 – Débitos de transmissão na rede VDSL[5].....	20
Tabela 5 – Comparação das tecnologias xDSL[5]	21
Tabela 6 – Normalização da rede GPON[5][22]	31
Tabela 7 – Débitos máximos permitidos nas redes NG-PON	43
Tabela 8 – Principais características das NGPON[35]	48
Tabela 9 – Configurações das células	67
Tabela 10 – Definição das fibras no cabo de 144 FO.....	68
Tabela 11 – Limites de UAs das Microcélulas[43]	71
Tabela 12 – Níveis de ativação dos splitters nas Microcélulas[43]	73
Tabela 13 – Codificação do cabo	77
Tabela 14 – Códigos de cores dos tubos	78
Tabela 15 – Códigos de cores das fibras.....	79
Tabela 16 – Configurações do Armário Agregador[43].....	85
Tabela 17 – Identificação dos equipamentos instalados em fachadas.....	88
Tabela 18 – Identificação dos equipamentos instalados nas juntas.....	88
Tabela 19 – Intervalo de UAs dos PDOs	89
Tabela 20 – Configurações das células na Zona de Benfica	96
Tabela 21 – Definição das fibras no cabo de 144 FO na zona de Benfica	96
Tabela 22 – Composição das células na zona de Benfica.....	97
Tabela 23 – Definição das fibras no cabo de 144 FO que alimenta a célula BEN04	100
Tabela 24 – Composição das Microcélulas.....	101
Tabela 25 – Definição das fibras no cabo de 144 FO.....	102
Tabela 26 – Cálculo das FAP	105
Tabela 27 – Definição das fibras no cabo de 144 FO para as Microcélulas	106
Tabela 28 – Capacidade dos cabos[43]	107
Tabela 29 – Tabela de divisão ótica da JSO01	112
Tabela 30 – Configurações da JSO01 para a OP1	114
Tabela 31 – Configurações da JSO01 para a OP2	115
Tabela 32 – Informações dos cabos que ligam os PDOs na JSO01.....	116
Tabela 33 – Projeto ISP do PDO0012	119
Tabela 34 – Mapeamento do cabo vetor 01 na célula BEN04	120
Tabela 35 – Mapeamento do cabo vetor 02 na célula BEN04	121
Tabela 36 – Mapeamento do cabo vetor 03 na célula BEN04	122
Tabela 37 – Mapeamento do cabo vetor 04 na célula BEN04	123
Tabela 38 – Mapeamento do cabo vetor 05 na célula BEN04	123
Tabela 39 – Atenuações provocadas pelos componentes na rede FTTH.....	127
Tabela 40 – Atenuação máxima calculada no PDO0012	128

Tabela 41 – Orçamento dos cabos[43].....	131
Tabela 42 – Análise Tecno-Económica da célula BEN04[43].....	136
Tabela 43 – Tarifários oferecidos aos clientes	138
Tabela 44 – Payback da célula BEN04 para o caso 1	139
Tabela 45 – Payback da célula BEN04 para o caso 2	140
Tabela 46 – Payback da célula BEN04 para o caso 3	141
Tabela 47 – Débito binário necessário para transmitir os serviços na rede GPON	143
Tabela 48 – Price Liste dos equipamentos instalados na rede FTTH[43]	159

Lista de Acrónimos

10G-EPON	–	10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network
2B1Q	–	two binary one quaternary line code
3DTV	–	Three-Dimensional Television
ADSL	–	Asymmetric Digital Subscriber Line
ADSS	–	All-Dielectric Self Supporting
AES	–	Advanced Encryption Standard
ANACOM	–	Autoridade Nacional de Comunicações
AO	–	Optical Amplifier
AON	–	Active Optical Network
APON	–	Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network
ASK	–	Amplitude-shift keying
ATM	–	Asynchronous Transfer Mode
BIP	–	Bit interleaved Parity
BPON	–	Broadband Passive Optical Network
BTS	–	Base Transceiver Station
CAP	–	Carrierless Amplitude/Phase modulation
CAPEX	–	Capital Expenditure
CATV	–	Cable Television
CBU	–	Cell-site Backhauling Unit
CL	–	Central Local
CM	–	Cable Modems
CMTS	–	Cable Modem Termination System
CO	–	Central Office
CRC	–	Cyclic Redundancy Check
CVP	–	Câmara de Visita Permanente
CWDM PON	–	Coarse Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network
DBA	–	Dynamic Bandwidth Assignment
DBRu	–	Dynamic Bandwidth Report upstream
DCF	–	Dispersion Compensation Fiber
DCU	–	Dispersion Compensation Unit
DOCSIS	–	Data Over Cable Service Interface Specification
DPU	–	Distribution Point Unit
DS	–	Downstream
DS1	–	Digital Signal 1
DSL	–	Digital Subscriber Line
DSLAM	–	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DVB_ASI	–	Digital Video Broadcasting - Asynchronous Serial Interface
DVB-C	–	Digital Video Broadcasting - Cable

DWDM	– Dense Wavelength Division Multiplexing
PON	– Passive Optical Network
EDFA	– Erbium-Doped Fiber Amplifier
EPON	– Ethernet Passive Optical Network
FAP	– Fibras Ativas Primárias
FAS	– Fibras Ativas Secundárias
FDD	– Frequency Division Duplex
FEC	– Forward Error Correction
FEXT	– Far end crosstalk
FHDTV	– Full High Definition Television
FO	– Fibra ótica
FSAN	– Full Service Access Network
FTTB	– Fiber To The Building
FTTcab	– Fiber To The Cabinet
FTTCell	– Fiber To The Cell site
FTTCurb	– Fiber To The Curb
FTTdp	– Fiber to the distribution point
FTTH	– Fiber To The Home
FTTN	– Fiber To The Node
FTTO	– Fibre to the Office
FTTP	– Fiber To The Premises
FTTx	– Fiber to the x
GEM	– GPON Encapsulation Method
GEPON	– Gigabit Ethernet Passive Optical Network
GPON	– Gigabit Passive Optical Network
GTC	– GPON Transmission Convergence
HDSL	– High-speed Digital Subscriber Line
HDTV	– High-Definition Television
HEC	– Header Error Control
HFC	– Hybrid Fiber Coaxial
HFOP	– Handheld Fiber Optic Power
HP	– House Planned
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers
IN	– Intelligent Network
IP	– Internet Protocol
IPTV	– Internet Protocol Television
ISDN	– Integrated Service Digital Network
ISP	– Inside Plant
ITED	– Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios
ITU	– International Telecommunication Union
JFO	– Junta de Fusão Ótica

JSO	– Junta de Splittagem Ótica
KI	– Key Index
LAN	– Local Area Network
LED	– Light Emitting Diode
LLID	– Logical Link Identifier
LT	– Line termination
MC	Microcélula
MDF	– Main Distribution Frame
MDU	– Multi-dwelling units
MPCP	– MultiPoint Control Protocol
MPLS	– Miltiprotocol Label Switching
MPP	– Message Posting Protocol
MTU	– Multi-tenant units
MZM	– Mach-Zehnder Modulator
NEXT	– Near end crosstalk
NGA	– Next Generation Access Networks
NG-EPON	– Next Generation Ethernet Passive Optical Network
NG-PON	– Next Generation Passive Optical Network
NG-PON2	– Next Generation Passive Optical Network 2
NRZ	– Non-Return-to-Zero
NT	– Network Termination
NT1	– Network Termination of type 1
OA	– Optical Amplifier
OADM	– Optical Add-Drop Multiplexer
OAM	– Operation, Administration and Maintenance
OBF	– Optical Bandpass Filter
ODF	– Optical Distribution Frame
ODN	– Optical Distribution Network
OFDM PON	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing Passive Optical Network
OLT	– Optical Line Terminal
OMCI	– ONU Management and Control Interface
ONT	– Optical Network Terminal
ONU	– Optical Network Unit
OP	– Operadora
OPEX	– Operational Expenditure
ORAC	– Oferta de Referência de Acesso a Conduas
ORAP	– Oferta de Referência de Acesso a Postes
OSP	– OutSide Plant
OTDR	– Optical Time-Domain Reflectometer
OTH	– Optical Transport Hierarchy

OTM	– Optical Terminal Multiplexer
OTN	– Optical Transport Network
OTU	– Optical Transport Unit
OXC	– Optical cross-connect
P2MP	– Ponto-a-multiponto
PAM	– Pulse Amplitude Modulation
PCBd	– Physical Control Block Downstream
PD	– Ponto de Distribuição
PD	– PIN photodiodes
PDH	– Plesiochronous Digital Hierarchy
PDO	– Ponto de Distribuição Ótica
Plend	– Payload length indicator
PLI	– Payload Length Indicator
PLOAM	– Physical Layer Operation, Administration, and Maintenance
PLOAMd	– Physical Layer Operations, Administration, and Maintenance downstream
PLOAMu	– Physical Layer Operations, Administration, and Maintenance upstream
PLOu	– Physical Layer Overhead
PLSu	– Power leveling Sequence upstream
PMD	– Physical Media Dependent
PON	– Passive Optical Network
POTS	– Plain Old Telephony Service
PSTN	– Public Switched Telephone Network
Psync	– synchronization pattern
PTI	– Payload Type Indicator
PtP WDM	– Point-to-Point Wavelength Division Multiplexing
QAM	– Quadrature Amplitude Modulation
QoS	– Quality of Service
RDIS	– Rede Digital com Integração de Serviços
RF	– Rádio frequência
RGE	– Repartidor Geral dos Edifícios
RGFO	– Repartidor Geral de Fibra Ótica
RITA	– Regulamento de Instalações Telefónicas de Assinante
RN	– Remote node
RP	– Repartidor Principal
SBU	– Small Business Unit
SDH	– Synchronous Digital Hierarchy
SDI	– Serial digital interface
SDU	– Service Data Units
SFU	– Single-Family Unit

SHDSL	– Symmetric High-speed Digital Subscriber Line
SONET	– Synchronous Optical Networking
SP	– Service Provider
SR	– Sub-Repartidor
SS7	– Signalling System No. 7
STM	– Synchronous Transport Module
STS	– Synchronous Transport Signal
TC	– Transmission Convergence
T-CONT	– Transmission Containers
TCPAM	– Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation
TDD	– Time Division Duplex
TDM	– Time Division Multiplexing
TDM PON	– Time Division Multiplexing Passive Optical Network
TDMA	– Time Division Multiple Access
TLD	– Tunable Wavelength Laser Diode)
Tv	– Television
TWDM PON	– Time Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network
UA	– Unidade de alojamento
UHDTV	– Ultra High Definition Television
US	– Upstream
VDSL	– Very High-speed Digital Subscriber Line
VLR	– Very Long Range
VoD	– Video-on-Demand
VoIP	– Voice over IP
WAN	– Wide Area Network
WBF	– Wavelength Blocking Filter
WBF-V	– Wavelength blocking filter to V-Rx
WDM	– Wavelength Division Multiplexing
WDM PON	– Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network
XGPON	– 10-Gigabit-capable Passive Optical Network 1
XGPON2	– 10-Gigabit-capable Passive Optical Network 2
XGS-PON	– 10-Gigabit-Capable Symmetric Passive Optical Network

1. INTRODUÇÃO

Atualmente vivemos num mundo global, em que as telecomunicações fazem o encurtamento de distâncias entre continentes e pessoas. O grande desafio das operadoras consiste em possibilitar maior largura de banda e maior número de usuários com terminais distintos, redes distintas, com acesso a vários serviços. Devido às dificuldades e incompatibilidades existentes nas redes de comunicação, diversos problemas que dificultam o funcionamento e por vezes limitam o acesso aos serviços, condicionam a estrutura e a organização da rede.

O segmento da rede que permite a interligação aos diversos serviços e à partilha de informação é designado por rede de acesso[1]. As redes de acesso de banda larga que suportam dezenas ou centenas de Mbps de taxa de transmissão deve-se basear em fibra ótica. Várias soluções estão sendo desenvolvidas, mas o grande problema na maioria destas está no facto de a rede ser bastante dispendiosa e na complexidade de execução. Grande parte das instalações dos clientes estão conectadas com os fios de cobre. Para aumentar a largura de banda, essas infraestruturas físicas de transmissão precisam ser substituídas por fibra ótica[1][3].

A instalação de fibra ótica na rede acesso, com o objetivo de fornecer uma largura de banda e uma qualidade de serviço adequado aos serviços de dados, voz e vídeo torna-se dispendiosa. Para manter o custo de instalação em limites razoáveis, várias soluções foram estudadas. Os conceitos estudados foram designados de ponto-a-ponto e ponto-multiponto. Neste último, o transporte de dados requer esquemas de controlo de acesso ao meio mais complexos que no ponto-a-ponto[3].

Os requisitos dos assinantes sobre a largura de banda continuam a crescer, de modo que a solução FTTx (*Fiber to the x*) torna-se o foco das operadoras no desenvolvimento da rede. De acordo com o mercado mundial de telecomunicações da atualidade, as operadoras fornecem um terminal de linha ótica (OLT) com tecnologias GPON ou EPON (*Ethernet Passive Optical Network*), que fornecem soluções para convergir com a próxima geração de rede (NGN)[28].

1.1. MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, as redes de acesso têm sofrido um crescimento na oferta de serviços tanto em sentido descendente como em ascendente. As infraestruturas de pares de cobre existentes demonstram algumas limitações, nomeadamente no potencial da evolução de novas tecnologias. A instalação de fibra ótica estendido até às instalações dos clientes emergiu como uma solução viável para o crescimento exponencial desses serviços. Para tal, as operadoras existentes em Portugal estão a investir em grande escala na implementação de rede GPON, utilizando a arquitetura FTTH (*Fiber To The Home*).

Para dimensionar uma rede em fibra ótica FTTH, com o intuito de aumentar a largura de banda na transmissão dos serviços aos utilizadores, aumentar a distância de transmissão, número de usuários e reduzir o número dos equipamentos ativos, é necessário ter em conta todos os parâmetros associados à sua implementação. Estes têm em vista o custo dos equipamentos, limitações de desempenho, requisitos das operadoras, desde o CO onde são instalados os equipamentos ativos, ao ODN onde são instalados os equipamentos passivos até a rede do cliente (ONTs).

Ultimamente as redes de acesso tem enfrentado grandes desafios, um desses prende-se com a convergência dos serviços de voz sobre IP (VoIP), dados e vídeos em alta qualidade, como a FHDTV (*Full High Definition Television*) ou UHDTV (*Ultra High Definition Television*) na mesma infraestrutura física. A implementação de uma nova geração de redes de acesso ou NGA (*Next Generation Access Networks*), permitirá a coexistências das redes na mesma infraestrutura e maior largura de banda que será capaz de abrir novos horizontes a nível dos serviços.

1.2. OBJETIVOS PROPOSTOS

Na presente dissertação pretende-se fazer um estudo do dimensionamento da tecnologia GPON, nomeadamente o projeto FTTH numa área de cobertura na zona de Lisboa que visa ser explorada por duas operadoras e a sua respetiva análise tecno-económica. Também se pretende estudar os possíveis caminhos para a implementação da tecnologia XGPON na rede de acesso. Com este propósito foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Adquirir a familiarização com a organização e a estrutura das redes de telecomunicações;
- Analisar os diferentes meios físicos de transmissão nas redes de acesso e tecnologias de rede utilizadas nos mesmos, como a xDSL (*Digital Subscriber Line*), HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) e as FTTx, para os diferentes débitos de transmissão e alcance física;
- Estudar as evoluções das tecnologias PON na rede de acesso e as técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda;
- Projetar a rede GPON FTTH numa determinada área de cobertura na zona de Lisboa, para cada edifício existente na mesma;
- Efetuar a respetiva análise tecno-económica da rede GPON dimensionada e calcular o tempo de retorno do investimento inicial ou *payback*, na área de cobertura;
- Introduzir a tecnologia XGPON, na rede de acesso anteriormente dimensionada.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é construída por 7 capítulos, com a seguinte estrutura:

- **Capítulo 1 – Introdução:** neste primeiro capítulo é descrita de forma resumida o conteúdo da dissertação, motivação, objetivos a serem cumpridos e quais as principais contribuições desta dissertação.
- **Capítulo 2 – Redes Atuais de Telecomunicações e Evoluções Tecnológicas na rede de acesso:** neste capítulo é efetuada uma abordagem teórica dos principais segmentos que compõem as redes de telecomunicações. Começa-se por definir a rede do cliente, rede de acesso, rede de transporte e rede de serviços das operadoras. De seguida, descreve-se as evoluções das redes de transporte e das redes de acesso para os diferentes meios físicos de transmissão.
- **Capítulo 3 – Fibra Ótica na Rede de Acesso:** pretende-se neste capítulo relatar as evoluções das redes PON na rede de acesso, os tipos de topologias física de transmissão, coexistência das mesmas sobre a mesma infraestrutura física de transmissão. Dando maior destaque a rede GPON, apresentando-se as características que constituem a mesma. Ainda neste capítulo é efetuada uma análise das técnicas de multiplexagem dos comprimentos de onda utilizadas nas redes PON para a transmissão dos serviços.
- **Capítulo 4 – Fases do Dimensionamento da Rede GPON:** neste capítulo apresenta-se as fases do dimensionamento de uma rede GPON. O SP (*Service Provider*) divide o projeto GPON FTTH na zona de Lisboa em 7 fases com o intuito de facilitar a projeção do mesmo. Para tal, será analisada no capítulo 4 cada uma dessas fases.
- **Capítulo 5 – Projeto FTTH GPON na Zona de Lisboa:** projeta-se a rede GPON FTTH numa área de cobertura na zona de Lisboa para ser explorada por duas operadoras. Inicialmente divide-se a zona Lisboa em células, estas em Microcélulas. De seguida, para cada edifício existente nestas últimas serão projetadas fibras no cabo para alimentar os mesmos.

- **Capítulo 6 – Análise Tecno-Económica da Rede GPON e Introdução da Rede XGPON:** neste capítulo é avaliada a viabilidade económica da rede GPON implementada na zona de Lisboa. Calcula-se também o tempo que a operadora irá precisar para recuperar o investimento inicial da rede projetada na mesma zona. Isto é, faz-se o levantamento de todos materiais instalados na célula projetada, desde o CO, ao ODN até a rede do cliente, analisa-se o custo total da construção da célula em questão e determina-se o período que será necessário recuperar esse investimento. De seguida, faz-se um estudo da possível implementação da tecnologia XGPON na rede dimensionada anteriormente.
- **Capítulo 7 – Considerações Finais:** são reunidas as conclusões e são também apresentadas algumas sugestões para trabalho futuro.

1.4. CONTRIBUIÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A escolha da tecnologia GPON, prende-se com facto de ser a tecnologia elegida pelas operadoras existentes em Portugal para a transmissão dos serviços aos seus clientes.

As contribuições desta dissertação centram-se nos capítulos 4, 5 e 6. Com base num estágio curricular na empresa de Projetos e Engenharia em Telecomunicações – CBE, utilizou-se a ferramenta *AutoCad* para projetar a rede GPON na área de Lisboa, mas concretamente na zona de Benfica sugerida pela empresa. Para simplificar a execução do projeto FTTH, dividiu-se o estágio curricular em 2 fases diferentes.

Na primeira fase do estágio estudou-se quais eram os principais requisitos da operadora para dimensionar uma rede FTTH, que são mencionados no capítulo 4. No capítulo 5 projetou-se a rede FTTH na zona de Benfica.

A segunda fase do estágio é abordada no capítulo 6. Com base na rede projetada, fez-se o levantamento de todos os equipamentos instalados na zona de cobertura e contabilizou-se o custo da célula projetada. Com o valor final da construção da célula, calculou-se o tempo que será necessário recuperar esse investimento na célula projetada na zona de Benfica. Por fim, introduziu-se a tecnologia XGPON nas redes de acesso, visto que é a evolução da tecnologia GPON e também pelo facto de a largura de banda oferecida aos clientes ser maior.

2. REDES ATUAIS DE TELECOMUNICAÇÕES E EVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS NA REDE DE ACESSO

As redes atuais de telecomunicações estão organizadas em termos físicos, de acordo com o exemplo do esquema apresentado na Figura 1, onde se pode evidenciar os distintos segmentos de rede: rede do cliente, rede de acesso, rede de transporte e rede de serviços das operadoras. Nestas últimas encontram-se as plataformas de serviços e aplicações, que fazem o controlo e a sinalização da rede.

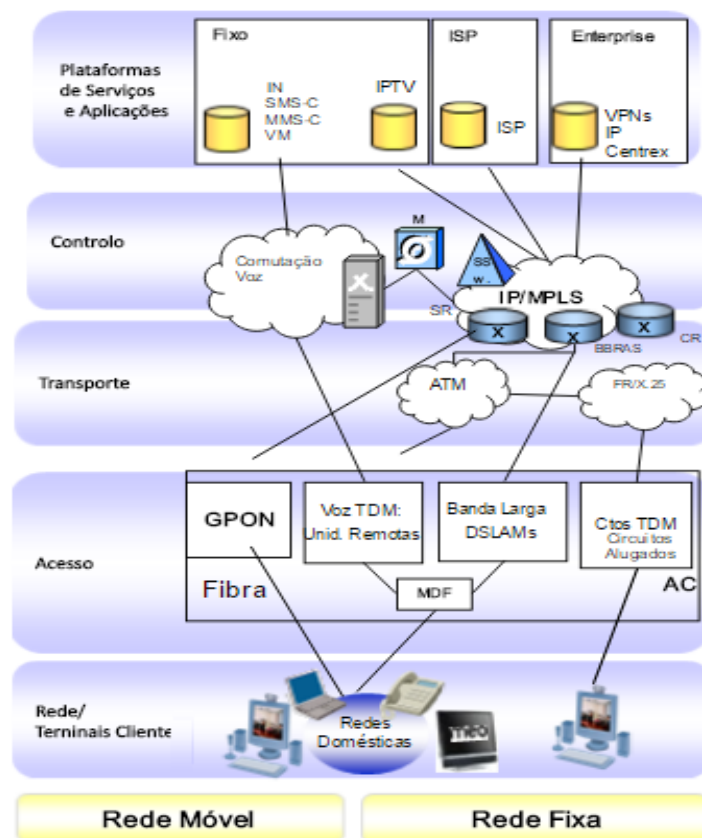


Figura 1 – Estruturas das redes de telecomunicações[2]

Na prática a rede das operadoras encontram-se dividida em rede móvel e rede fixa, que são utilizadas várias tecnologias de comunicação para a transmissão de serviços de dados, voz e vídeo.

2.1. REDE DO CLIENTE

As redes do cliente são redes privadas de pequenas dimensões, instaladas no interior dos edifícios e direcionadas para fornecer serviços aos clientes finais. Fazem ligações entre a terminação da rede de acesso (*Network Termination – NT*) e o utilizador final. São fornecidos diversos serviços, tais como: voz, dados e IPTV (*Internet Protocol Television*). Com a evolução das novas tecnologias estes serviços passaram a ser fornecidos sobre o protocolo dominante da rede, o protocolo IP.

Na Figura 2, pode-se observar os equipamentos que dão acessos a rede do cliente. Esta pode ser servida através de um telefone fixo ou móvel, serviços de dados (router) ou TV (*Television*). A escolha das tecnologias e dos serviços fornecidos dependem sempre da

distância que se pretende alcançar, do número de clientes que se pretende servir e da utilização que se pretende dar à rede, uma vez que utiliza as mesmas tecnologias de transmissão, comutação e encaminhamento de cada um dos serviços fornecidos.



Figura 2 – Rede Doméstica

2.2. REDE DE ACESSO

Rede de acesso é toda a infraestrutura de rede de telecomunicações que estabelece a ligação entre os comutadores do CO ou central local (CL) até a casa dos clientes (NT). Estas redes podem ser servidas por quatro tipos de meios físicos de transmissão:

- Cabos de par trançado: possui pares de fios entrelaçados. São utilizados em redes POTS (*Plain Old Telephony Service*) ou PSTN (*Public Switched Telephone Network*) e redes xDSL;
- Cabo coaxial: que foi utilizado para a transmissão serviços IPTV, onde mais tarde foi utilizado para transmissão dados e voz;
- Wireless: utilizada para tecnologias rádio;
- Fibra ótica: meio físico de transmissão adotada pelas operadoras para fornecer débitos elevados aos utilizadores. Foi utilizada na rede core para transportar grandes quantidades de tráfego, atualmente está a ser uma alternativa para as redes de acesso de nova geração.

2.3. REDE DE TRANSPORTE

A rede de transporte ou de transmissão também denominada de rede core, é responsável pelo transporte de grande fluxo de tráfego agregado a grandes distâncias. Na rede de transporte deu-se o início ao processo de digitalização da rede de

telecomunicações, com a introdução das técnicas de multiplexagem assíncronas (ver o Anexo A) e desmultiplexagem por divisão no tempo, usadas no modo de transferência *plesiócrono*[4].

Antes dos anos 60 foi desenvolvida a tecnologia PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) na rede de transporte, que significa “quase síncrona”, para transportar grandes quantidades de tráfego, onde a comunicação era feita usando a técnica de multiplexagem por divisão no tempo ou TDM (*Time Division Multiplexing*). Foi normalizado em três hierarquias a nível mundial: europeia, americana e japonesa, com diferentes débitos de transmissão, que está referenciada na Figura 3.

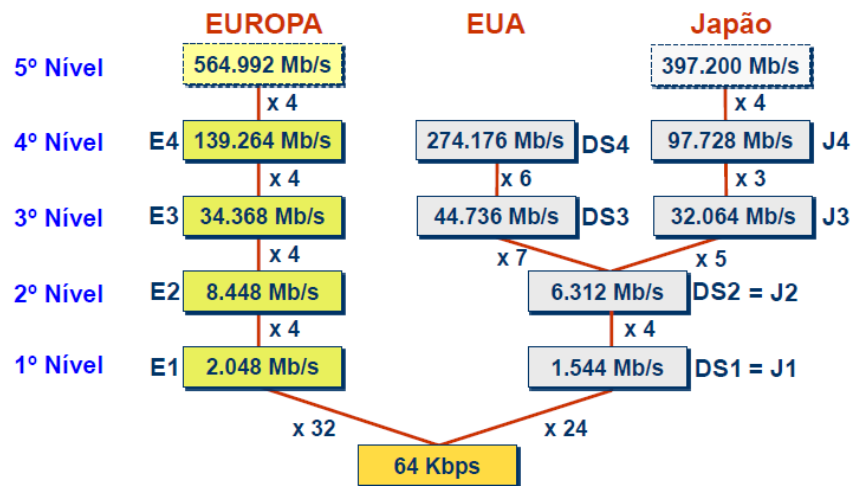


Figura 3 – Sistemas internacionais da rede PDH[4]

Na Europa e em muitos outros países foram adotadas a hierarquia baseada no sinal E1, que é um sistema de multiplexagem temporal de 32 canais (30 canais de voz, um para controlo e sincronismo, outro para a sinalização) de 64 kbps com o ritmo total de 2048 kbps. A sequência binária transmitida em tramas é de 125 μs. O sistema Americano denominado por DS1 (*Digital Signal 1*) transporta 24 canais telefónicos com um ritmo total de 1554 kbps.

Na Figura 4 está apresentado o transporte de um sinal E1 por uma ligação PDH, do nível I até ao nível IV. Através da figura pode-se verificar que os números dos canais e os débitos binários aumentam com a geração do sinal E4, por exemplo. A medida que o tráfego aumenta na rede tem-se a necessidade de multiplexar várias fontes de comunicação.

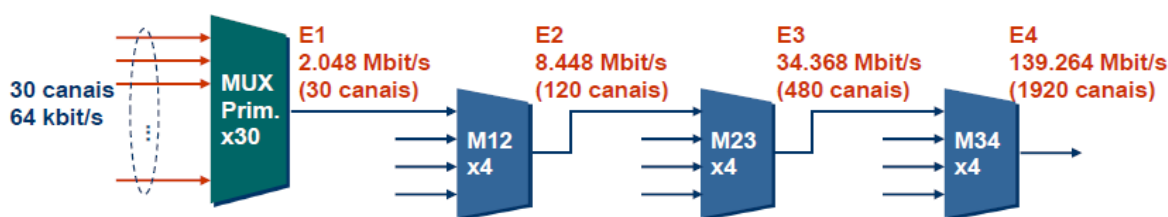


Figura 4 – Exemplo de um sinal PDH[4]

A grande desvantagem desta tecnologia está no facto do esquema de multiplexagem ser “fechada”, ou seja, estando no nível IV (E4) e pretende-se recuperar o sinal E1 é necessário *desmultiplexar* sucessivamente os sinais de todos os níveis intermédios. Outras limitações, é que a tecnologia PDH tem uma capacidade limitada para suportar mecanismos de gestão e uma flexibilidade reduzida para a partilha da largura de banda para serviços com débitos distintos. Mais tarde em 1990, para resolver estes problemas surgiu as tecnologias, SONET/SDH (*Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy*). A SONET foi utilizada para a transmissão e multiplexação de sinais de altas velocidades na América do Norte, enquanto a SDH foi adotada na Europa e no Japão, também para a maioria das ligações por cabos submarinos. Foram as primeiras gerações da rede ótica a ser implementada nas redes de transporte, que são capazes de suportar transmissões de taxas de bits constante com utilização de multiplexagem por divisão no tempo[19]. O método foi desenvolvido para substituir o sistema PDH no transporte de grandes quantidades de chamadas telefónicas e tráfego de dados sobre a fibra ótica sem problemas de sincronização.

A rede SDH é compatível com a PDH, permite grande capacidade e flexibilidade de encaminhamento de tráfego. A grande limitação desta tecnologia era o fato de ser baseada no modo de circuito estático, ou seja, era uma tecnologia de comutação de circuitos que reserva circuito estático entre dois pontos, onde o estabelecimento era feito de forma permanente.

Na Tabela 1 estão apresentados o esquema de multiplexagem para as duas redes, com os respetivos débitos de transmissão. O padrão SONET utiliza as tramas STS (*Synchronous Transport Signal*), enquanto a SDH utiliza o STM (*Synchronous Transport Module*), ambos com um débito máximo aproximadamente de 40 Gbps.

Tabela 1 – Níveis hierárquicos e respectivos débitos de transmissão nas redes SONET/SDH[19]

Sinal SONET	Sinal SDH	Débito [Mbps]
STS – 1	–	51,84
STS – 3	STM – 1	155,52
STS – 12	STM – 4	622,08
STS – 24	–	1244,16
STS – 48	STM – 16	2 488,32
STS – 192	STM – 64	9 953,28
STS – 768	STM – 256	39 814,32

Na multiplexagem dos dados, as tramas da rede SDH podem transportar diferentes tipos de tributários PDH em contentores, conforme mostra a Figura 5.

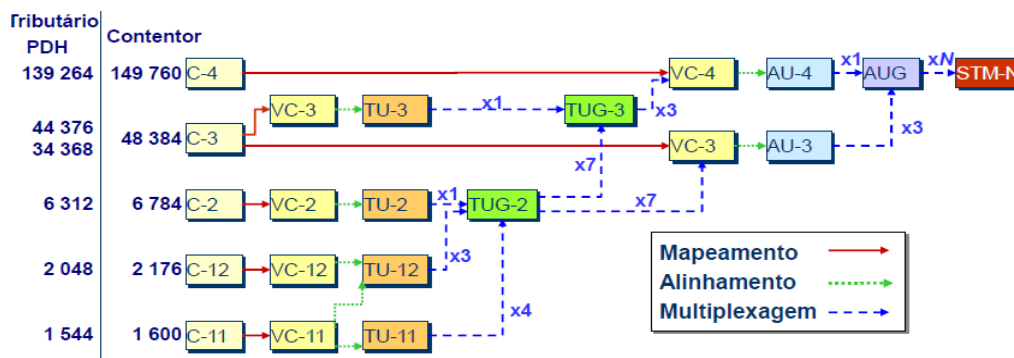


Figura 5 – Estrutura de multiplexagem para a rede SDH[4]

A topologia utilizada na rede SDH é em anel, que permite oferecer grande fiabilidade a rede pois utiliza proteção contra falhas. Os dados são enviados pelas fibras de serviços, as fibras de proteção ficam disponíveis para situações de falhas, como mostra a Figura 6. Oferece também à possibilidade de reconfiguração remota por procedimentos de gestão.

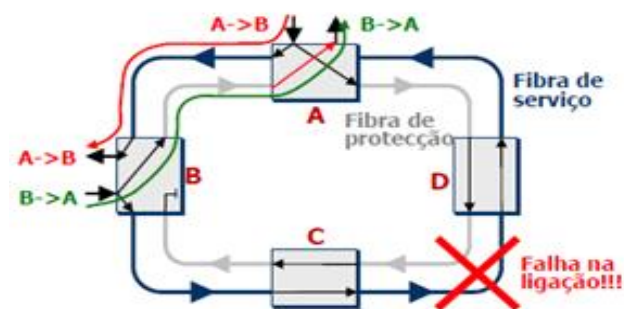


Figura 6 – Proteção em anéis unidirecionais na rede SDH[4]

Em 2001 foi normalizada pela ITU (*International Telecommunication Union*) na norma G.872[4] a Hierarquia de Transporte Ótica ou OTH (*Optical Transport Hierarchy*) que corresponde à camada elétrica da rede OTN (*Optical Transport Network*). A rede OTN baseia-se nos conceitos de SONET/SDH e foi projetada para transportar todos os tipos de tráfego de dados na rede de transporte de longa distância, incluído o tráfego SONET/SDH. Foi estruturada para operar em altas taxas de transmissão[19], com as tramas OTU (*Optical Transport Unit*) a apresentarem débitos entre 2,5 e 400 Gbps, ver a Tabela 2.

Tabela 2 – Níveis hierárquicos e respectivos débitos de transmissão nas redes OTN[4]

Sinal OTU	Débito [Gbps]
OTU – 1	2,666
OTU – 2	10,709
OTU – 3	43,018
OTU – 4	111,809
OTU – 5	449,210

Para além de outras funcionalidades, introduziu-se na rede a funcionalidade FEC (*Forward Error Correction*), que é uma técnica utilizada para deteção e correção de erros na transmissão de dados, com o intuito de aumentar a distância entre regeneradores[4]. Esta rede utiliza sistema de multiplexagem DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), que agrega vários canais óticos, cada um operando no seu comprimento de onda distinto. A Figura 7 mostra os distintos equipamentos utilizados na rede OTN, onde o encaminhamento de informação é feito no domínio ótico, como:

- OTM (*Optical Terminal Multiplexer*): aceita a entrada de vários comprimentos de onda, e não lhe interessa a informação transportada no sinal, o objetivo é transportá-la até ao destinatário[4];
- OA (*Optical Amplifier*): são os amplificadores óticos também designados por EDFA (*Erbium-Doped Fiber Amplifier*) que são inseridos nas ligações óticas, com espaçamento entre os 80 a 120 km. Estão sempre acompanhados dos DCU (*Dispersion Compensation Unit*) para compensar a dispersão na fibra[4];

- OADM (*Optical Add-Drop Multiplexer*): são os *multiplexers* de inserção/extração de comprimentos de onda. Nos OADM não existe o processamento da trama, o que acontece é que são adicionados ou retirados os comprimentos de onda sem qualquer processamento[4];
- OXC (*Optical cross-connect*): faz o encaminhamento de informação consoante ela chega a um determinado nó, ou seja, a ótica consegue ver se a informação é para aquele nó, ou se aquele é apenas um nó de passagem[4].

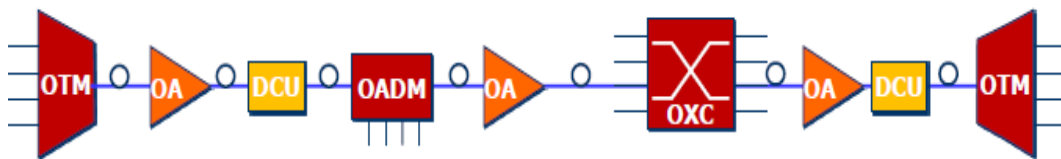


Figura 7 – Sistema DWDM utilizadas na rede OTN[4]

A grande desvantagem é que a rede OTN necessita de novo hardware e mecanismos de gestão e controlo[48].

Atualmente as redes predominantes nas redes de transporte são: SONET/SDH, Ethernet e a rede OTN, onde o encaminhamento de grande quantidade do tráfego é feito em redes óticas sobre o tráfego IP, em que os dados são encaminhados entre os nós até ao endereço do destino. Foi aprimorado com o surgimento do MPLS (*Multiprotocol Label Switching*), em que o encaminhamento dos dados é feito de um nó da rede até o próximo nó em rótulos de menor caminho[19].

2.4. REDE DE SERVIÇOS DAS OPERADORAS

A rede de serviços das operadoras são os equipamentos ativos instalados nos COs, que injetam através dos meios físicos de transmissão os serviços na rede. Estes equipamentos fazem o controlo de dados, vídeos, chamadas, sinalização, gestão, manutenção da rede, etc.

2.5. EVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS NA REDE DE ACESSO

A comunicação iniciou-se com a utilização de serviços de voz e a rede em si era totalmente analógica. Com avanço das tecnologias, a rede de acesso evoluiu-se e passou-se a ser utilizado para a comunicação de voz e de dados em simultâneo.

Na rede fixa de telecomunicações, para existir a comunicação entre dois assinantes, o requisito básico era estabelecer um circuito bidirecional e transportar os sinais de voz com um débito de 64 kbps sobre os cabos de pares simétricos. Inicialmente as redes de acesso foram desenvolvidas apenas para tráfego de voz, ou seja, as tecnologias eram baseadas em *Dial-up*, não permitiam o utilizador usufruir de serviços de voz e dados em simultâneo. Com o passar do tempo houve uma evolução dessas redes para serviços de voz e de dados, que viria a fornecer vários tipos de tráfego na rede, como consequência também houve um processo de evolução da rede analógica para a rede digital[1][4]. Daí deu-se o aparecimento da tecnologia xDSL.

Mais tarde surgiu a tecnologia HFC na rede de acesso que se tornou uma alternativa às redes xDSL, que tinha como objetivo suportar a difusão de televisão por cabo.

Com o aparecimento das arquiteturas NGA, baseadas quase exclusivamente em fibra, a rede de acesso veio permitir aumentar a largura de banda disponível aos utilizadores. Deu-se então ao aparecimento das tecnologias FTTx.

2.5.1. CABOS DE PARES SIMÉTRICOS

Os cabos de pares simétricos são meios de transmissão dominante na rede de acesso no que diz respeito às redes telefónicas. Da CL saem cabos contendo milhares de pares simétricos, designados por cabos de alimentação para a linha dos assinantes. Para ter uma comunicação analógica na rede, é necessário um par simétrico que é uma linha de transmissão constituída por dois fios de cobre isolados e entrançados, que resultam numa linha de transmissão bidirecional.

A Figura 8 ilustra a rede pública de comutação de voz designada de PSTN. É constituída por um Repartidor Principal (RP) ou MDF (*Main Distribution Frame*) que se encontra na CL; Um Sub-Repartidor (SR) designado por ponto de sub-repartição, e uma caixa de

distribuição de assinante designada de PD (ponto de distribuição), que saem cabos que interligam o NT na casa dos utilizadores. Os equipamentos ativos são instalados na CL, do MDF até NT são equipamentos passivos na rede.

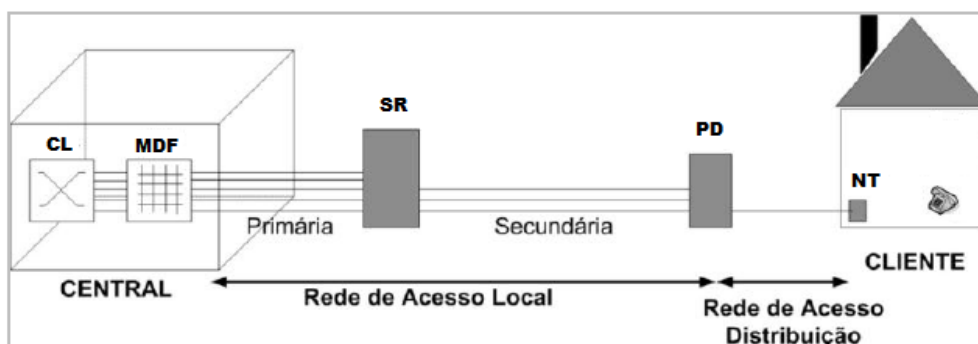


Figura 8 – Rede pública de comutação de voz[5]

O MDF é onde termina toda ligação física entre o CO e os SRs. Estes são os armários gigantes de cor cinzento que se encontram nas ruas, que também são designados nós locais da rede de acesso. Tem como objetivos introduzir maior flexibilidade na rede e subdividir os cabos entre os PDs, por exemplo, saem grandes troços de cabos de MDF até os SRs, depois saem cabos mais pequenos para os PDs.

A comunicação entre a CL e o NT sendo uma comunicação analógica, apresentava várias limitações no canal, como: atenuação, distorção de amplitude, ecos, interferências intersimbólicas entre os pares, o ruído, etc. De forma a resolver esses problemas, no século XX introduziu-se a comunicação digital na rede do assinante, que veio permitir fazer o processamento do sinal, compressão sem perdas, deteção de erros, cancelamento de ecos existente na linha de transmissão. Também foi introduzido técnicas de transmissão FDD (*Frequency Division Duplex*) e TDD (*Time Division Duplex*), tipos de modelação e multiplexagem do sinal.

2.5.2. TECNOLOGIA RDIS

Em 1984 foi definida pela ITU, uma tecnologia de redes de acesso RDIS (Rede Digital com Integração de Serviços) ou ISDN (*Integrated Service Digital Network*), que consiste na deslocação da transmissão digital até ao assinante, ou seja, veio implementar a transmissão digital na rede de acesso, transportando serviços avançados como: serviços de voz, dados, textos ou imagem. É uma tecnologia digital simétrica, ou seja, consegue

suportar a mesma taxa de transmissão nos 2 sentidos, com acesso a diferentes modos de comunicação: modo circuitos, pacote e trama[4].

A Figura 9 mostra a configuração do acesso básico RDIS, que é constituído por dois Modems banda-base. Um instalado nas instalações do cliente, designado por NT1 (*Network termination of type 1*) e um outro na CL designado por LT (*Line termination*). O MDF desempenha exatamente as mesmas funções mencionadas anteriormente. Na rede do cliente pode ser instalado um outro equipamento adicional designado por NT2 (*Network termination of type 2*), que permite implementar uma rede local (LAN) nas instalações do utilizador. A ligação entre NT1 e LT, suporta acesso básico com um débito binário de 160 kbps, acesso primário E1 com um débito de 2048 kbps e DS1 com um débito de 1544 kbps[5].

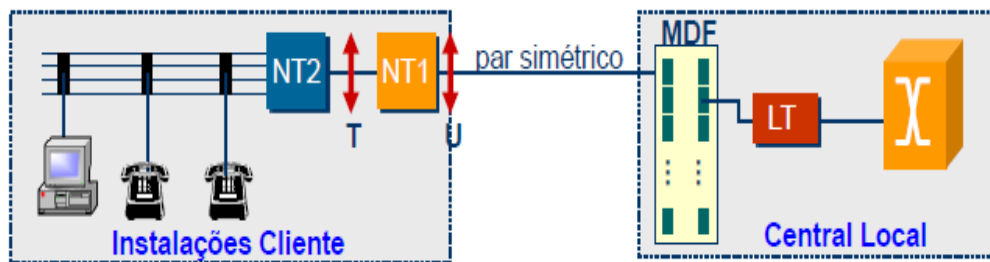


Figura 9 – Configuração do acesso básico RDIS[5]

2.5.3. TECNOLOGIA XDSL

A tecnologia xDSL trouxe avanços tecnológicos na transmissão de dados, voz e imagens na rede de acesso, ou seja, veio permitir a infraestrutura da rede de cobre maiores alcances na transmissão. Implementou técnicas para reduzir as interferências NEXT (*Near end crosstalk*) e FEXT (*Far end crosstalk*) existentes nas redes POTS entre pares da mesma ligação e ligações diferentes. Também introduziu técnicas de modulação e compressão espectral[5].

A Rec. ITU G.991.1 definiu a HDSL (*High-speed Digital Subscriber Line*), a Rec. G.991.2 definiu a SHDSL (*Symmetric High-speed Digital Subscriber Line*), a G.992.1/2 a ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) e por fim o VDSL (*Very High-speed Digital Subscriber Line*) definida pela G.993.1.

A tecnologia HDSL é um sistema de transmissão simétrica, bidirecional, que permite o transporte de sinais com taxa de bits de 1544 kbps e 2048 kbps, hierarquia americana e europeu, respetivamente. Usa 2 ou 3 pares de cobre com diferentes débitos em cada par no sistema europeu, como mostra a Tabela 3. Usa técnica de cancelamento de eco para separar as direções de transmissão de modo a ter uma comunicação simétrica, a modulação utilizada é PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) e CAP (*Carrierless Amplitude/Phase modulation*), com codificação multinível 2B1Q (*two binary one quaternary line code*)[6].

Tabela 3 – Débitos diferentes em cada par no E1[5]

Débito	Nº de pares	Débito/par	Alcance
2048 kbps	2	1 168 kbps	4 a 3 km
	1	2 320 kbps	3 km

Trouxe vantagens na rede de acesso em relação a tecnologia RDIS, como aumento da distância na ordem dos 4 a 5 km sem a utilização de repetidores, adapta-se dinamicamente às condições do canal, é mais flexível e mais económica.

A evolução da tecnologia HDSL foi designada de SHDSL ou HDSL2. Tem o mesmo princípio que a tecnologia HDSL só que apresenta maior capacidade de transmissão, ou seja, maiores distâncias. São capazes de suportar taxas de dados simétricos de 192 kbps para um alcance de 9 km e 2 320 kbps para um alcance de 3 a 4 km, utilizando a modulação 8 – ASK (*Amplitude-shift keying*) com codificação TCPAM (*Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation*)[8]. O débito é configurável de acordo com os requisitos do utilizador, permitindo custos mais baixos para os utilizadores[5].

A tecnologia ADSL permite a transmissão de dados de alta velocidade entre a extremidade da rede da operadora até a rede do cliente. Na prática a velocidade em *downstream* (DS) atinge os 8 Mbps e em *upstream* (US) os 600 kbps. É considerada uma tecnologia altamente assimétrico, ou seja, tem uma capacidade muito superior em DS relativamente ao US. Utiliza um único par da linha telefónica, e tem uma vantagem em relação às tecnologias anteriores mencionadas, que é dar cobertura sem repetidores para a maioria dos assinantes[5]. Na Figura 10 está apresentada uma configuração básica na rede do assinante ADSL, onde é possível verificar que na rede da operadora é

constituído por um divisor do sinal (*splitter*), que tem uma entrada e duas saídas. Uma para ligar os telefones que é a saída do filtro passa-baixo e outra para ligar o modem ADSL, que é saída do filtro passa-alto. No modem ADSL o sinal é separado entre o canal ascendente e descendente, de seguida é adicionada o controlo de erros[5].

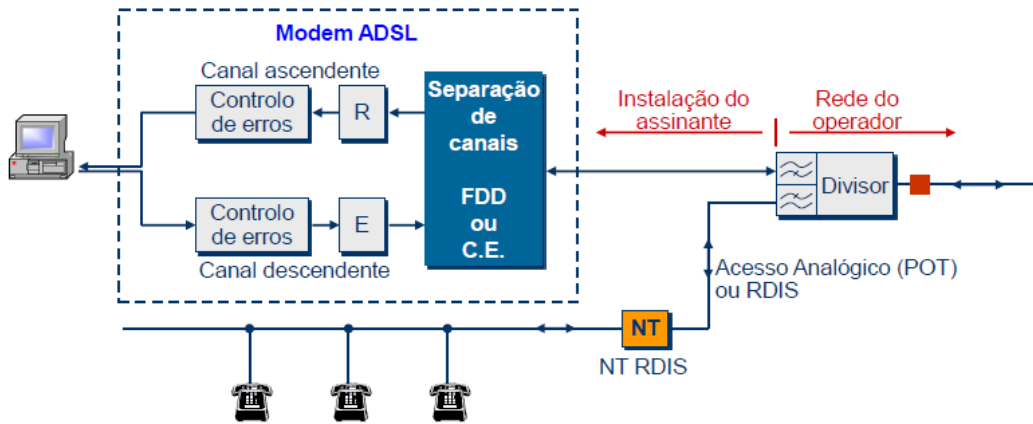


Figura 10 – Configuração básica no assinante[5]

A grande vantagem da tecnologia ADSL é ao invés de usar uma banda de coerência superior a banda do canal de comunicação (banda larga), divide-se a banda toda de transmissão em sub-portadoras. A banda de transmissão é dividida em 256 portadoras, cada uma com largura de banda de 4,3125 kHz e poderá transportar até 32 kbps em QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), conforme mostra a Figura 11 . Estas sub-portadoras pequeninas vão minimizar a probabilidade de existir a distorção, porque ao dividir o canal em bandas muito pequeninas, as subportadoras apresentam-se uma resposta mais ou menos constante em termos de frequência[5].

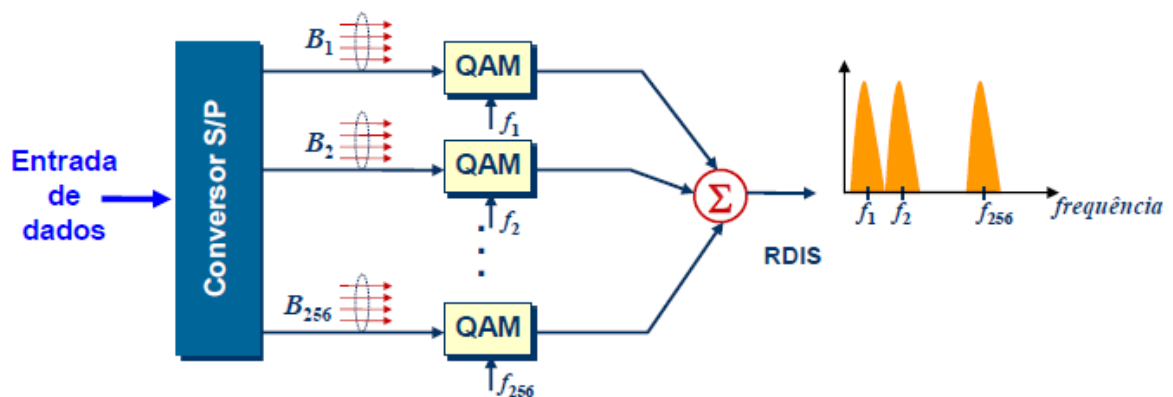


Figura 11 – Banda de transmissão em sub-portadoras[5]

É utilizada a modulação QAM porque permite transmitir em vários níveis, ou seja, consegue-se transmitir muito mais bits por segundo por Hertz (eficiência espectral) no mesmo espectro, e aumenta o número de bits em cada símbolo.

A tecnologia ADSL para além de usar o modem ADSL na rede do cliente, inclui também na CL os *multiplexers* de acesso DSLAM (*Digital Subscriber Line Accessm Multiplexer*) que comunica com o modem ADSL, como mostra a Figura 12. O DSLAM é responsável pelo acesso a internet em altas velocidades nas linhas telefónicas de cobre, e tem como função concentrar o tráfego das linhas telefónicas oriundo de diversos assinantes que possuam um modem ADSL. Cada DSLAM interliga várias centenas de modems ADSL à rede IP através de uma rede de banda larga ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)[5].

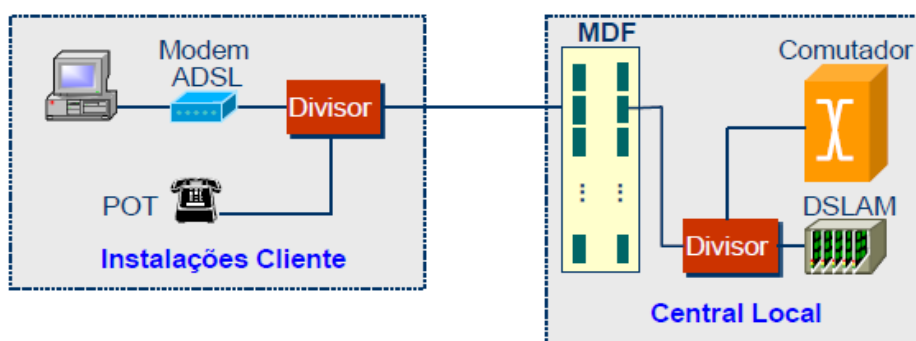


Figura 12 – Tecnologia ADSL[5]

Mais tarde surgiu a tecnologia ADSL 2 que é uma evolução da ADSL. A ADSL 2 consegue transmitir num débito superior em relação a ADSL, porque aumenta o número de bits por símbolo em cada uma das sub-portadoras, com a possibilidade de chegar aos 12 Mbps[5] em DS em linhas curtas inferior a 6 km, ver a Figura 13. A tecnologia ADSL 2, por sua vez evolui-se para a tecnologia ADSL 2+. Esta trouxe um aumento significativo no débito descendente em linhas curtas inferior a 2 km, permitindo débitos máximo até cerca de 24 Mbps, que também está apresentado na Figura 13. Através desta, é possível concluir que estas tecnologias são mais vantajosas quando mais próxima da estação central estiver o assinante[5].

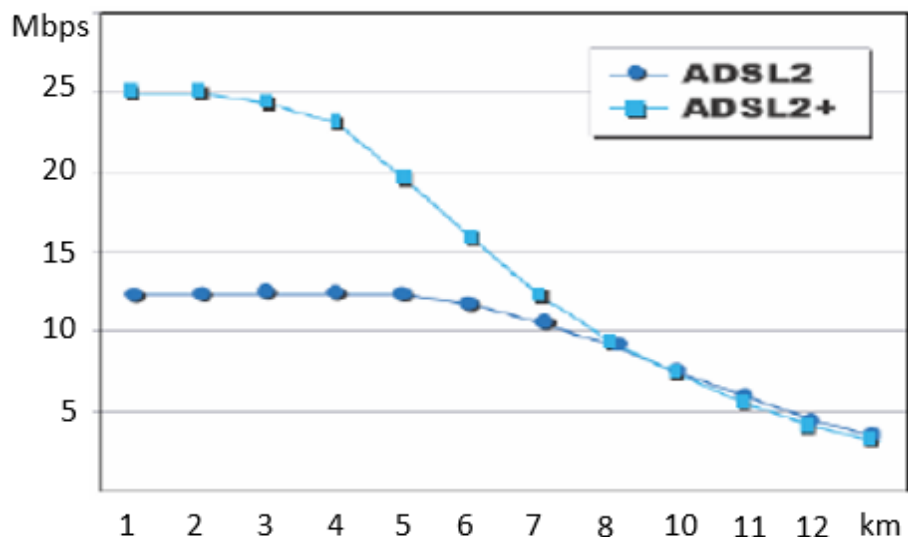


Figura 13 – Comparação entre a tecnologia ADSL 2 e ADSL 2+[5]

Em 2004 foi definida pela ITU uma nova versão da tecnologia xDSL, a VDSL. É uma tecnologia sucessora da ADSL que usa os mesmos princípios, só que permite um débito muito superior em relação a mesma. Traz uma vantagem em relação às anteriores, que é funcionar em dois modos, simétrico para aplicações HDSL e SHDSL, e em modo assimétrico para aplicações ADSL[5]. A Tabela 4 ilustra os débitos de transmissão para os dois modos mencionados.

Tabela 4 – Débitos de transmissão na rede VDSL[5]

Modo Simétrico [Mbps]	Modo Assimétrico [Mbps]		Alcance [m]
	Débito em DS	Débito em US	
25	54	6,4	300
13	26	3,2	1000
6,5	13	1,6	1500

Em 2005 apareceu a VDSL 2, que é a evolução da tecnologia VDSL, cuja as funcionalidades foram baseadas em ADSL 2+. A tecnologia VDSL 2 atinge débitos máximos na ordem dos 100 Mbps em DS e 50 Mbps em US, para distâncias inferiores a 100 m[7].

A tecnologia VDSL é uma alternativa nas redes NGAs baseadas em fibra ótica, mas para as configurações FTTC (*Fiber To The Curb*). O Modem VDSL encontra-se localizado num armário de rua (ONU), a uma distância de 1500 metros do assinante, como mostra a

Figura 14. No OLT (*Optical Line Terminal*) são multiplexados os comprimentos de onda na fibra até ao ONU (*Optical Network Unit*), onde é feita a conversão dos sinais ótico para elétrico. Do ONU até aos NTs na rede do cliente, a ligação é feita em pares de cobre[5][7].

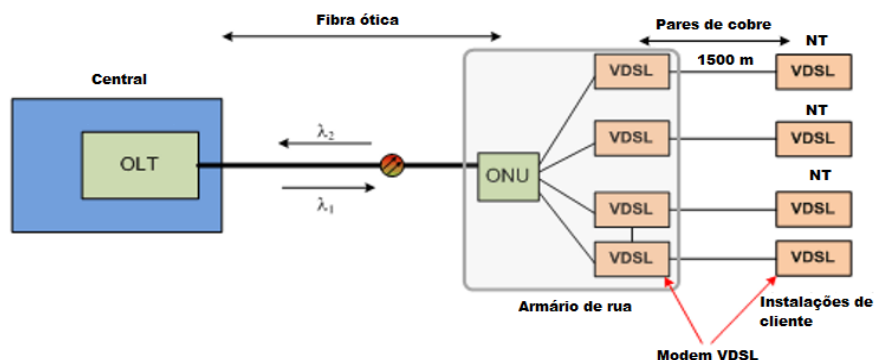


Figura 14 – Rede VDSL[7]

Na Tabela 5 será apresentada de forma resumida a taxa de transmissão, modos de conexão e aplicações, das tecnologias xDSL.

Tabela 5 – Comparação das tecnologias xDSL[5]

	Taxa de Transmissão	Modos de conexão	Alcance	Aplicações
HDSL	E1 – 2048 kbps	Simétrica	4 a 5 km	Ligações E1/DS1 ponto a ponto da rede fixa. LAN/WAN.
	DS1 – 1544 kbps	Simétrica		
SHDSL	Até 2320 kbps	Simétrica	3 a 4 km	Ligações E1/DS1 ponto a ponto da rede fixa. LANs/WANs.
	Até 192 kbps	Simétrica	9 km	
ADSL	US: até 600 kbps DS: até 8 Mbps	Assimétrica	3 km	Acesso a internet, VoD (<i>video-on-demand</i>), LANs, multimédia interativa.
ADSL 2	US: até 1 Mbps DS: até 12 Mbps	Assimétrica	Até 5,5 km	Acesso a internet, VoD (<i>video-on-demand</i>), LANs, multimédia interativa.
ADSL 2+	US: até 3,5 Mbps DS: até 24Mbps	Assimétrica	Até 2,5 km	Acesso a internet, VoD (<i>Video-on-Demand</i>), LANs, multimédia interativa.
VDSL	US: 1,6 Mbps a 6,4 Mbps DS: 13 Mbps a 54 Mbps	Simétrica e assimétrica	Até 1,5 km	As mesmas que SHDSL, as mesmas que ADSL, ainda o HDTV (<i>High-Definition Television</i>).
VDSL 2	US: até 50 Mbps DS: até 100 Mbps	Simétrica e assimétrica	100 m	As mesmas que SHDSL, as mesmas que ADSL, ainda o HDTV.

2.5.4. CABO COAXIAL

Inicialmente as redes de transmissão de televisão por cabo, CATV (*Cable Television*), eram unidirecionais, eficazes na distribuição de canais de TV, usando apenas o cabo coaxial como meio físico de transmissão, desde da cabeça de rede (*Head end*) até a rede dos assinantes, conforme indica a Figura 15. A estrutura da rede em si era baseada numa topologia em árvore, com os clientes distribuídos ao longo dos ramos, daí ser designada de *tree-and-branch*[9].

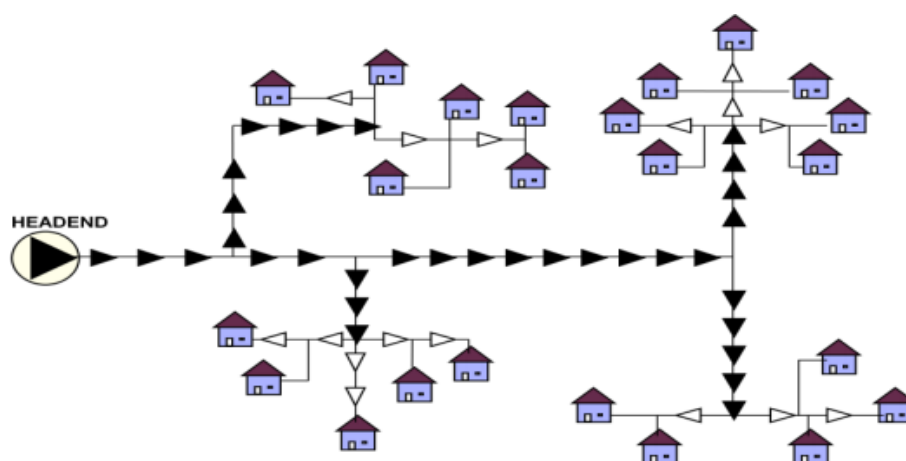


Figura 15 – Arquitetura *tree-and-branch*[9]

Uma vez que os cabos coaxiais introduzem perdas do sinal para longas distâncias, então utilizou-se vários amplificadores de RF (Rádio frequência) interligados entre os cabos. As desvantagens destes amplificadores, é que a medida que amplificam o sinal elétrico amplifica-se a relação sinal-ruído ao longo da transmissão, e faz com há distorção do sinal. Como consequência, provoca no recetor a degradação da qualidade da imagem. Com avanço tecnológico a nível das fibras óticas, surgiu-se uma nova arquitetura híbrida ou rede HFC.

Em Portugal a disponibilização de fibra ótica até aos ONTs não era economicamente viável, sendo então, a solução consistiu na utilização de fibra ótica até aos ONUs, e a partir destes fez-se a instalação dos cabos coaxiais na rede de acesso de forma a servir centenas de clientes numa célula[10], ver a Figura 16.

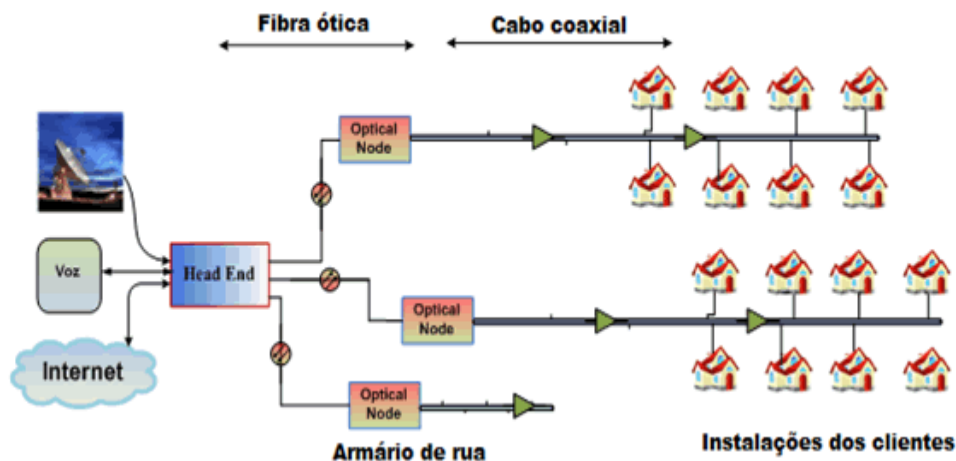


Figura 16 – Rede HFC[10]

Esta arquitetura veio aumentar a largura de banda do sistema, a qualidade do sinal de TV e a fiabilidade. As grandes vantagens em relação a anterior, está na diminuição dos amplificadores, o que implica reduzir os custos de manutenção e no facto de suportar comunicações bidirecionais. Segundo a Rec. ITU-T J.222.1, a rede HFC é uma topologia de rede fortemente assimétrica e bidirecional [10], que permite 25 a 30 Mbps por canais em DS e 0,5 a 3 Mbps em US[42].

2.5.5. TECNOLOGIA FTTX

A arquitetura para as redes de acesso de novas gerações de fibra ótica FTTx, surgiu-se tendo como objetivo trazer a fibra mais próximo possível dos usuários, ou num dos casos até a casa dos mesmos. Em comparação com as tecnologias de acesso anteriormente mencionadas, esta tecnologia veio aumentar a largura de banda na rede de acesso. Ou seja, altas velocidades de internet em DS e US que permita os assinantes usufruir dos serviços de voz, vídeos e dados com qualidade adequado; uma rede com custos operacionais mais baixos e redução nos números de equipamentos ativos. A vantagem da fibra em relação ao cabo coaxial está na transmissão de serviços de televisão, enquanto em cabo coaxial a maior parte dos programas de televisão vem em DVB-C (*Digital Video Broadcasting - Cable*) ou em analógico, enquanto na fibra vem tudo em IPTV.

As redes FTTx dependendo do ponto da terminação da fibra em relação aos usuários, tem diversas designações diferentes: FTTH/B/P: *Fiber To The Home/Fiber To The*

Building/Fiber To The Premises e diferem das FTTC: *Fiber To The Curb/Fiber To The Cabinet* que também são designadas por FTTN (*Fiber To The Node*), como mostra a Figura 17.

As redes FTTCab ou FTTN são designadas para as situações onde os cabos da fibra ótica terminam no armário de rua ou ONU. Estes encontram-se localizados a uma distância de aproximadamente 1500 m da casa do cliente. A partir da ONU podem ser utilizados outros meios físicos de transmissão, como pares de cobre ou cabo coaxial até a NT. Como foi anteriormente dito, esta arquitetura é utilizada na rede VDSL, que também a terminação da rede ótica se encontra num armário de rua, que será uma infraestrutura de suporte à rede de acesso de cobre existente[7].

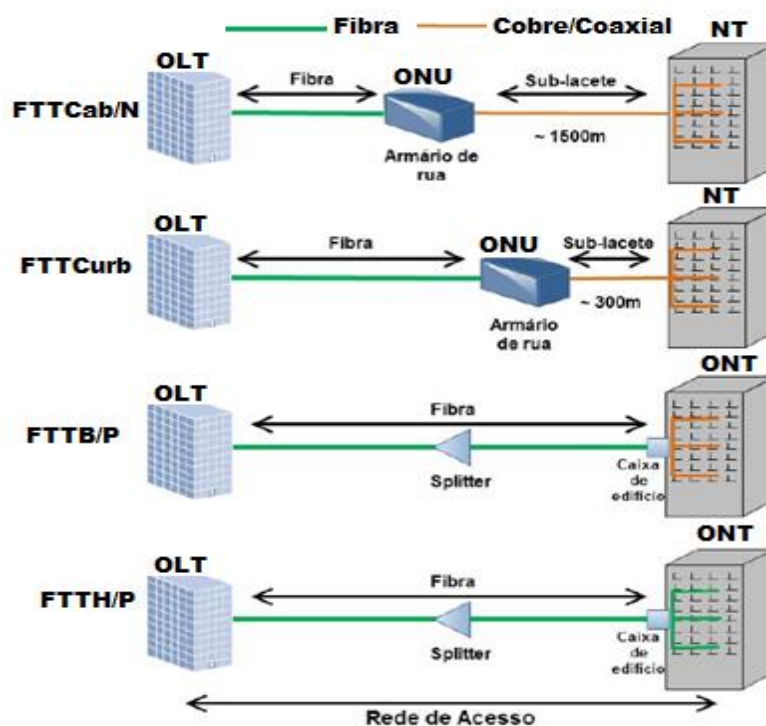


Figura 17 – Estrutura das redes FTTx[11]

A rede FTTCurb, fibra até quarteirão, tem o mesmo princípio que a rede FTTCab, a única diferença está no facto do ONU estar situado à 300 m da casa dos clientes. Os utilizadores ligam-se aos ONUs através de cabos de cobre ou coaxial.

Enquanto a FTTB, que é uma rede que faz parte da FTTP, ou seja, ligação da fibra ótica vai até às instalações dos clientes, onde a divisão do sinal é feita através de um equipamento ótico passivo. Esta rede normalmente encontra-se nos antigos edifícios,

ou seja, o ONT está situado à entrada dos edifícios onde existem armários de telecomunicações.

Por fim, a rede FTTH, que também leva a fibra até as instalações dos clientes, só que nesta rede o ONT será uma tomada que é instalada dentro das casas dos clientes. Atualmente, os novos edifícios estão equipados para receber esta tecnologia. Na tomada na rede do cliente liga-se um router que dá acesso aos dados (*wireless* ou ligação por cabos) e voz (POTS) e uma box que transmite os canais televisivos através da IPTV. A grande vantagem desta rede está no transporte destes serviços até à casa dos clientes, sobre uma rede totalmente passiva. Como desvantagens está no facto de ter um investimento bastante elevado em relação às outras.

3. FIBRA ÓTICA NA REDE DE ACESSO

As redes FTTH/B/P podem ser implementadas através de arquiteturas ponto-a-ponto e/ou ponto-multiponto (P2MP). A arquitetura ponto-a-ponto é uma rede bidirecional com base nos dois comprimentos de onda, US e DS, na mesma fibra que utiliza a topologia física em estrela, como mostra a Figura 18. Consiste na instalação de uma fibra diretamente entre o OLT e os ONTs, sem a existência de quaisquer equipamentos óticos entre os mesmos. Normalmente, é utilizada para as grandes empresas que pretendem débitos elevados, melhores prestações de serviços, visto que não há partilha de meios físicos na rede. As grandes desvantagens desta arquitetura para as operadoras estão no facto de utilizar uma fibra para cada cliente, ou seja, há um laser emissor e um recetor dedicado a cada um dos ONTs, o que implica grandes custos. E no facto de existir maior consumo de energia no OLT, dado que existe um terminal de linha ótica por cliente. As grandes vantagens estão no facto de possibilitarem débitos elevados, prestação de um serviço com qualidade e maior segurança na rede, pois o OLT dedicado fica imune a possíveis perturbações provocadas por outros utilizadores[12].

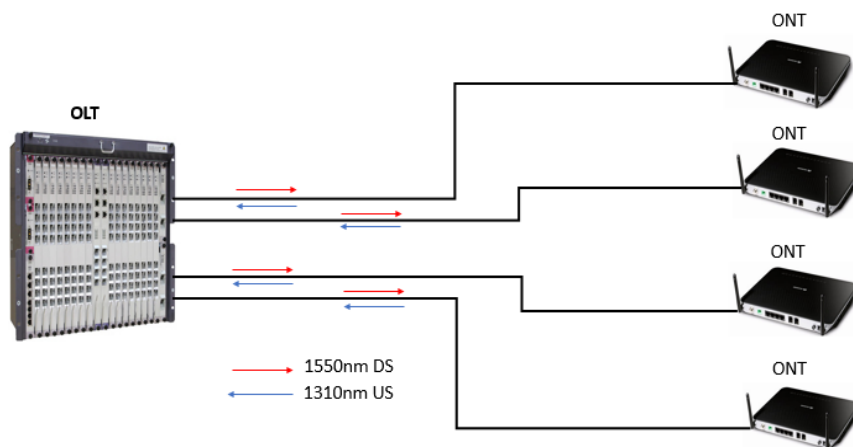


Figura 18 – Arquitetura de rede ponto-a-ponto

A arquitetura ponto-multiponto apresentada na Figura 19, também é uma rede bidirecional, que é utilizada na prática pelas operadoras para oferecer serviços aos clientes residenciais, pelo facto de esta partilhar a largura de banda entre os utilizadores e permitir débitos elevados. Permite utilizar técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda, isto é, consegue-se agregar vários serviços de informações na mesma fibra, e na rede de acesso distribuí-los para N utilizadores. A desvantagem em relação à arquitetura anterior, está no débito oferecido.

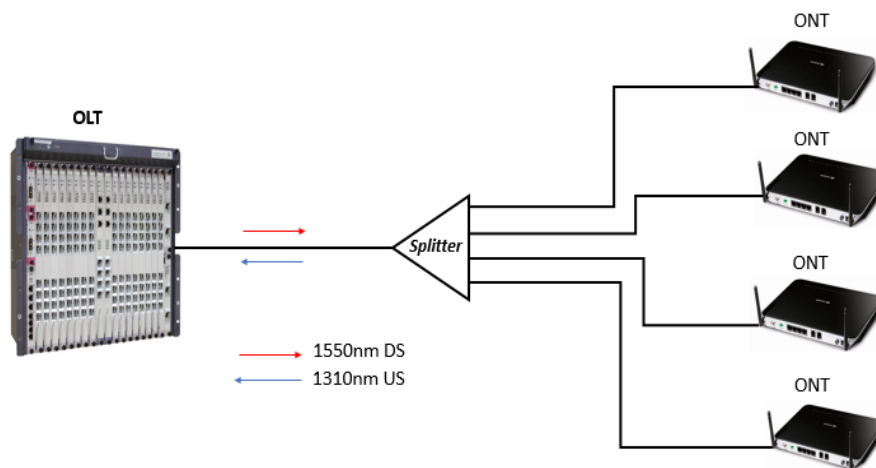


Figura 19 – Estrutura da rede ponto-multiponto

A arquitetura ponto-multiponto subdivide-se em termos de possíveis tecnologias, em redes PON e redes AON (*Active Optical Network*)[12]. Na Figura 20 encontra-se especificada as evoluções das redes AON e PON, bem como as técnicas de multiplexagens de comprimentos de ondas utilizadas nestas últimas.

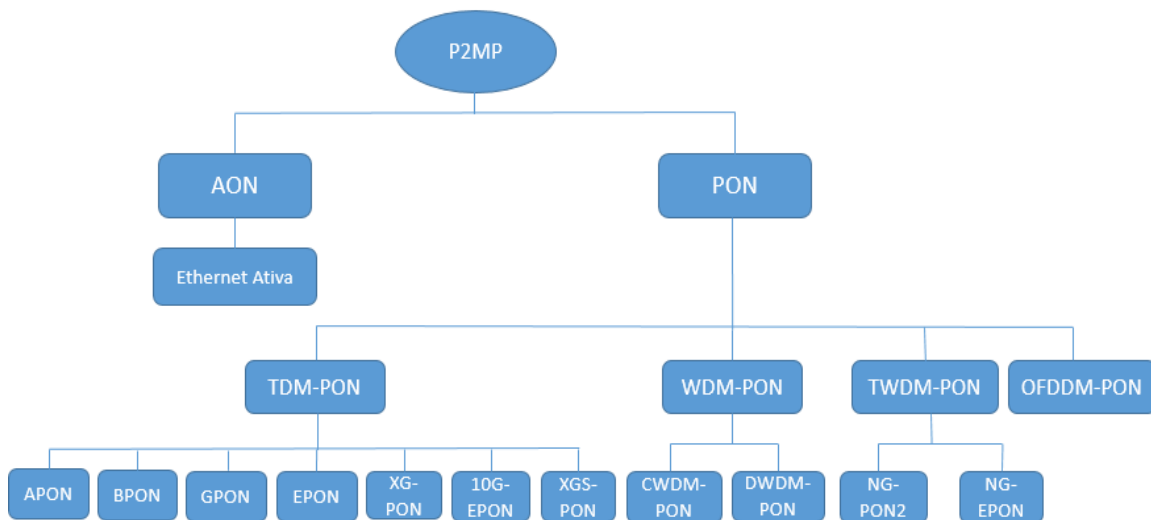


Figura 20 – Arquitetura da rede P2MP

3.1. REDES AON

As redes óticas ativas ou redes AON são instalações de fibra ótica até as instalações do assinante. Os dados transportados podem ir dos poucos Mbps até os Gbps[5]. A Ethernet Ativa é um exemplo das redes AON, que é uma tecnologia que implica grandes custos para as operadoras devido aos elementos ativos existente na rede de acesso, como: regeneradores, *multiplexers*, *switches* ou routers[12].

3.1.1. Ethernet Ativa

Consiste na instalação de um equipamento ativo na ODN, que encaminha as tramas Ethernet para a rede dos clientes, como ilustra a Figura 21. O comutador Ethernet tem como objetivo agregar o tráfego oriundo da rede dos clientes e enviá-lo para o OLT, e vice-versa[12]. É preciso garantir alimentação de energia e controlo de temperatura dos equipamentos ativos, o que faz com que esta rede ser a mais dispendiosa da arquitetura P2MP.

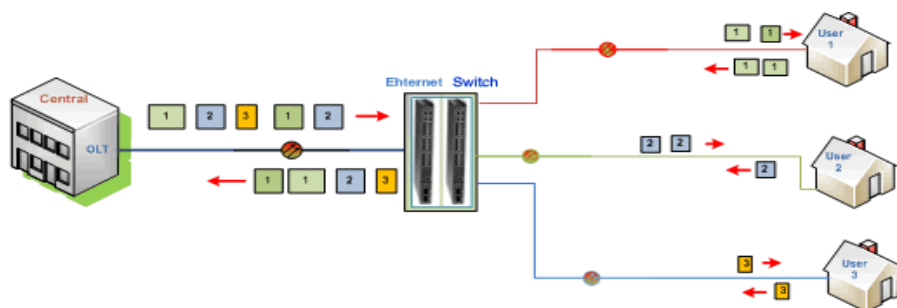


Figura 21 – Rede Ethernet Ativa[12]

3.2. REDES PON

As redes PON são um conjunto de tecnologias normalizada pela ITU-T e IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), apesar de ser criado pelo grupo de trabalho FSAN (*Full Service Access Network*). Foram selecionadas pelas operadoras para transmissão de serviços, nas arquiteturas FTTx nomeadamente FTTH e FTTB, que são os serviços POTS, VoIP (*Voice over IP*), dados e vídeo[14].

Os tráfegos em DS e US são analisados de forma diferentes, ou seja, do sentido OLT até às casas dos clientes são difundidas na rede para todos os ONTs, neste caso o encaminhamento das tramas é feito em *broadcast*. Enquanto no sentido contrário são combinados através de um protocolo de acesso múltiplo. Podem ser utilizadas três tipos de topologias física de transmissão: topologia física em anel, em árvore e em barramento, como mostra a Figura 22.

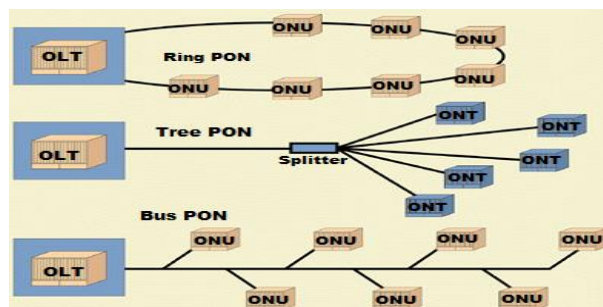


Figura 22 – Topologias física de transmissão na rede PON[13]

A topologia utilizada pelas operadoras em Portugal é em árvore, onde as informações são multiplexadas no OLT e através dos divisores óticos (*splitters*) o sinal é dividido na rede, ver a Figura 23. Estes são equipamentos óticos passivos que dividem o sinal simetricamente para todas as saídas.

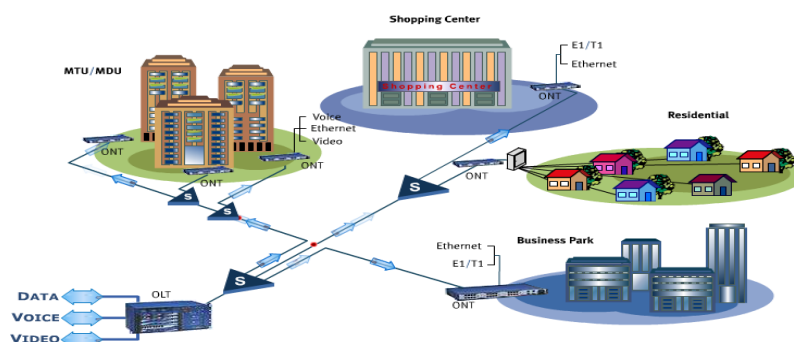


Figura 23 – Arquitetura da rede PON[13]

Na Figura 24 está apresentada a evolução das redes PON ao longo dos anos, em função dos débitos máximos suportados em DS.

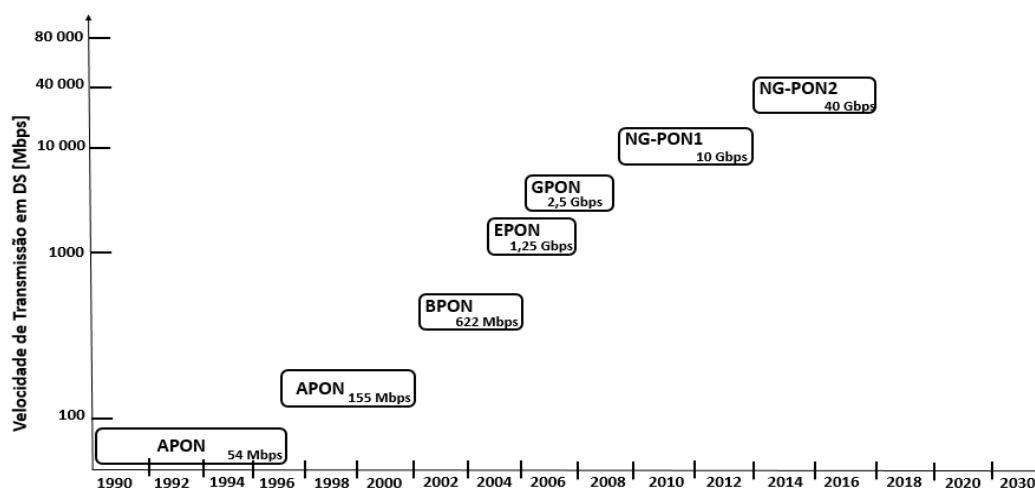


Figura 24 – Tipos de rede PON[15]

3.2.1. APON

A rede APON (*Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network*) foi a primeira tecnologia da rede PON definida pelo FSAN em 1995, que utilizou a técnica de multiplexagem TDM-PON (*Time Division Multiplexing Passive Optical Network*). Mais tarde em 1997 foi definida pela ITU-T na norma G.983, com o ritmo de transmissão baseado no modo simétrico de 155,52 Mbps. O rácio do divisor ótico máximo utilizado foi de 1:32 com comprimento de onda de 1,5 μm em sentido DS e 1,3 μm em sentido US[20]. O comprimento máximo de fibra entre o OLT e o ONT era de 20 km[16].

3.2.2. BPON

A rede BPON (*Broadband Passive Optical Network*) foi uma evolução da rede APON, que inicialmente foi baseada em células ATM[17]. O ritmo de transmissão era baseado no modo de transmissão assimétrico, com velocidades de transmissão em DS entre 155,52 Mbps a 622,08 Mbps, e em sentido US de 155,52 Mbps[13]. O rácio máximo foi de 1:32, com o alcance da fibra até 20 km. A rede BPON veio fornecer técnicas de segurança avançadas de criptografia com as chaves criptográficas, que é alterada pelo menos uma vez por segundo entre o OLT e o ONT[14].

3.2.3. GPON

A rede GPON que foi uma evolução da rede BPON definida na norma ITU-T G.984[23], que foi utilizada na Europa[5] e nos EUA. Foi definida numa série de Rec. ITU-T que vai desde G.984.1[24] até G.984.7 apresentadas na Tabela 6, que especifica as características gerais da rede GPON.

Tabela 6 – Normalização da rede GPON[5][22]

Norma	Objetivos
ITU-T G.984.1	Descrição dos parâmetros da rede GPON; Requisitos sobre a proteção de rede;
ITU-T G.984.2	Especificação da camada física ou PMD (<i>Physical Media Dependent</i>); Especificação dos débitos binários para DS e US; <i>Link Budgets</i> ;
ITU-T G.984.3	Especificações da camada TC (<i>Transmission Convergence</i>) no sistema GPON e da pilha de protocolos; Tramas GTC (<i>GPON Transmission Convergence</i>); Registo e ativação da ONT; Especificações do DBA (<i>Dynamic Bandwidth Assignment</i>); Alarmes e desempenho;
ITU-T G.984.4	Formato da mensagem OMCI (<i>ONU Management and Control Interface</i>); Trama OMCI de gestão dos dispositivos; Princípio de funcionamento do OMCI;
ITU-T G.984.5	Coexistência com a tecnologia XGPON, NG-PON2;
ITU-T G.984.6	Especifica os parâmetros que permitem aumentar o alcance físico na rede GPON, como AO (<i>Optical Amplifier</i>), OBF (<i>Optical Bandpass Filter</i>), etc.
ITU-T G.984.7	Especifica o <i>Long reach</i> , variando o <i>delay</i> de propagação de DS e US.

A ITU-T criou a rede GPON capaz de suportar os requisitos de largura de banda elevada para serviços empresariais e residenciais. A camada física PMD especificada na norma ITU-T G.984.2 definiu taxas de transmissão em DS até 2,488 Gbps com comprimentos de onda a variar entre os 1480 até os 1500 nm (1490 nm \pm 10). Em US a taxa de

transmissão vai até 1,2 Gbps com comprimentos de onda entre os 1260 até os 1360 nm (1310 ± 50)[17][20][35]. A rede suporta o rácio máximo de 1:64 com o comprimento máximo de 20 km[16].

De acordo com a recomendação ITU-T G.984.2, existe a possibilidade da utilização de um terceiro comprimento de onda para transmissão de vídeo RF *overlay*. Este varia entre os 1550 e os 1560 nm[12][14], como mostra o espectro da Figura 25.

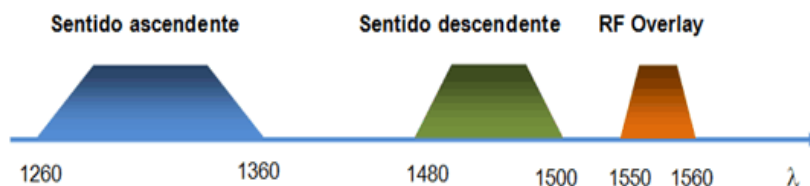


Figura 25 – Espectro da rede GPON[12]

3.2.3.1. Tráfego em DS e US

Na camada física PMD os dados em DS são enviados em *broadcast* para todos os clientes na rede através da técnica TDM, como mostra a Figura 26. Cada ONT descodifica os que lhe são destinados e descartam os que são destinados aos outros. Em US cada ONT transmite à sua vez através da técnica do acesso múltiplo, designada de TDMA (*Time Division Multiple Access*). Esta técnica garante que não haja colisões entre tramas que cheguem ao mesmo tempo no OLT. Este, sabe a distância de cada ONT e determina o tempo de transmissão em US dos mesmos[5][25].

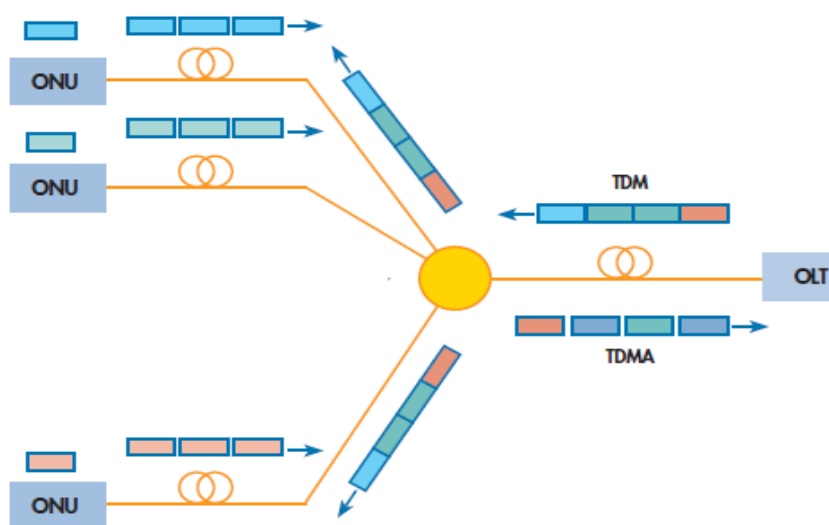


Figura 26 – Camada física da rede GPON[25]

3.2.3.2. Estrutura da Trama

Segundo a Rec. ITU-T G.984.3 as tramas GTC da Figura 27, têm sempre uma duração de 125 μ s para ser compatível com a trama E1, onde também a sequência binária transmitida tem uma duração de 125 μ s[4]. A trama GTC em DS é constituída por um cabeçalho de controlo designado de PCBd (*Physical Control Block Downstream*) que transporta informações de DS e US, e um campo GTC *Payload* para transportar a informação útil (dados, voz e vídeo), como mostra a Figura 27.

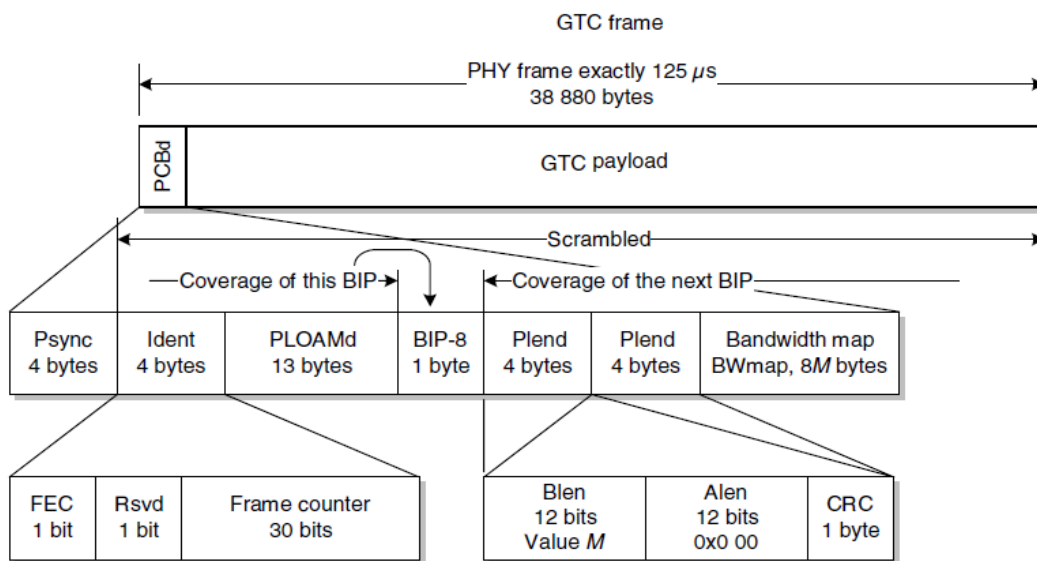


Figura 27 – Trama GTC em DS[27]

O cabeçalho de controlo PCBd, para além de transportar as informações de controlo em DS, também transporta informações de US. Ou seja, os ONTs ao receberem as tramas de DS, automaticamente ficam a saber o momento é que devem enviar os dados em US. O cabeçalho de controlo PCBd é formado por[26]:

- *Psync* (*synchronization pattern*) de 4 bytes para garantir o sincronismo entre o OLT e os ONTs;
- *Ident* de 4 bytes que é composto por: um campo *FEC* que protege a trama em DS contra erros de bit, um campo *Rsvd* de 1 bit que é reservado e um campo *Frame counter* de 30 bits que incrementa com cada trama enviada em DS. A utilização deste campo serve para a troca de chave de criptografia[27];
- 13 bytes de *PLOAMd* (*Physical Layer Operations, Administration, and Maintenance downstream*) que é usado para enviar mensagem na camada física,

para transmitir informações de controlo, temporização, alarmes, manutenção, etc.

- 1 byte para BIP (*Bit Interleaved Parity*) usado para efetuar a estimativa da taxa de erro de bits;
- 4 bytes para *Plend* (*Payload length indicator*), que é enviado duas vezes por razões de robustez. É composto por: um campo *Blend* de 12 bits, que especifica a largura de banda de 8 bytes para o *bandwidth map BWmap*, um campo *Alen* de 12 bits que é enviado só com zeros na transmissão e ignorado na receção e um campo CRC (*Cyclic Redundancy Check*) que faz a deteção e correção de erros[27];
- O campo *Upstream Bandwidth Map* contém todas as alocações de uma trama em US. Este mapa pode ser diferente em cada trama em resposta às flutuações dinâmicas de tráfego[26]. O *Bandwidth Map* é uma série de estrutura de alocações de 8 bytes[27], conforme mostra a Figura 28.

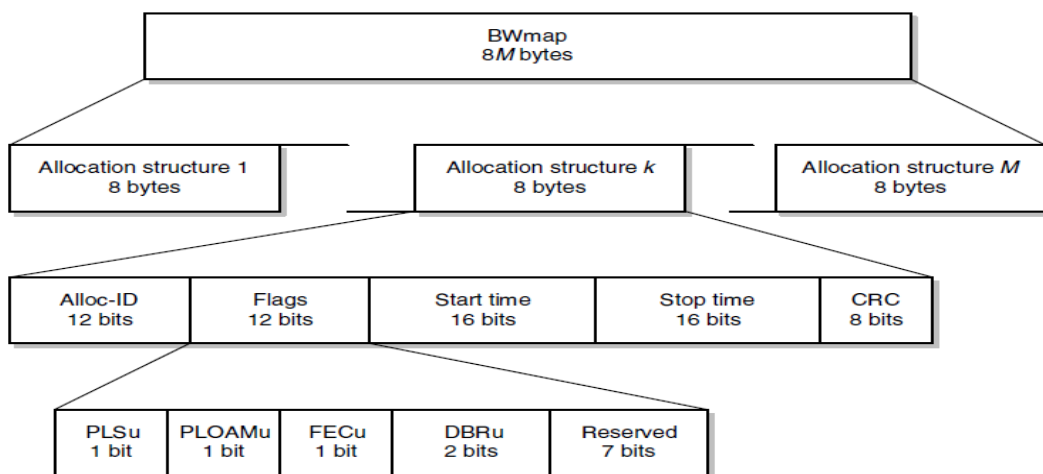


Figura 28 – G-PON *bandwidth map*[27]

Em US a informação é enviada em contentores designados de *containers*. Então o campo *Upstream Bandwidth Map* é um mapa de 8 bytes com a informação de todos os *containers* em US. Ou seja, na prática significa que sempre que uma trama chegue aos ONTs, ela já traz informação do T-CONT (*Transmission Containers*) de cada ONT e o intervalo de tempo em que estes começam (*start time*) e acabam (*stop time*), como mostra a Figura 29. Na parte superior da Figura 29 está apresentada uma trama de DS, e esta informa ao ONT 1 que o seu contentor em US (apresentado na parte inferior da

Figura 29) inicia no *slot* 100 e acaba no *slot* 200 ms. Isto é, nesse *time slot* é que o ONT 1 tem que enviar a sua informação para o OLT. Enquanto o contentor do ONT 2 inicia-se no *slot* 300 e termina no 500 ms.

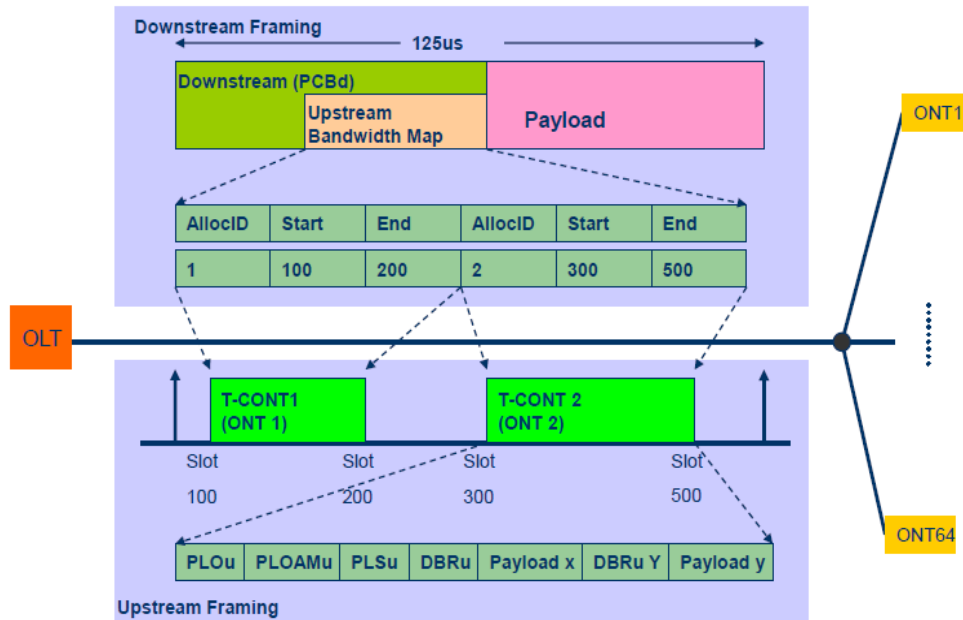


Figura 29 – informações de DS e US[5]

Os campos da etiqueta *Upstream Bandwidth Map* da Figura 28 são os seguintes[26]:

- *Alloc_ID* (12 bits) que indica ao destinatário a alocação de largura de banda, ou seja, informa aos ONTs qual é o T-CONT que estes devem enviar os dados. É atribuído de forma dinâmica. A rede GPON suporta aproximadamente 4000 *Alloc_IDs*, onde os primeiros 254 são reservados para identificar ONTs durante a configuração/ativação dos mesmos[26][27];
- *Flag* (12 bits) que é composto por 5 campos: campo *PLSu* (*Power leveling Sequence upstream*) que é o campo onde o OLT define o nível de potência em US de cada ONT de acordo a distância em que se encontram, o campo *PLOAMu* (*Physical Layer Operations, Administration, and Maintenance upstream*) que é usado para enviar mensagens com informações de controlo, temporização, alarmes, manutenção em US, campo *FECu* onde é solicitado que o FEC seja permitido em rajadas de US, campo *DBRu* (*Dynamic Bandwidth Report upstream*) de 2 bits que informa aos ONTs para enviar as informações de dados existentes no *buffer* e um campo de reserva de 7 bits que não é utilizado[27];
- *Slot Start* (2 Bytes) que informa aos ONTs o instante é que passa o contentor;

- *Slot Stop* (2 Bytes) que informa o instante é que termina o contentor;
- *CRC* (1 byte) cada acesso é protegido por uma verificação de redundância cíclica, que oferece 2 bits para deteção de erro e 1 bit para a correção.

Por fim, o campo *GTC payload* da Figura 27, está apresentado na Figura 30. Este é constituído por vários pacotes GEM (*GPON Encapsulation Method*).

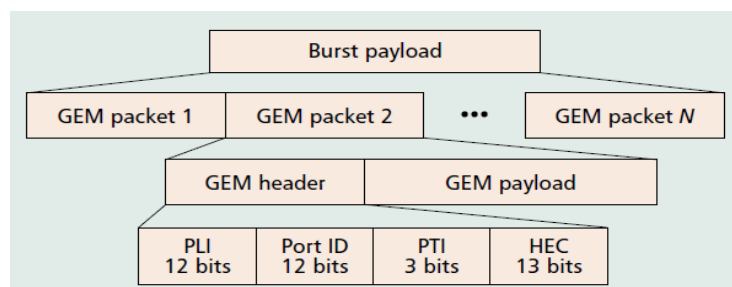


Figura 30 – GTC *payload*[26]

O campo *GTC payload* transporta a informação útil da trama e só é lida ou decodificada pelo ONT correspondente, através das chaves criptográficas do algoritmo AES (*Advanced Encryption Standard*). O *payload* está sujeito à uma cifra que garante que só um ONT que tem a chave para decifrar a informação que lhe pertence. Através da Figura 30 é possível verificar que uma trama GEM é composta por um cabeçalho GEM seguido do campo *GEM payload* que transporta o tráfego em DS. O cabeçalho GEM é constituído por[26]:

- *PLI (Payload Length Indicator)* de 12 bits usado para indicar o comprimento do *GEM payload*;
- *Port-ID* de 12 bits que identifica portos GEM, ou seja, cada ONT é configurado para reconhecer qual *Port-ID* pertence a ele;
- *PTI (Payload Type Indicator)* de 3 bits que indica se a trama contém dados do usuário ou informação de OAM;
- *HEC (Header Error Control)* de 13 bits para deteção e correção de erros.

As tramas em US são compostas por 4 campos de informações de US e um campo *payload* para transportar a informação[5], como mostra a Figura 31.

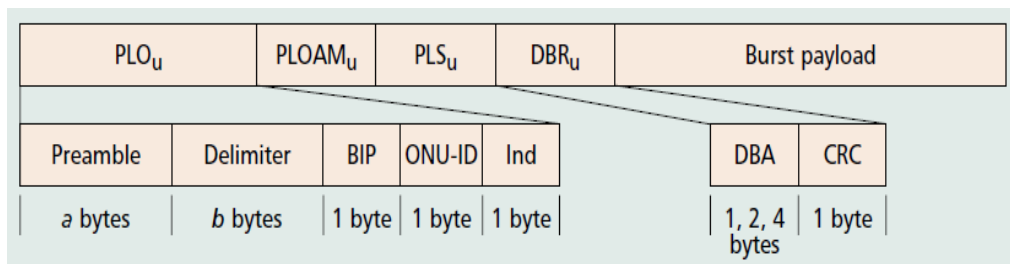


Figura 31 – Estrutura da trama em US[26]

- PLO_u (*Physical Layer Overhead*) é enviado sempre que o ONT assume o acesso ao meio. Contém os campos: preâmbulo, delimitador (dimensão definida pelo OLT através de PLOAM_d) que assegura o funcionamento correto da camada física da ligação em US. Contém um campo BIP que é usado para efetuar a estimativa da taxa de erro de bits, um campo *ONU-ID* que identifica o ONT que está a enviar a trama e um campo *Ind* que informa o OLT das tramas com erros enviadas em DS.
- PLOAM_u é o campo responsável para enviar informações de controlo como alinhamento das tramas (*ranging*), ativação do ONT, notificações de alarme, etc.
- PLS_u este campo contém informações de potência dos lasers dos ONTs, permitindo o OLT ajustar a potência de cada ONT para que as tramas cheguem todos à mesma potência;
- DBR_u que envia informação sobre o tráfego existente no *buffer* e comprimento de cada T-CONT para o OLT, de forma a permitir o cálculo do algoritmo DBA.

3.2.3.3. *Transmission Containers*

Os contentores (T-CONT) da Figura 29 utilizados para transportar o tráfego em US são um tipo de *buffers* que servem para armazenar as informações[29]. A principal razão da sua definição prende-se com a utilização do algoritmo DBA que é usado em US.

Segundo [24], os ONTs enviam o tráfego usando um ou mais T-CONT que permitem a implementação de QoS (*Quality of Service*). Na rede GPON existem 5 tipos de T-CONT que podem ser utilizados nos ONTs[24] para enviar os dados para o OLT. O T-CONT do tipo 1 garante alocação fixa de largura de banda para aplicações sensíveis ao atraso e de alta prioridade como o VoIP. O T-CONT tipo 2 é utilizado para aplicações não sensíveis como o IPTV, o T-CONT tipo 3 é uma mistura de largura de banda mínima garantida mais

um adicional não garantida, enquanto T-CONT tipo 4 é alocado sem qualquer largura de banda garantida. Por fim o T-CONT tipo 5 que é uma mistura de todos dos serviços. Os T-CONT do tipo 2 e 3, normalmente são usados para transportar serviços de vídeo e de dados de prioridades mais altas. Na Figura 32 é possível verificar os 5 tipos de contentores mencionados, na figura do lado esquerdo os serviços são mapeados nas diferentes filas de T-CONT (tipo 1, 2, 3 e 4), sendo estes enviados de acordo com permissões do OLT. Na figura do lado direito, são multiplexados todos os contentores dentro do contentor do tipo 5 e enviados para o OLT. Na prática este caso acontece quando um cliente contrata todos os serviços da rede GPON ou quando há necessidade de agrupar os dados de vários clientes no T-CONT 5 e enviar para o OLT. Um cliente poderá contratar apenas um tipo de serviço, então o OLT configura o tipo de contentor para transportar a informação de US, com o objetivo de poupar recursos na rede. Esta atribuição dos T-CONT é feita no OLT através do algoritmo DBA.

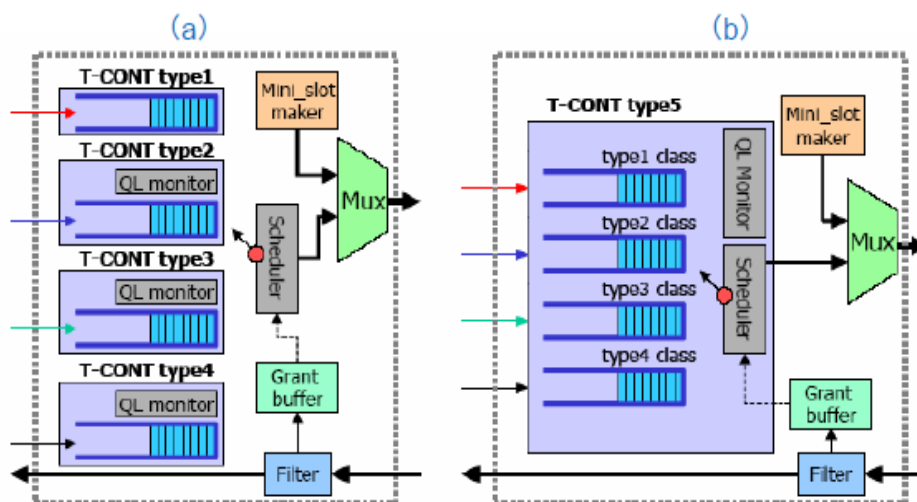


Figura 32 – Tipos de T-CONT na rede GPON[5]

3.2.3.4. Algoritmo DBA

Na rede GPON o algoritmo DBA permite a afetação dinâmica de largura de banda em intervalos de μs e μs [5]. Para além de garantir o sincronismo entre todos os ONTs para que estes enviem as tramas em instantes correto, este algoritmo permite também fazer a gestão de largura de banda disponível[29].

Na Figura 33 está ilustrado o funcionamento do algoritmo DBA. Segundo [28], para determinar a quantidade de tráfego ou a percentagem de largura de banda que se deve

atribuir a um determinado ONT, o OLT precisa saber qual o “*status report*” do T-CONT associado aquele ONT. Ou seja, informações do tráfego existente no *buffer* que é enviado no campo DBRu. O OLT ao receber essas informações de cada ONT, consegue alocar a largura de banda dos T-CONTs de cada ONT, de forma a estabelecer às prioridades dos serviços sensíveis aos atrasos. Caso um ONT não tenha nenhuma informação no *buffer* a espera para ser transmitida, envia uma informação *idle* para avisar que o seu *buffer* está vazio, assim permite o OLT atribuir o T-CONT aos outros ONTs. Se um ONT tiver uma longa fila para enviar, o OLT atribui vários T-CONT a esse ONT.

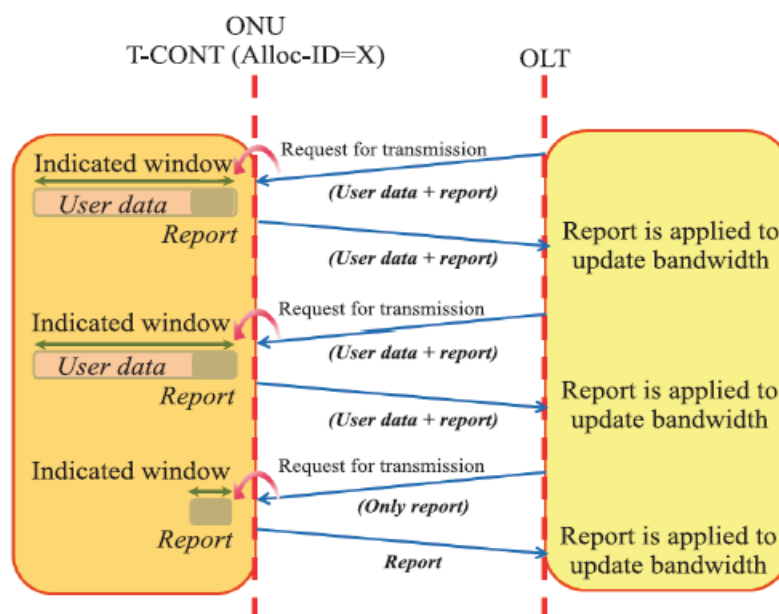


Figura 33 – Funcionamento do algoritmo DBA[28]

3.2.3.5. Alinhamento ou Ranging

O OLT calcula a distância de cada ONT através do tempo de propagação da trama e define um registo através da mensagem PLOAMu. O objetivo é transmitir as rajadas em US de forma sequencial sem colisões. Para tal, na rede GPON faz-se o *ranging* das tramas durante a ativação dos ONTs, que é designado de alinhamento inicial e *ranging* contínuo, que é efetuado continuamente para compensar alterações do atraso[5].

No alinhamento inicial o OLT envia uma mensagem de “*Activation and Operation*” para todos os ONTs existentes na rede. Estes ao receberem a mensagem de “*Synchronize to downstream signal*” vão adquirir a sincronização de bits, tramas e a informação do T-CONT para enviar os dados em US. Estes respondem enviando a informação de

serial_number_ONT, entretanto o OLT com esta informação atribui o *ONT_ID* para cada ONT[27]. A partir desta fase o OLT e os ONTs estarão prontos para enviar serviços.

No *ranging* contínuo, o OLT também envia mensagens de “*Synchronize to downstream signal*” de forma a evitar o *ranging delay*. Como consequência para não haver colisões nas tramas que cheguem ao OLT no mesmo instante[5], como está ilustrado na Figura 34. Quando o OLT sabe o tempo de propagação da trama de ida e volta durante a ativação, ele compensa o atraso com mensagens de *ranging*[27].

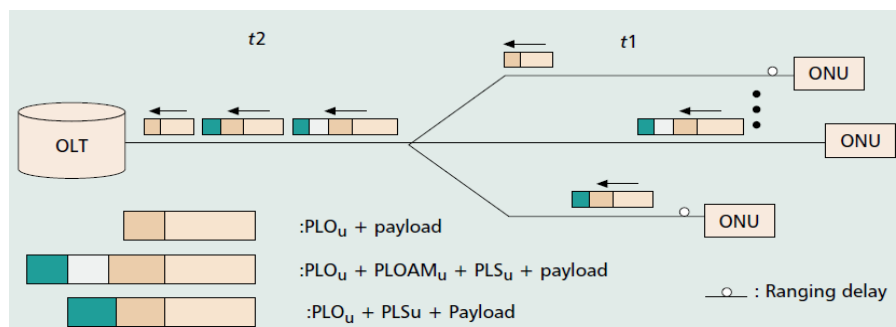


Figura 34 – Mensagem de *ranging*[26]

3.2.3.6. *Optical Splitter*

O tráfego na rede GPON em DS é separado através dos *optical splitters*, que são dispositivos inteiramente passivos com o objetivo de “repartir” o sinal de uma fibra em n fibras (ao custo de uma atenuação), transformando-se assim numa rede ponto-multiponto. Na prática o divisor máximo utilizado pelas operadoras é de 1:64, apesar de a norma prever a utilização de até 1:128. Este não é utilizado devido a taxa de contenção, que é um parâmetro que mede a qualidade de serviço na rede. Normalmente as operadoras optam pelas combinações de andares dos *splitters* óticos na rede FTTH, ou seja, fazem 1:2 e de seguida 1:32 ou ainda 1:2 x 1:4 x 1:8, que dão um total de 64 ONTs.

O número típico dos divisores óticos na rede GPON é determinado pela expressão 2^n ($n = 1, 2...7$). Como regra geral, a potência em cada saída é reduzida em relação à entrada por um fator de $n \times 3,5$ dB, isto é, por exemplo teoricamente as perdas associado ao *splitter* de 1:2 são de 3 dB mais 0,5 dB de perdas associadas às características do material que compõe o mesmo[24]. Ou também, a atenuação nos *splitters* pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$A_{sp} = n * 10 \log_2 + 0,5 \quad (1)$$

3.2.4. EPON

A Ethernet foi adotada na tecnologia PON pela norma IEEE 802.3ah em 2004. Foi baseada em Ethernet e é conhecida como Ethernet PON (EPON), mas também é referenciada como GePON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*)[18]. Têm uma maior prevalência no Japão e na Coreia do Sul[5][12].

Os dados são transportados em tramas Ethernet de comprimento variável com um endereço virtual, ou seja, em pacotes IP entre o OLT e os ONTs. O processamento das tramas Ethernet requer um controle de tempo preciso e sincronizado, que implica um custo mais elevado na implementação dos circuitos. Isso permite aos fornecedores de serviços EPON agrupar dados, vídeo e serviços de voz na mesma infraestrutura da rede EPON e oferecer grande qualidade na oferta desses serviços[11][17].

Na rede EPON, o OLT é um comutador Ethernet, onde as tramas Ethernet são enviadas no sentido DS em *broadcast* para todos os ONUs[25], como mostra a Figura 35. Cada ONU descodifica os pacotes destinados a ele e descarta os que são destinados aos outros. Isto é feito através do campo LLID (*Logical Link Identifier*), que é utilizado para identificar cada ONT.

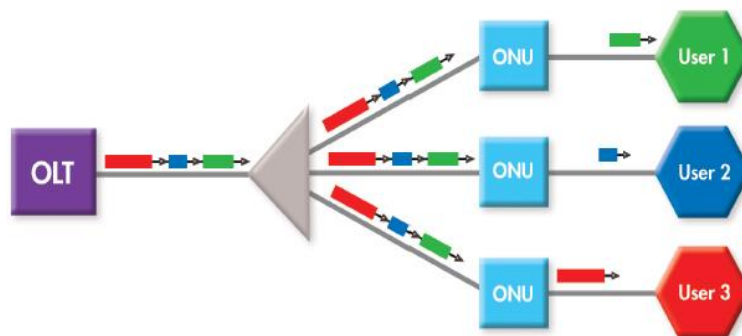


Figura 35 – DS em rede EPON[25]

No sentido US da Figura 36, para não haver colisões de duas tramas que cheguem simultaneamente ao OLT usa-se o protocolo MPCP (*MultiPoint Control Protocol*), este faz com que cada ONU transmite durante um intervalo de tempo que são atribuídos pelo OLT. Para manter o sincronismo na rede o protocolo MPCP baseia-se no esquema

TDMA. A atribuição da largura de banda em US é feita usando um algoritmo DBA[12][14][21][25].

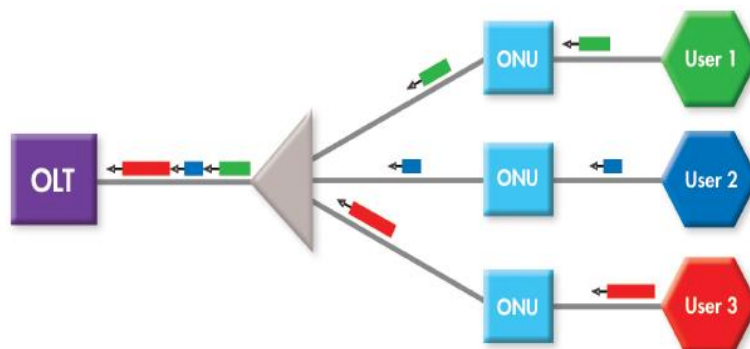


Figura 36 – US em rede EPON[25]

A transmissão de informação na rede EPON é feita no modo simétrico, com uma velocidade de 1,25 Gbps, com os comprimentos de onda para tráfego DS de 1480 até 1500 nm ($1490 \text{ nm} \pm 10$) e para tráfego US de 1260 até 1360nm ($1310 \text{ nm} \pm 50$)[35]. O alcance físico máximo entre OLT e o ONU é de 20 km. Pode-se utilizar o *splitter* de 1:16 ou 1:32[16][17]. A rede EPON usa o esquema de criptografia baseado em AES para manter a segurança na transmissão dos dados em sentido DS[17].

3.2.5. NOVA GERAÇÃO DAS REDES PON

As redes PON estão em constantes evoluções. As primeiras a serem estudadas foram a XGPON (também designada de XGPON1) e a 10G-EPON (*10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network*), iniciando-se em 2006 e normalizadas em 2009[34] pela FSAN pela IEEE 802.3av., respetivamente. Através da Figura 37, é possível verificar a evolução da rede GPON para a rede XGPON, com taxas de transmissão de 10 Gbps em DS e 2,5 Gbps em US[27][30]. Em 2010 surgiu a tecnologia XGPON2 (*10-Gigabit-capable Passive Optical Network 2*) que acabou por desaparecer do *standard* por ser uma rede muito simétrica à XGPON. Mais tarde, em 2016 foi normalizada a tecnologia XGS-PON (*10-Gigabit-Capable Symmetric Passive Optical Network*), que é uma tecnologia simétrica com taxas de transmissão de 10 Gbps em DS e US[31]. A longo prazo estão a ser estudadas a evolução destas redes para a NG-PON2 (*Next Generation Passive Optical Network 2*). O *standard* IEEE normalizou 10G-EPON que foi uma evolução da rede EPON com uma configuração assimétrica com 10 Gbps para DS e 1,25 Gbps para US, e uma configuração

simétrica com 10 Gbps para DS e US[30][33]. As evoluções destas serão designadas de NG-EPON (*Next Generation Ethernet Passive Optical Network*).

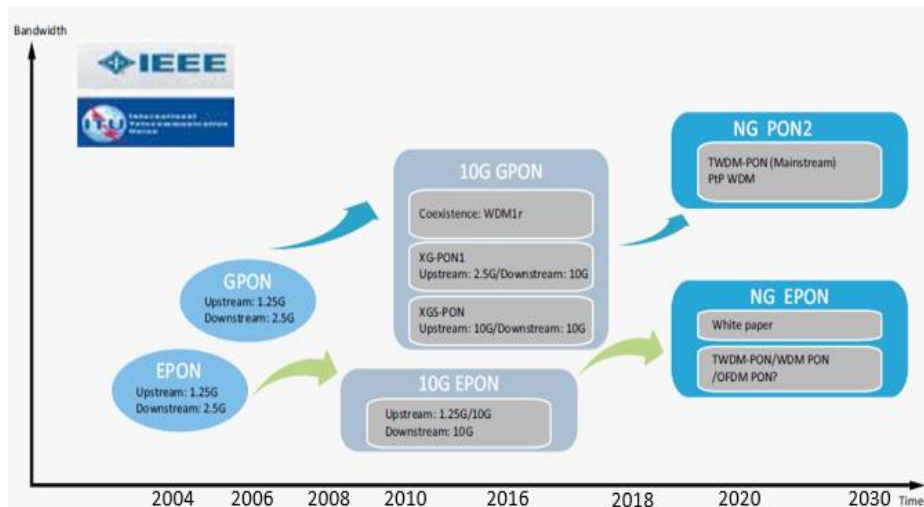


Figura 37 – Evolução das redes PON de nova geração[31]

Na dissertação será analisada as evoluções da rede GPON apresentada na Figura 38.

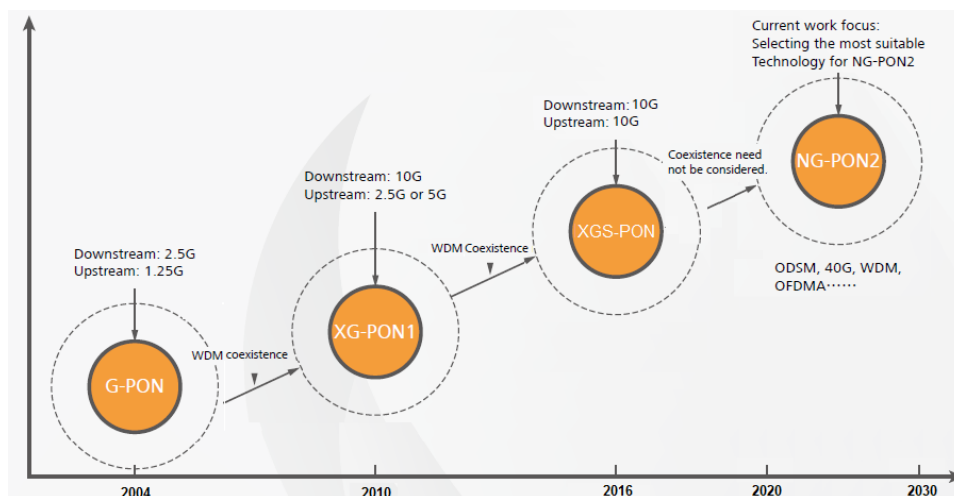


Figura 38 – Evolução da rede GPON[30]

Os débitos de transmissão para DS e US para as redes de NG-PON (*Next Generation Passive Optical Network*) apresentadas na Figura 38, estão resumidas na Tabela 7.

Tabela 7 – Débitos máximos permitidos nas redes NG-PON

	GPON	10G GPON		NG-PON2
		XGPON	XGS-PON	
US [Gbps]	1,25	2,5	10	40
DS [Gbps]	2,5	10		40/80

3.2.5.1. XG – PON

A XGPON é uma evolução para débitos superiores em DS em US, mas com comprimentos de onda diferentes que permitem as redes coexistirem na mesma ODN, como mostra a Figura 39. Ou seja, na mesma infraestrutura física de redes PON pode-se multiplexar no OLT os comprimentos de onda tanto da rede GPON como da rede XGPON, de forma a permitir que os clientes usufruem dos serviços das duas redes.

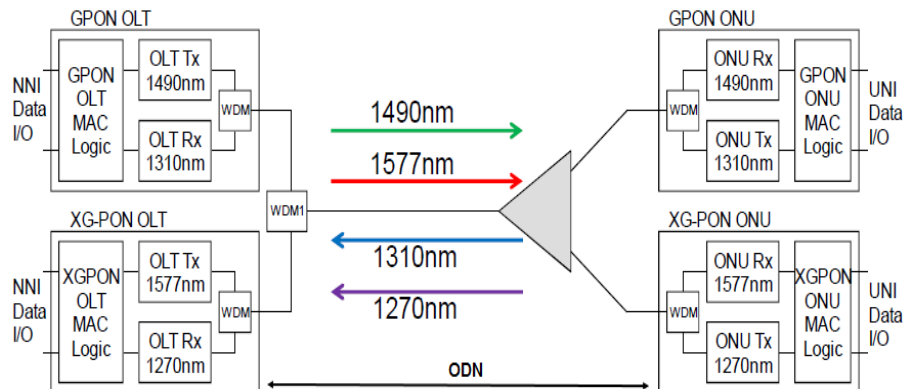


Figura 39 –Coexistência entre a rede GPON e a XGPON[34]

A partir da Figura 39 pode-se verificar que no CO são instalados 2 equipamentos ativos capazes de multiplexar os 4 comprimentos de onda, e ainda pode existir um quinto comprimento de onda utilizado em DS para vídeo RF[34].

Na prática a XGPON reutiliza as arquiteturas utilizadas na rede GPON como: FTTH, FTTB, FTTC e FTTCurb para fornecer débitos elevados aos clientes empresariais e residenciais. Ainda permite implementar duas novas arquiteturas para serviços ponto-a-ponto, que são a FTTCcell (*Fiber To The Cell site*) e a FTTO (*Fibre to the Office*)[30], como ilustra a Figura 40. A arquitetura FTTB é dividida em dois cenários: um que é ligada através da MDU (*Multi-dwelling units*) para clientes de serviços residenciais (POTS, VoD, IPTV, etc) e outro que é através da MTU (*Multi-tenant units*) para clientes de serviços empresariais (POTS, serviços de banda larga simétrica, linhas privadas). Para FTTCcell, o ONU será designado de CBU (*Cell-site Backhauling Unit*) que vai estabelecer a conectividade com a *cell-site* para serviços TDM simétrico e serviços de pacotes de banda larga com transmissão simétrico e assimétrico (3G/4G). A FTTO é uma arquitetura onde a ligação é feita através SBU (*Small Business Unit*), que fornece serviços para as microempresas[37].

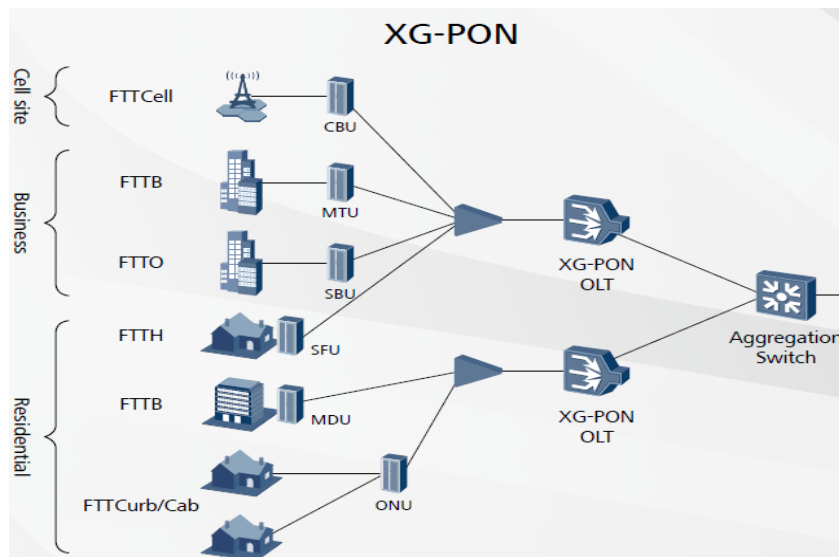


Figura 40 – Cenários de aplicação da rede XGPON[30]

Na rede XGPON também os dados também são enviados em *broadcast* do OLT para todos os ONTs através da técnica TDM, em sentido contrário é utilizada a técnica TDMA, que também é controlada pelo OLT com a utilização do algoritmo DBA. O rácio máximo aumenta para 128 utilizadores na rede, com distância máxima de 20 km[30][32].

3.2.5.2. XGS – PON

As redes de fibras óticas têm vindo a acompanhar as necessidades dos clientes residenciais e empresariais na transmissão de dados e de conteúdos de vídeo de alta qualidade, como a UHD TV ou 4K TV. E também na transmissão de conteúdos no sentido ascendente, para tal surgiu a rede XGS-PON que visa o aumento de transmissão em US para 10 Gbps.

A Rec. ITU-T G.987.1 normalizou a XGS-PON que coexista com as redes GPON e XGPON e ainda o vídeo RF[37], como mostra a Figura 41. O equipamento instalado no CO permite ainda a inserção de um quarto comprimento de onda em DS, designado de OTDR (*Optical Time-Domain Reflectometer*) que permite obter a informação do sinal na fibra em tempo real, como: as atenuações no cabo, nos *splitters*, anomalias na fibra, potência do sinal no recetor[36], etc. Na rede do cliente, os utilizadores poderão escolher qual a tecnologia que pretendem usufruir.

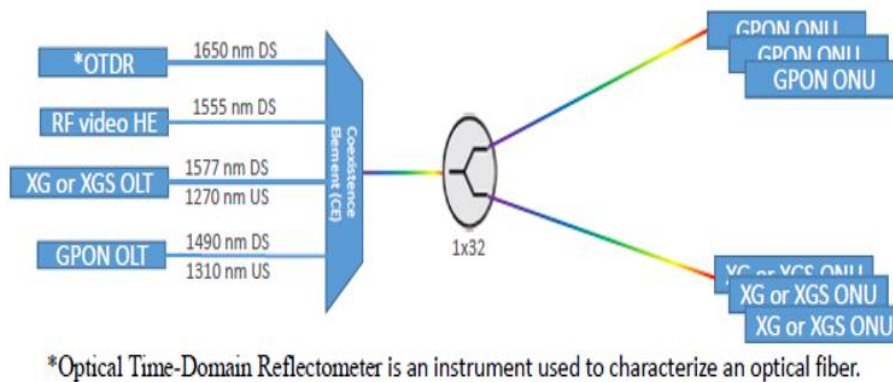


Figura 41 – Coexistência entre a rede GPON, XGPON e a XGS-PON [36]

A rede XGS-PON também reutiliza as arquiteturas existentes na rede de acesso da rede para transmitir os serviços na rede. Na Figura 42 está ilustrada a arquitetura da rede XGS-PON, que surge uma nova nomenclatura designada de FTTdp (*Fiber to the distribution point*). Neste caso o ONU é chamado de ponto de distribuição DPU (*Distribution Point Unit*) que suporta tecnologias xDSL[37].

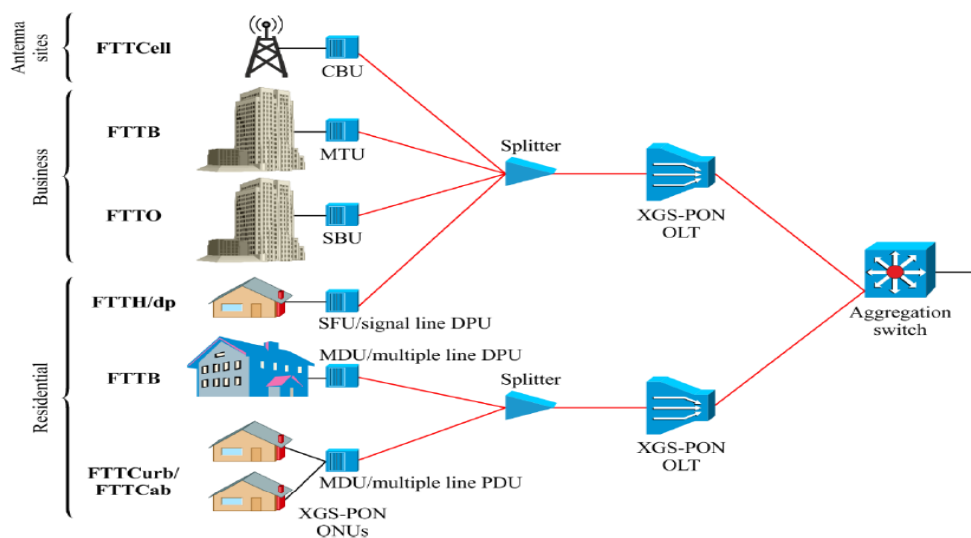


Figura 42 – Arquiteturas da rede XGS-PON[37]

3.2.5.3. NG – PON2

Inicialmente os objetivos estabelecidos pelo FSAN e pela norma ITU-T eram criar uma nova geração de redes PON com capacidade de pelos menos 40 Gbps para uma distância de 40 km e com divisão ótica para 64 ONTs, sem partilhar a ODN com as anteriores redes PON[34]. No entanto, tendo em conta os investimentos até então nas tecnologias instaladas, a FSAN entendeu que o requisito principal seria a compatibilidade com as ODNs instaladas, isto é, a NG-PON2 deve ser capaz de operar sobre a mesma

infraestrutura de rede PON, previamente definida pela GPON e XGPON[40]. Isso facilita a migração progressiva de assinantes existentes à medida que surgem novas redes e adição de novos clientes para a NG-PON, sem interromper os serviços para os clientes das redes anteriores.

A NGPON-2 foi normalizada pelo ITU-T em 2013[38] para as futuras aplicações de acesso ótica, que utiliza a técnica de multiplexagem por divisão no tempo e por multiplexação de comprimento de onda designada de TWDM-PON (*Time and Wavelength-Division Multiplexed Passive Optical Network*)[39]. É possível adicionar uma outra técnica de transmissão de dados, a PtP WDM (*Point-to-Point Wavelength Division Multiplexing*)[40], como ilustra Figura 43. A rede permite utilizar um comprimento de onda por cliente.

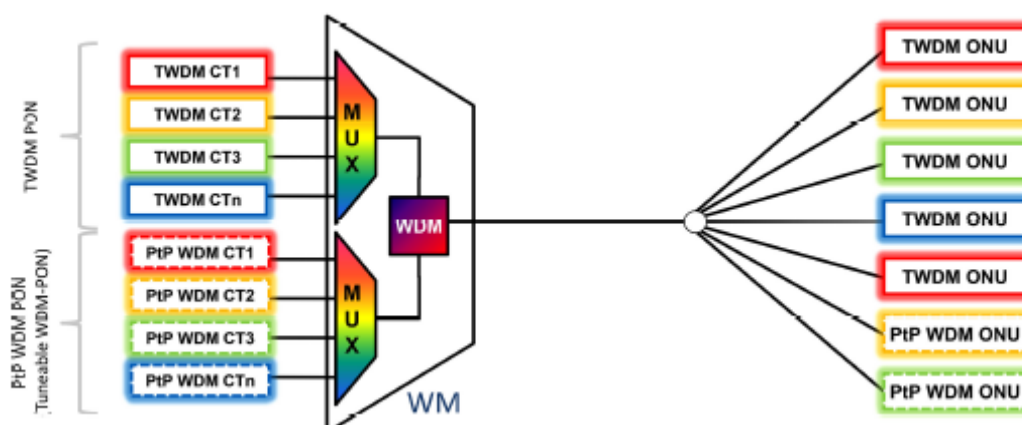


Figura 43 – Técnica TWDM na rede NG-PON2[40]

Através da Figura 43, pode observar que na NG-PON2 é possível utilizar entre 4 a 8 comprimentos de onda diferentes para DS e US[35]. A técnica TWDM utiliza 4 comprimentos de onda em DS com 10 Gbps cada e 4 comprimentos de onda para US com 2,5 Gbps cada, isto é, inicialmente consegue-se pôr 40 Gbps em sentido descendente e 10 Gbps em sentido ascendente[40]. O débito em DS pode crescer até os 80 Gbps caso for utilizado os 8 comprimentos de onda.

A Figura 44 mostra a coexistência da rede NG-PON2 com as outras redes mencionadas, na mesma ODN.

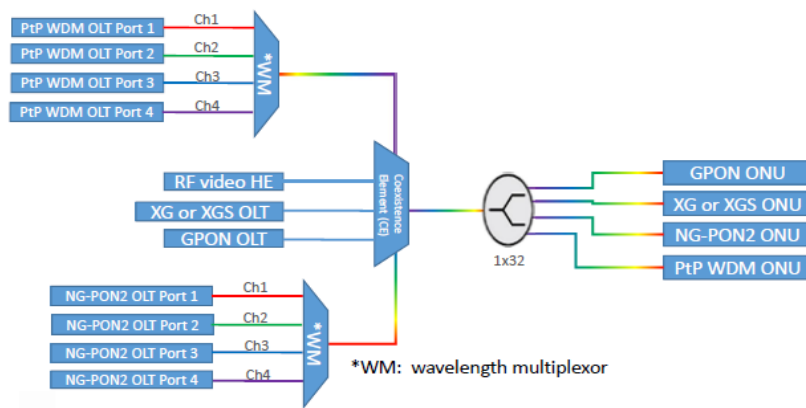


Figura 44 – Coexistência com a rede XGS-PON[36]

Na Figura 45 está apresentada a alocação da banda óptica para DS e US para as redes de NGPON.

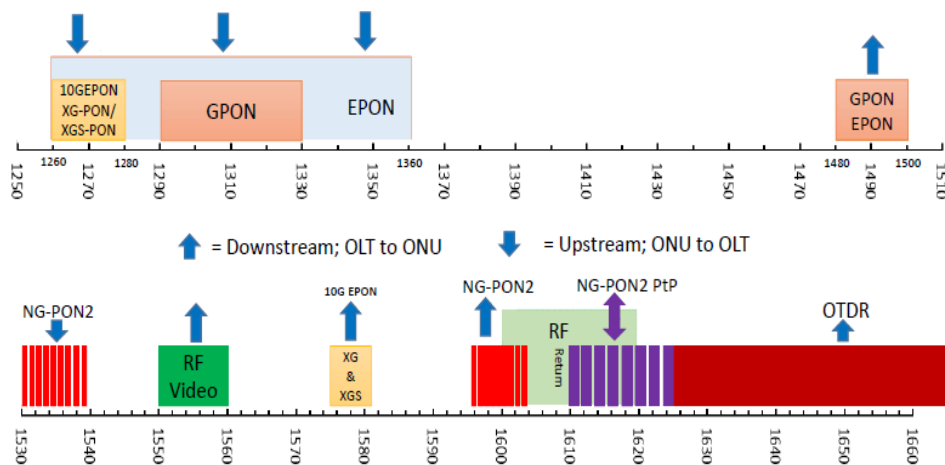


Figura 45 – Alocação dos comprimentos de onda para DS e US na rede NG-PON2[36]

Na Tabela 8 estão apresentadas as principais características das NGPON ou NGPON2.

Tabela 8 – Principais características das NGPON[35]

	GPON	XGPON	XGS-PON	NG-PON2
Norma	ITU-T G.984	ITU-T G.987	ITU-T G.987.1	ITU-T G.989
Débitos [Gbps]	1,25/2,5	2,5/10	10/10	40/40
λ em DS [nm]	1480 -1500	1575 - 1580	1575 - 1580	1596 - 1603
λ em US [nm]	1290 - 1330	1260 - 1280	1260 - 1280	1530 - 1540
Split Ratio	1:64	1:128	1:128	1:256
Distância [km]	20	40	60	60

3.2.6. TÉCNICAS DE MULTIPLEXAGEM NAS REDES PON

Na Figura 20 foram apresentadas as seguintes técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda nas redes PON: TDM-PON, WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network*), DWDM-PON (*Dense Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network*), CWDM-PON (*Coarse Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network*), TWDM-PON e OFDM-PON (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Passive Optical Network*). A técnica dominante na rede de acesso é a TDM-PON, que é utilizada nas redes PON para transportar tráfego aos clientes residenciais e empresariais, as restantes têm surgido com o avanço das tecnologias para transportar altas taxas de transmissão na fibra ótica.

3.2.6.1. TDM – PON

As redes que utilizam a técnica TDM-PON, multiplexam as informações de DS e US no tempo em vários *time slots*, ou seja, o sinal que é transportado na fibra será dividido em várias tramas e multitramas. Como mencionado anteriormente, N usuários compartilham o único canal de informação em DS e US. Sendo assim, permite a rede fornecer uma solução económica, pois é utilizado no OLT um único transmissor e recetor de comprimentos de onda[15]. Como consequência permite um número limitado de ONTs, devido as atenuações impostas pelos divisores óticos e a taxa de transmissão de bits dos transmissores entre o OLT e os ONTs[49]. Para tornar a técnica TDM-PON ainda mais rentável e prático na implementação, foram definidos algoritmos de controlo de tramas e largura de banda, TDMA e o DBA, respetivamente.

3.2.6.2. WDM – PON

A técnica WDM-PON suporta vários comprimentos de onda e pode ser utilizada como uma rede ponto-a-ponto, um comprimento de onda por cliente. Ou utilizada como uma rede ponto-multiponto com várias operadoras a utilizarem a mesma rede de fibra, um comprimento de onda por operadora[12]. São multiplexados vários comprimentos de onda no OLT e a cada ONT é lhe dedicado um comprimento de onda com débitos muito elevados. Em DS os comprimentos de onda são reencaminhados para os respetivos ONTs através de um combinador passivo designado de AWG (*Arrayed Waveguide*

Grating). Nesta técnica, as transmissões de DS e US ocorrem em janelas de transmissões diferentes[49], o que torna a implementação deste tipo de redes mais complexa em relação à anterior, visto que os comprimentos de onda dos ONTs são diferentes uns dos outros. Ou seja, no OLT serão reservados um comprimento de onda para cada ONT, sendo uma desvantagem em relação a técnica TDM-PON[12][50]. A Figura 46 apresenta a técnica WDM-PON.

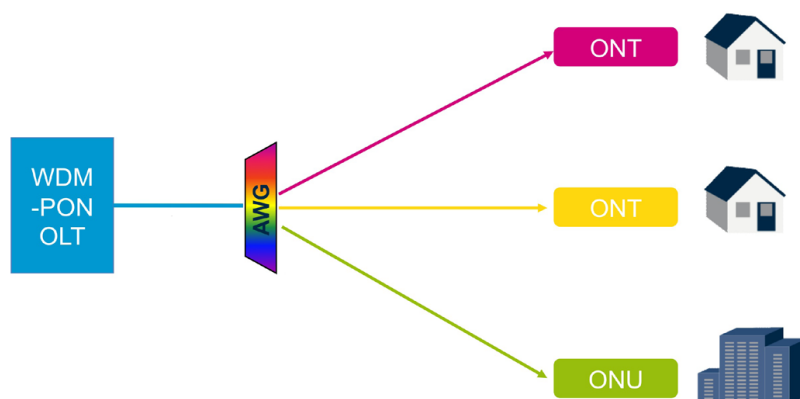


Figura 46 – Técnica de multiplexagem WDM-PON[50]

As redes WDM-PON subdividem-se em DWDM-PON e CWDM-PON[12].

3.2.6.3. DWDM – PON

A multiplexagem DWDM-PON é uma tecnologia de multiplexação por divisão de comprimentos de onda WDM alta densidade, caracterizada por espaçamento de canais de 50, 100 ou 200 GHz[4][51]. Suporta até 80 canais óticos (teoricamente poderá suportar mais). Por exemplo, para se ter uma rede com 800 Gbps de débito binário, um sistema DWDM poderá suportar 80 comprimentos de onda, cada um a transmitir 10 Gbps.

No OLT os multiplexers agregam vários canais óticos, cada um operando no seu comprimento de onda, enquanto na rede do cliente os desmultiplexers efetuam a operação inversa, separando os canais de acordo com o comprimento de onda, como mostra a Figura 47.

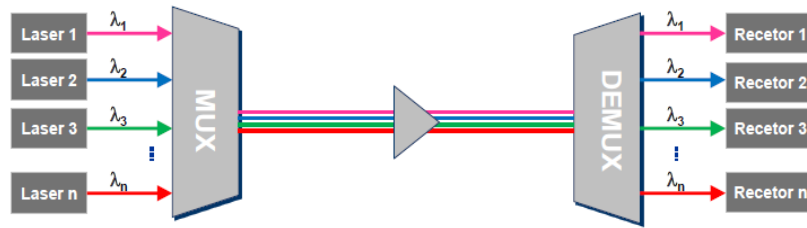


Figura 47 – Técnica de multiplexagem DWDM[4]

São utilizados diversos equipamentos passivos na rede de transmissão de fibra ótica ou rede de acesso, como: os EDFAs, DCF (*Dispersion Compensation Fiber*), laser *Fabry-Perot*, dispositivos multiplexadores/demultiplexadores baseados em prisma, grelhas de *Bragg*, AWG ou grelhas difratoras, *circulators*, multiplexagem multi-andar e multiplexagem por interposição[4][52][53][54]. Estes tornam esta técnica bastante dispendiosa e complexa, a grande vantagem está na quantidade de informação transmitida na rede.

A Figura 48 mostra um esquema DWDM-PON. O OLT contém um *multiplexer* AWG que agrega vários comprimentos de onda de 10 Gbps de DS, um demultiplexador AWG de comprimentos de onda de US e um *optical circulator* que separa os mesmos. A ODN é composta por uma fibra monomodo (SSMF) de 30 km e um nó remota designada de RN (*Remote Node*). Neste encontra-se o demultiplexador AWG e um *circulator* que separa os comprimentos de onda na rede do cliente. No ONT encontra-se instalado um diodo laser designado de TLD (*Tunable Wavelength Laser Diode*) que emite os comprimentos de onda em US de 10 Gbps e um modulador MZM (*Mach-Zehnder Modulator*) que é usado para controlar a amplitude dos comprimentos de onda do laser[55]. Este esquema, para além de aumentar a quantidade de informação na ODN, aumenta também a distância de transmissão entre o CO e o ONT.

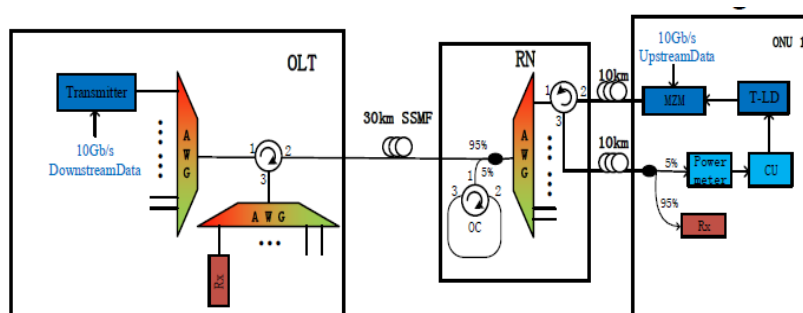


Figura 48 – Esquema de arquitetura DWDM-PON[55]

Através das 3 técnicas mencionadas: TDM-PON, WDM-PON e DWDM-PON, é possível coexistir as redes PON na mesma ODN, possibilitando aos clientes diferentes débitos de transmissão[56], como mostra a Figura 49. Pode-se verificar que no OLT são multiplexados através da técnica WDM os comprimentos de onda das redes GPON, XG-PON, RF vídeo e DWDM-PON. Nesta última são utilizados 100 comprimentos de DS e US, e a cada ONT é lhe dedicado dois comprimentos de onda, respetivamente. Esta coexistência aumenta a área de cobertura na rede de acesso, ou seja, a rede permite ligar maior número de ONTs.

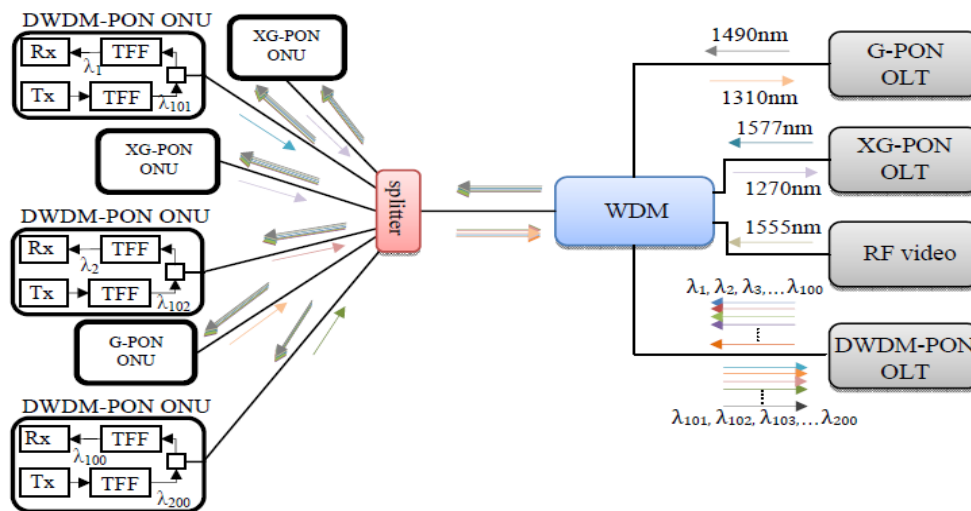


Figura 49 – Coexistência da Técnica DWDM com as redes PON[56]

3.2.6.4. CWDM – PON

A CWDM-PON é a técnica de multiplexagem de baixa densidade em termos de comprimentos de onda, que é usada como soluções de baixo custo. Isto é, devido aos lasers emissores de comprimentos de onda que usa circuitos menos complexo em comparação com a técnica DWDM. A informação é agrupada em 18 canais óticos distanciados de 20 nm[12][57][58], por exemplo, para transmitir 180 Gbps na ODN, a técnica CWDM-PON, multiplexa 18 comprimentos de onda de 10 Gbps cada.

As técnicas DWDM-PON e a CWDM-PON utilizam os mesmos princípios de multiplexagem de comprimentos de onda, com o intuito de aumentar a capacidade na rede. A DWDM-PON consegue-se maiores alcances, com uso das tecnologias bastante complexa pelo facto de requer lasers e filtros bastantes precisos, o que implica a rede ser mais dispendiosa[11][12]. A Figura 50 mostra um sistema CWDM que consiste num

terminal óptico OLT que multiplexa 4 comprimentos de onda através da AWG. Os débitos por comprimentos de onda em DS, estão compreendidos entre 1,25/2,5 Gbps, que proporciona um máximo de 10 Gbps[59]. Na rede do cliente é instalado o desmultiplexador AWG que separa os comprimentos de onda para cada ONT.

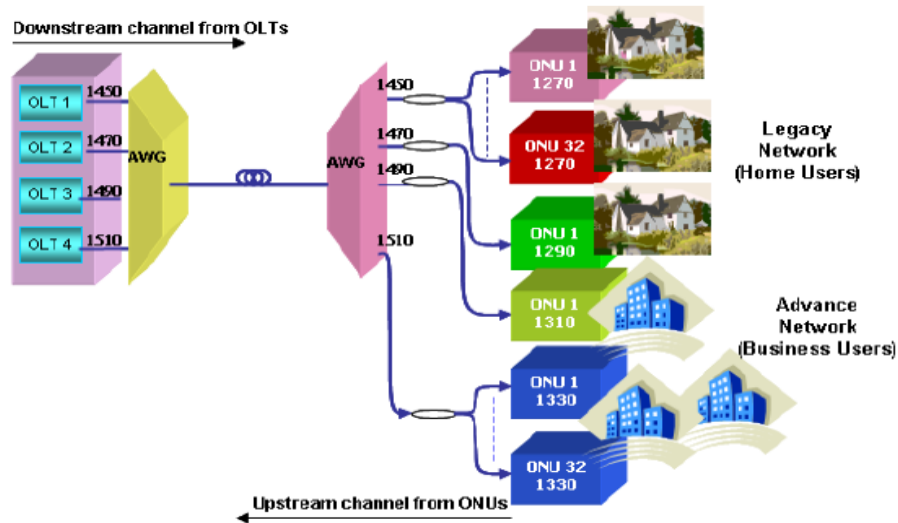


Figura 50 – Técnica de multiplexagem CWDM[59]

3.2.6.5. TWDM – PON

A técnica TWDM-PON consiste na união da técnica WDM-PON com a TDM-PON, ou seja, os comprimentos de onda são multiplexados através da WDM, em que cada um destes é partilhado entre vários ONTs através técnica TDM-PON de múltiplo acesso[38]. Através da Figura 51 é possível verificar que no OLT são multiplexados os comprimentos de onda de 10 Gbps, no RN estes são desmultiplexados e *splittadas* para ligar vários ONTs. Em US o laser emite comprimentos de ondas de 2,5 Gbps, as informações são combinadas nos *splitters* e encaminhadas para o OLT através da WDM-PON.

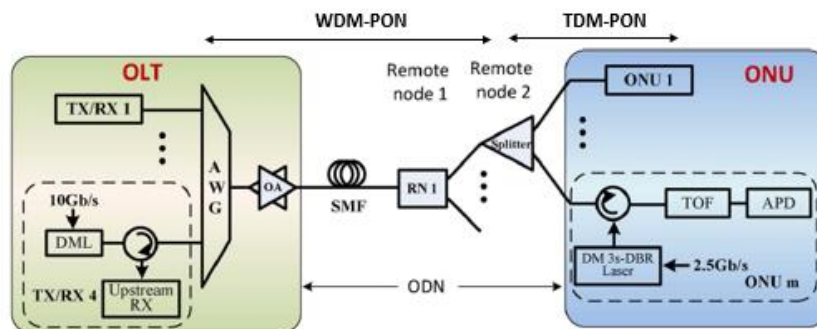


Figura 51 – Técnica de multiplexagem TWDM-PON[60]

O primeiro protótipo do sistema TWDM-PON de 40 Gbps foi testado em setembro de 2011 pela China Telecom e Huawei[41], que está apresentado na Figura 52. Isto é, foi utilizado 4 comprimentos de onda de 10 Gbps e 2,5 Gbps, em DS e US, respetivamente[60]. Esta técnica para além de utilizar os conceitos de multiplexagem das técnicas anteriores, permite a coexistência de outras redes na mesma ODN e permite também aumentar o rácio para 1:512.

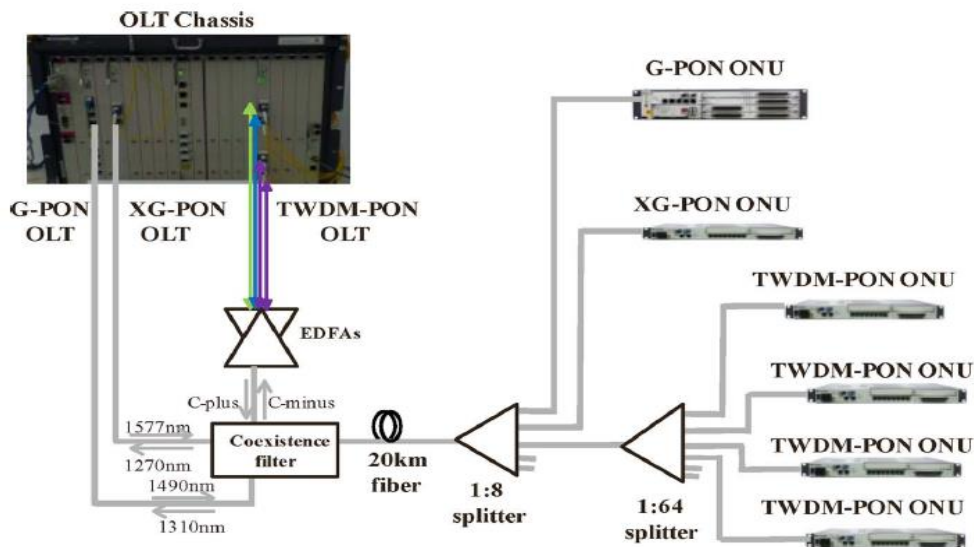


Figura 52 – Protótipo de sistema TWDM de 40 Gbps e a coexistência com a rede GPON e a XGPON[41]

3.2.6.6. OFDM – PON

A técnica de multiplexagem OFDM-PON é considerada por alguns pesquisadores com sendo a técnica acolhida para rede NG-PON3, devido às suas vantagens inerentes e únicas, tais como: transmissão económica, alta eficiência espectral e granularidade de largura de banda flexível[61]. Usa o método de acesso múltiplo, que é a combinação de OFDM e TDM-PON[62].

A OFDM-PON será capaz de suportar débitos de transmissão simétrico, ou seja, com 40 Gbps em DS e US. Para tal, encontra-se apresentada na Figura 53 o esquema de multiplexagem da mesma[63]. Através desta é possível verificar no OLT, que o laser através do modulador MZM produz sinal ótico designado de OCS (*Optical Carrier Signal*), este é transformado em múltiplas subportadoras devido aos moduladores MOD (*Modulator*) existentes no gerador de sinal OFDM. Estas subportadoras são amplificadas

e multiplexadas na fibra ótica SMF. Na rede do cliente, cada ONT é lida por uma subportadora dedicada. Este equipamento é composto por PDs (*PIN photodiodes*) e detector do sinal OFDM que descodifica as subportadoras, e também por um laser que emite o sinal de US. Os sinais de DS e US são separados no OLT e no ONT através dos *circulators*[63].

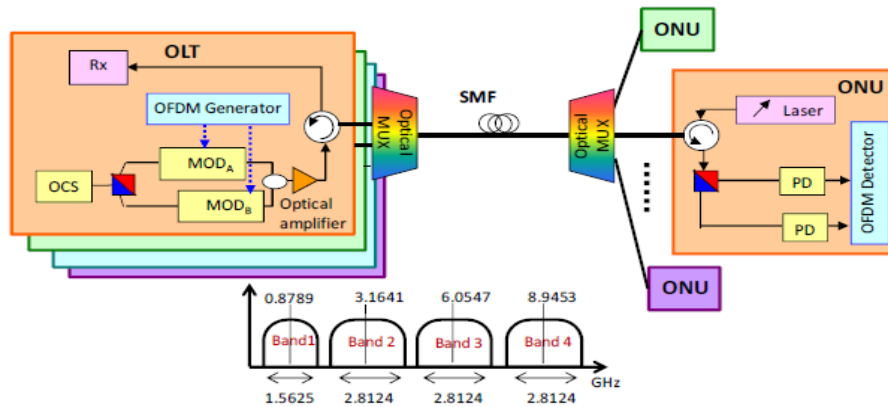


Figura 53 – Técnica de multiplexagem OFDM-PON[63]

No gerador OFDM para gerar débitos de transmissão de 40 Gbps foi necessário utilizar, na experiência no laboratório um sinal OFDM de 4 bandas geradas por um gerador de comprimento de onda. A banda 1 é composta por 40 subportadoras, com uma largura de banda de 1,5625 GHz para produzir uma taxa de transmissão de 6,25 Gbps, conforme mostra a Figura 53. A banda 2, 3 e 4 convertidas em frequência de 3,1641 GHz, 6,0547 GHz e 8,9453 GHz, respetivamente, usam a modulação I-Q (*In-phase and Quadrature*). Estas foram divididas em 72 subportadoras, com larguras de banda de 2,8124 GHz para produzirem uma taxa de transmissão de 11,2496 Gbps. O somatório dos débitos oferecidos nas 4 bandas mencionadas, dão um total de 39,9988 Gbps ($\cong 40$ Gbps) em DS. Para ter o mesmo débito de transmissão em US, deverá ser instalado o mesmo esquema em sentido ascendente[63].

4. FASES DO DIMENSIONAMENTO DA REDE GPON

O presente projeto refere-se a uma rede de fibra ótica FTTH GPON, dimensionada para ser explorada por duas operadoras em simultâneo (OP1/OP2), ou seja, elas firmaram um acordo de partilha dos cabos de fibra ótica. Assim o SP projeta a rede considerando-se uma taxa de penetração da rede final para 100% (50% para OP1 e 50% para OP2). Caso fosse uma operadora, a taxa de penetração seria entre 70 a 80%, isto porque as operadoras existentes em Portugal têm a noção que seria um desperdício de fibra ótica se cada operadora projetasse a sua rede para uma taxa de penetração para 100%.

Para construir a rede GPON numa determinada zona de uma cidade, com o objetivo de disponibilizar serviços de telecomunicações baseados na rede FTTH, a operadora define a área que pretende cobrir e solicita ao SP para efetuar o dimensionamento da mesma. Para tal, são fornecidos dois ficheiros distintos: o primeiro é um ficheiro KMZ (mapa do

local) com o polígono a indicar a área que se pretende dar cobertura que está representada pela cor vermelha, como mostra a Figura 54, enquanto a área representada pela cor azul é considerada uma zona de futura expansão. O segundo é um ficheiro *AutoCad*, apresentado na Figura 55, com cartografia georreferenciada do primeiro ficheiro. Ou seja, este para além de ter o cadastro da zona que se pretende fazer a cobertura, também deverá conter informações de todas as infraestruturas de telecomunicações existentes naquela zona (condutas, postes, tubos de subida metálicos, caixas de visita permanente, etc) de possível interesse para a fase inicial do projeto.



Figura 54 – Área de interesse ou Macrocélula



Figura 55 – Cartografia georreferenciada

As condutas (estruturas enterradas no subsolo onde passam os cabos de telecomunicações), estão representadas na Figura 55 por linhas de cor verde e

vermelha. As de cor verde significa que há espaços para passar novos cabos enquanto as de cor vermelha querem dizer que já não existem espaços para passarem mais cabos. A operadora responsável pelas condutas, fornece o cadastro das mesmas às outras operadoras que tem interesse na construção de rede FTTH. As entidades responsáveis pelos levantamentos dessas informações são o ORAC (Oferta de Referência de Acesso a Condutas) e o ORAP (Oferta de Referência de Acesso a Postes), que são geridas pela ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações). Isto é, na prática estas entidades constituem equipas de levantamentos do cadastro das condutas no terreno, que posteriormente são fornecidos pela ANACOM às operadoras.

Na Figura 56 estão especificadas de uma forma mais detalhada, informações das infraestruturas existentes na cartografia da Figura 55.



Figura 56 – Infraestruturas existentes na cartografia

O projeto FTTH será desenvolvido faseadamente, sendo que algumas fases devem ser aprovadas/validadas pela operadora. Para tal, o SP subdivide-o em 7 fases: a primeira fase consiste no *survey*, a segunda na definição das células ou Celulização, a terceira no processo de Microcelulização e elaboração de projeto, a quarta na construção da rede, a quinta nos ensaios da mesma, a sexta na entrega do projeto, enquanto a última, a sétima é da responsabilidade da operadora, a qual é responsável pela comercialização e marketing. Na Figura 57 encontra-se o fluxograma, com as fases para a realização de um projeto FTTH definidas pelo SP e as fases que são validadas pela operadora. Nos subcapítulos seguintes, estas serão explicadas de forma mais aprofundada. É de realçar que as fases do projeto, são linhas de orientações de como é que a operadora pretende que a sua rede seja projetada.

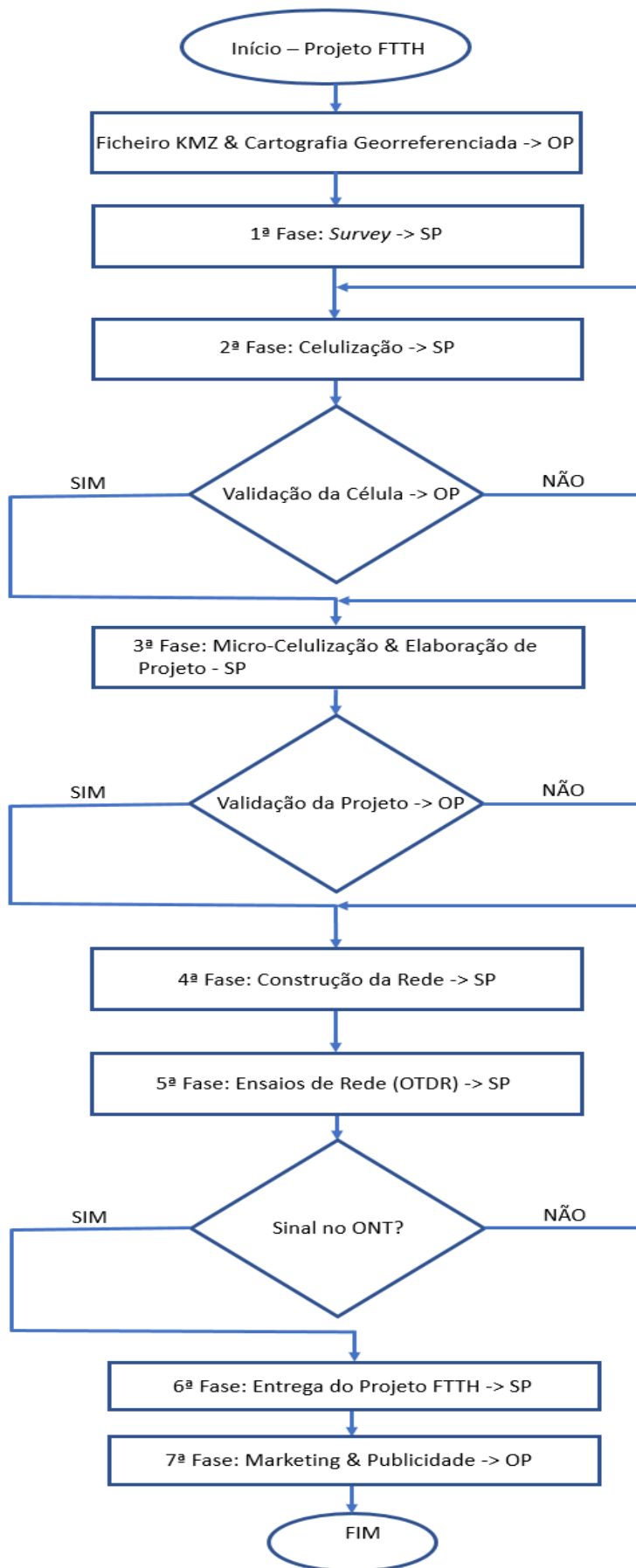


Figura 57 – Fluxograma das fases do projeto FTTH

4.1. FASE 1: *SURVEY*

O objetivo da primeira fase do projeto consiste no levantamento da área de interesse que também se designa de Macro célula. Ou seja, é a obtenção de um conjunto de dados fundamentais, que permitam detalhar e conhecer profundamente a zona indicada, de modo a facilitar a execução do projeto de rede FTTH e sua instalação. Isto é, na prática o SP envia elementos de equipa para a zona de interesse da operadora de forma a recolher informações que são relevantes para construir a rede.

Existem 3 tipos de *surveys*: *survey* interior, *survey* exterior e *survey* em edifícios especiais. O *survey* interior caracteriza-se por todos os edifícios que são alimentados por PDO (Ponto de Distribuição Ótica) de interior, como ilustrado na Figura 58. A entrada do edifício está equipada com uma caixa para receber infraestruturas de telecomunicações, os chamados RGE (Repartidor Geral dos Edifícios) e no interior deste é instalado o PDO de interior. Há edifícios onde o PDO é instalado fora do RGE, como é possível verificar na Figura 58 do lado esquerdo e edifícios onde são instalados dentro do RGE, figura do lado direito. Nesta última, os PDOs encontram-se protegidos pelo facto do RGE ser um bloco com tampa e chave para impedir o acesso de estranhos.

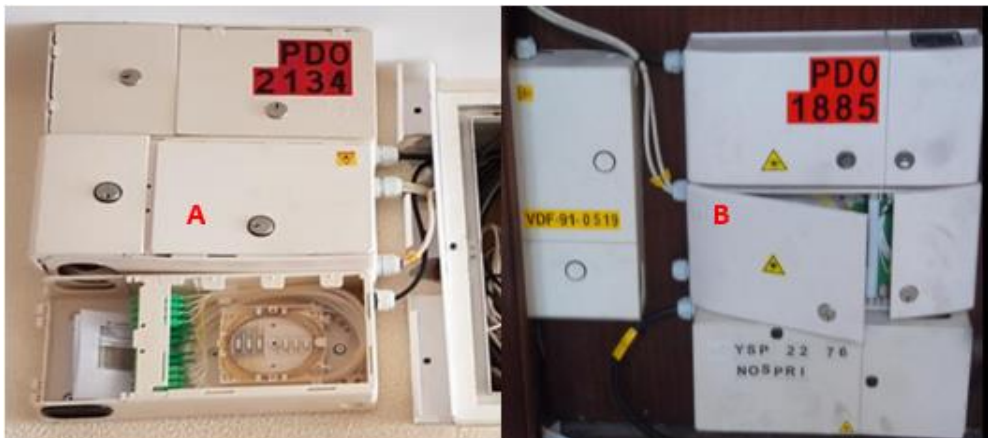


Figura 58 – PDOs de interior[43]

Este último tipo de equipamento encontra-se em edifícios ITED (Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios) ou em edifícios RITA (Regulamento de Instalações Telefónicas de Assinante). São recolhidas informações da tipologia dos edifícios que caracterizam os mesmos, como: o endereço postal, números de UAs (Unidade de alojamento) ou HP (*House Planned*), pisos, fração, tipo de alimentação do edifício,

fotografia da fachada, se aquele edifício já tem outra operadora instalada ou não, etc. Na Figura 59 está apresentada um exemplo de um *survey* interior, em que o técnico ao chegar ao edifício irá introduzir todo o tipo de informações que foram mencionadas acima na plataforma criada pelo SP. Estas informações, posteriormente serão descarregadas para a base de dados do mesmo.

Tipologia do Edifício									
Pisos	0	a	3	Fracção	esquerdo	Nº HPs	4	Tipo de HP's	Residencial
Morada	Avenida		-	General		-	Gomes da Costa		Nº 3
Pisos	0	a	3	Fracção	direito	Nº HPs	4	Tipo de HP's	Residencial
Morada	Avenida		-	General		-	Gomes da Costa		Nº 3
Pisos	0	a	0	Fracção	Loja 1	Nº HPs	1	Tipo de HP's	Comércio
Morada	Rua		-	Capitão		-	Salgueiro Maia		Nº 1
Foto	1x01ce101ed10001.jpg								

Figura 59 – Survey interior[43]

O *survey* exterior caracteriza-se por todas as infraestruturas de telecomunicações existentes no exterior dos edifícios, ou seja, os cabos existentes nas fachadas, nos postes e todos edifícios que são alimentados por PDOs de fachada, de poste, ou de CVP (Câmara de Visita Permanente). Aplica-se tipicamente a edifícios não ITED, onde também são recolhidas as mesmas informações mencionadas no *survey* interior. A Figura 60 apresenta o exemplo do *survey* exterior com os PDOs de fachada, Poste e CVP. As CVPs são caixas de telecomunicações existentes entre as condutas para a passagem de cabos, onde também podem ser instalados os equipamentos.



Figura 60 – PDOs de Fachada, Poste e CVP[43]

O *survey* em edifícios especiais, caracteriza-se exclusivamente por edifícios empresariais que se dividem em quatro classificações distintas: edifício comercial (centros

comerciais), edifício industrial (fábrica, oficina, etc), edifício monoempresa (BTS (*Base Transceiver Station*), multibancos, faculdades, etc) e multiempresas. Para os edifícios especiais são projetadas fibras dedicadas ponto-a-ponto.

Durante o *survey*, para além das caracterizações dos edifícios mencionadas, é importante fazer o levantamento do estado de cada um dos edifícios e o tipo de alimentação dos mesmos. O técnico ao chegar a um edifício irá analisar o estado do edifício, que será classificada com carimbos de cores diferentes num ficheiro *AutoCad*. Isto é, os edifícios com constrangimentos ou edifícios devolutos apresentarão a cor vermelha no carimbo, ou seja, são edifícios envelhecidos que em qualquer instante pode ser demolido. Na prática não é aconselhável passar cabos em fachada ou instalar PDOs nesses edifícios. Os sem constrangimentos e sem instalação de fibra ótica por parte de outras operadoras, deverão apresentar a cor verde nos carimbos, enquanto os edifícios que já se encontram instalados fibra ótica de outras operadoras apresentarão a cor laranja nos carimbos. Estes estão apresentados na Figura 61, em que são constituídos por 6 campos para o preenchimento das informações dos *surveys*.

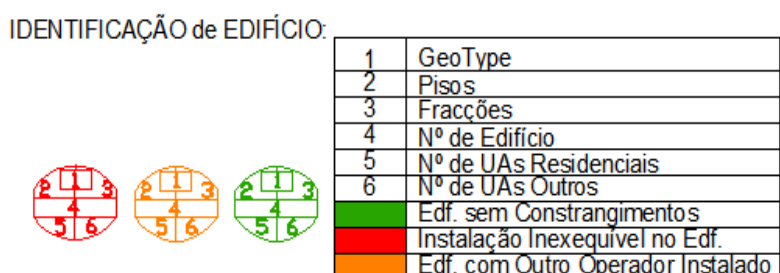


Figura 61 – Apresentação de dados em AutoCad[43]

O campo 1 é designado de *Geo Type*, que é a relação entre o número de UAs ou HPs existentes na área de cobertura sobre o número de edifícios. Normalmente a seguir ao *survey* é de interesse da operadora saber o *Geo Type* existente naquela área. Por exemplo, se uma célula tiver 1000 UAs e 100 edifícios, a operadora calcula que cada edifício tem em média 10 UAs. Quanto menor for o *Geo Type*, maior será o número de edifícios na célula, menor será o número de UAs por edifícios. O campo 2 refere-se ao número de pisos, ou seja, o número de frações verticais que formam o edifício. Um edifício com cave e 5º piso como andar terminal, significa que possui um total de 7 pisos. O campo 3 contém informações da distribuição de UAs assentes na mesma fração vertical ou piso. Por exemplo, um edifício com 3 UAs no mesmo piso, tem as frações

normalmente designadas de Esquerdo, Frente e Direito. O campo 4, é o ID do edifício, ou seja, é o identificador único do edifício naquela zona. O campo 5 e 6, são os campos mais importantes para o projeto FTTH, pois definem o número de fibras ativas necessárias no cabo para aquele edifício. O campo 5 indica o número de UAs residenciais (apartamentos ou moradas) que constitui o edifício, enquanto o campo 6 é referente às UAs comerciais no mesmo. Na Figura 62, encontra-se um edifício representado pelo carimbo laranja, com 7 pisos e um total de 18 UAs (16 UAs residenciais e 2 UAs comerciais).

Attributes	
UASC	2
UAS	16
Nº	1
EDN	11200009
PISOS	7
FRACÇÕES	5
MORADA	Estrada dos Arneiros
NPOL	44
ALIM	RF
ZONA	0
OBS	0
JSO	0
PDO	0
CP7	1500-052 LISBOA




Figura 62 – Informações do edifício

As distribuições das 5 frações apresentadas no campo 3 na Figura 62, encontram-se especificadas na Figura 63 no retângulo vermelho. Ou seja, no piso 0 estão 2 UAs com frações designadas de Esquerdo e Direito, do piso 1 até ao piso 5, as 3 UAs em cada piso encontram-se distribuídas em frações designadas de Esquerdo, Frente e Direito. No último piso, o 6º, encontra-se apenas um apartamento. Na parte superior da Figura 63, encontra-se outras informações referentes ao edifício, como: o nome da rua, número do edifício, número de identificação do edifício, número total de UAs e tipo de alimentação do mesmo, RF, que significa Rita-Fachada. Ou seja, indica a forma como o cabo de fibra ótica chega ao edifício.

Attributes	
RUA	Estrada dos Arneiros
NUM	44
IDBUILDING	11200009
ID	1
NºCASAS	18
ALIM	RF
RVP	RVP
XX1	0
UA1	2
DISTRIBUIÇÃO1	01-Esq/Dir
XX2	1/5
UA2	3
DISTRIBUIÇÃO2	01-Esq/Frt/Dir
XX3	6
UA3	1
DISTRIBUIÇÃO3	01-Apt

Figura 63 – Distribuição das frações

O técnico faz o levantamento do tipo de alimentação de cada edifício, pois os cabos de fibra ótica são projetados no ficheiro *AutoCad*, em função do mesmo. Isto é, de acordo com infraestrutura de telecomunicações existente na prática, são projetados novos cabos fibra ótica e os equipamentos da rede FTTH. Existem 4 tipos de alimentação dos edifícios: por CVP, Rita-Fachada, fachada e por poste. A alimentação por CVP na prática acontece nas zonas contruídas recentemente, normalmente nos edifícios ITED e nas zonas constituídas por vivendas. Por exemplo, nestas últimas são instalados os PDOs de CVP para alimentar as mesmas, em que cada vivenda é alimentada por uma fibra no cabo proveniente do CO. Enquanto os edifícios ITED ou RITA são alimentados por cabos que vêm em condutas entre os CVPs até ao RGE, como mostra a Figura 64. O edifício é composto por 8 UAs, na coluna montante existem condutas para a passagem de cabo até aos *floorboxes*, que acomodam os ONTs distribuídos no edifício.

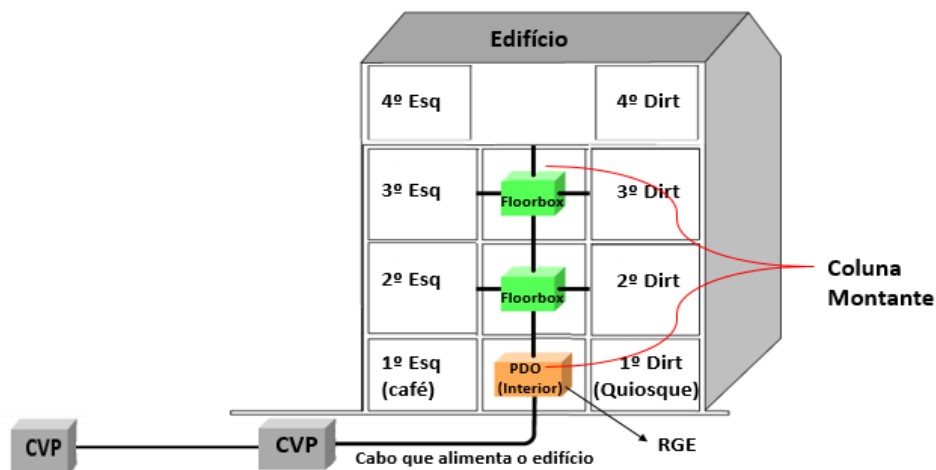


Figura 64 – Edifício RITA alimentado por CVP

Na construção dos edifícios em cada piso são reservados espaços para as instalações das *floorboxes*, conforme mostra a Figura 65.



Figura 65 – Floorbox[43]

Os edifícios cuja a alimentação é designada de Rita-Fachada, são edifícios Rita ou ITED em que os cabos percorrem as fachadas e seguem para dentro dos edifícios até ao RGE. Os cabos são transportados do CO em condutas e através do tubo de subida metálico da Figura 66, percorrem as fachadas.



Figura 66 – Tubo de subida metálico[43]

A Figura 67 mostra na figura do lado esquerdo um edifício em que a alimentação é Rita-Fachada, onde é possível ver os cabos a percorrerem a fachada e seguirem para dentro do edifício, enquanto na figura do lado direito está apresentado um edifício em que a alimentação é por Fachada. Ou seja, os edifícios que são alimentadas por PDOs de fachada.



Figura 67 – Alimentação Rita-Fachada e por fachada[43]

Por fim, os edifícios em que a alimentação é por Poste, normalmente acontece nas zonas rurais em que não existem condutas e as casas encontram-se afastadas uma das outras.

No ficheiro *AutoCad*, os tipos de alimentação dos edifícios mencionados acima, são identificados de acordo com a infraestrutura de telecomunicações existente na prática. Um edifício RITA é diferenciado de um edifício Rita-Fachada, que também é diferenciado de um edifício que é alimentado por fachada ou por poste, assim como ilustra a Figura 68. Em termos de projeto, facilita o projetista na atribuição dos PDOs em cada edifício e na fase do levantamento dos materiais a serem instalados no terreno.



Figura 68 – Identificação dos equipamentos e dos edifícios

Os 3 tipos de cabos instalados na prática, cabos de condutas, cabos de fachadas e aéreos, são diferenciados de seguinte modo no ficheiro *AutoCad*, conforme ilustra a Figura 69.



Figura 69 – Identificação dos cabos

Tendo recolhidas todas as informações necessárias para projetar a rede FTTH, o próximo passo será preencher a zona que se pretende dar a cobertura com carimbos para todos os edifícios, como mostra a Figura 70.

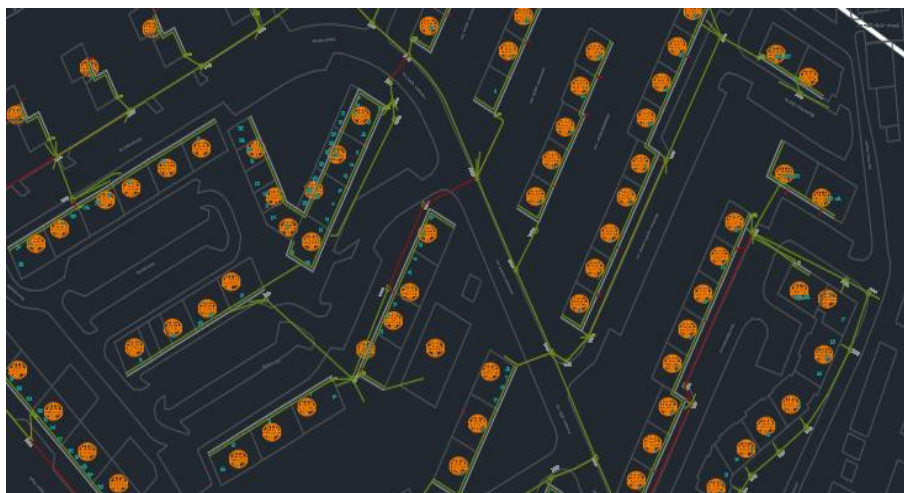


Figura 70 – Representação do Survey

4.2. FASE 2: CELULIZAÇÃO

Após o *survey* e o preenchimento dos carimbos nos edifícios, a próxima fase é designada de Macrocelulização ou Celulização. Esta fase consiste na divisão da área de cobertura em células, isto é, na prática de acordo com o número máximo de UAs que uma célula pode ter, o SP divide a zona de cobertura em várias células de forma a simplificar o projeto da rede. Foi definida pela operadora que as dimensões médias de uma célula deverão ser de aproximadamente 2500 UAs, no entanto, será aceitável por parte da mesma e sem aprovação prévia, que podem ter dimensões máximas de 2700 UAs. Para casos de células que contemplem futuras expansões (ou células fronteiras) deverão ser aproximadamente de 1800 UAs, sendo aceitável um máximo de 1900 UAs, conforme apresentada na Tabela 9. Caso existam células com dimensões fora destes limites, então será necessária a justificação do SP e aprovação da operadora.

Tabela 9 – Configurações das células

	Dimensões médias [UAs]	Dimensões máximas [UAs]
Células	2500	2700
Zona de Futura Expansão	1800	1900

Cada célula é alimentada por um cabo de 144 FO, então a operadora definiu os valores na Tabela 9 para a configuração das células, pelos seguintes motivos: das 144 FO no

cabo, 90 fibras na ODN são destinadas para fazer FTTH nas células (clientes residenciais), 24 fibras são para ligações ponto-a-ponto (clientes empresariais) ou fibras *corporate* designados na prática. Então as fibras de reservas na célula para a zona de futura expansão, são calculadas da seguinte forma:

$$\text{Fibras de Reservas} = 144 \text{ FO} - (90 \text{ FO} + 24 \text{ FO}) = 30 \text{ FO} \quad (2)$$

Estas fibras ficam de reservas na célula para as UAs que surgirão ao longo dos anos na zona de futura expansão. Na Tabela 10, encontra-se apresentada a definição das fibras no cabo de 144 FO que alimentam as células.

Tabela 10 – Definição das fibras no cabo de 144 FO

Cabo de 144 FO	Designação das fibras
90 FO (45 FO OP1 + 45 FO OP2)	FTTH na célula
24 FO (OP1)	Ponto-a-Ponto
30 FO (OP1)	Reservas

As operadoras escolheram o divisor ótico máximo de 1:64 na rede entre o CO e os ONTs devido a taxa de contenção, que é um parâmetro que mede a qualidade de serviço. Então, dividiram este rácio em 1:2 e 1:32, isto é, na Figura 71 ambas fazem o rácio de 1:2 no CO, só que na ODN a OP1 faz o rácio de 1:32, enquanto a OP2 divide as fibras em andares de divisão ótica de 1:8 e 1:4, na prática são 32 saídas. Significa isto que, na ODN o rácio máximo nas fibras para as duas operadoras é de 1:32.

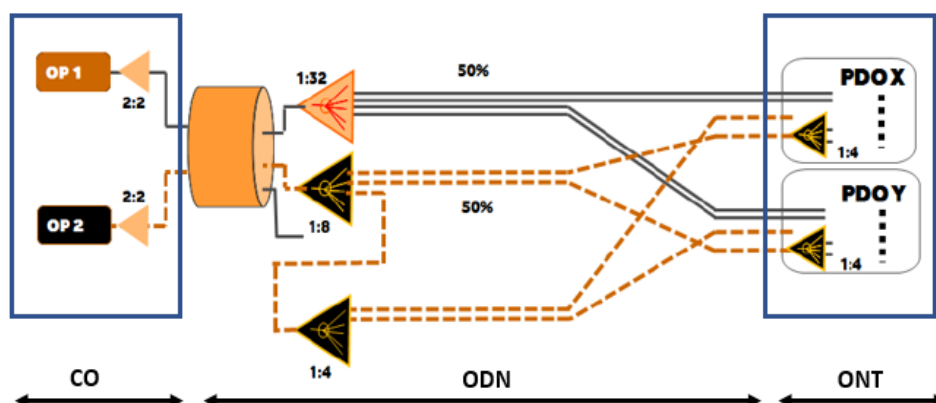


Figura 71 – Divisão ótica na rede FTTH para OP1 e OP2[43]

Ora então, se são utilizadas 90 fibras no cabo da ODN para FTTH e cada fibra tem um rácio máximo de 1:32 na mesma, então calculou-se na equação (3) o número máximo de UAs numa célula.

$$UAs_{máxima} \text{ na célula} = 90 FO * 32 = 2880 UAs \quad (3)$$

Significa que 90 fibras no cabo alimentarão 2880 UAs na célula. Se for utilizado esse valor como dimensões máximas de UAs nas células, na prática significaria que todas as fibras à saída dos divisores óticos nas juntas de *splittagem* ótica (JSOs) teriam de ser usadas para ligar os ONTs. Só que não é o que acontece, há sempre desperdícios de fibras, isto é, existem fibras com sinal nas JSOs que não são utilizadas para ligar os ONTs. Por exemplo, foi dito anteriormente que, a rede foi projetada para ser explorada por duas operadoras com uma taxa de penetração de 100%, isto é, para um edifício com número par de UAs, 20 UAs, cada operadora leva 10 fibras ativas no cabo. Para edifícios com número ímpar de UAs, 19 UAs, adiciona-se mais uma UA para ter um número par de UAs de forma que no cabo que alimenta os mesmos, vai o mesmo número de fibras ativas para as duas operadoras. Significa que, se usasse a dimensão máxima UAs numa célula de 2880 UAs, não teria fibras suficiente para todas as UAs visto que são adicionadas fibras no cabo para compensar os edifícios de número ímpar de UAs. A operadora definiu que, as dimensões máximas das células deverão de ser aproximadamente de 2700 UAs, de forma a ter fibras de reservas no cabo para compensar os desperdícios de fibra ótica. Com esta definição, calculou-se na equação (4) quantas fibras é que são necessárias para ligar 2700 UAs.

$$N^{\circ} \text{ de Fibras} = \frac{2700 UAs}{32} = 85 FO \quad (4)$$

Como foram reservadas no cabo 90 FO para fazer FTTH nas células, então acrescenta-se mais 5 fibras no número de fibras na equação (4) (85 FO + 5 FO) para compensar os desperdícios nas JSOs. Essas 5 fibras correspondem a 160 fibras a seguir ao rácio máximo no cabo na ODN, ver a equação (5). Significa isto que, em cada Microcélula o número máximo de desperdícios será de 160 fibras.

$$N^{\circ} \text{ de Fibras acrescentada} = 5 * 32 = 160 \text{ fibras} \quad (5)$$

No projeto divide-se a área de cobertura em células, através de um botão criado no *software AutoCad* designado de “*Contar_UAs*” que retorna a soma das UAs inseridas nos campos 5 e 6 dos carimbos. Isto é, com o comando *polyline* seleciona-se um limite e cria-se as células compreendidas entre dimensões médias e dimensões máximas. Cada célula ou cada equipamento estão apresentados em *layers* diferentes (diferentes cores), como ilustra a Figura 72, que mostra uma célula designada de CEL00 com 2350 UAs, com *Geo Type* de 10.

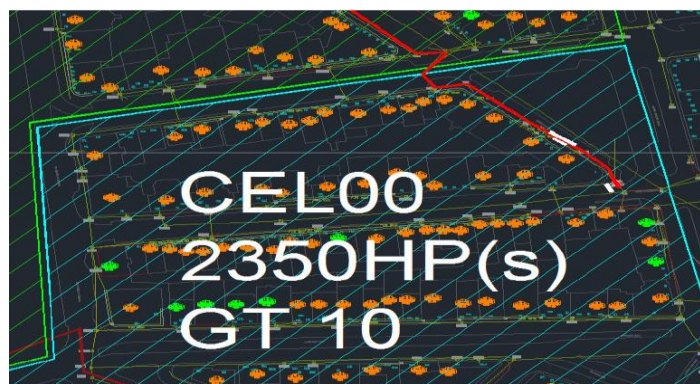


Figura 72 – Celulização

Concluindo, a primeira e a segunda fase do projeto, que será de aproximadamente 10 dias, o ficheiro em *AutoCad* é enviado para a operadora para esta aprovar.

4.3. FASE 3: MICROCELULIZAÇÃO E ELABORAÇÃO DO PROJETO

Após a validação das fases anteriores, a operadora escolhe qual é a célula que pretende dar a cobertura e o SP elabora uma proposta de Microcelulização, isto é, subdivide a célula em Microcélulas, submetendo-as posteriormente para a aprovação.

A Figura 73 mostra um exemplo de uma área macro representada pela cor azul, para explicar as fases 2 e 3. É possível verificar que são multiplexados os cumprimentos de onda através da técnica de multiplexagem WDM, e nas respetivas zonas estes são desmultiplexados nos COs para cobrirem as áreas desejadas pela operadora. A Macro célula foi dividida em 7 células de acordo com as dimensões médias e máximas

de UAs apresentadas na Tabela 9. De seguida escolheu-se a Célula 2 para a Microcelulização.

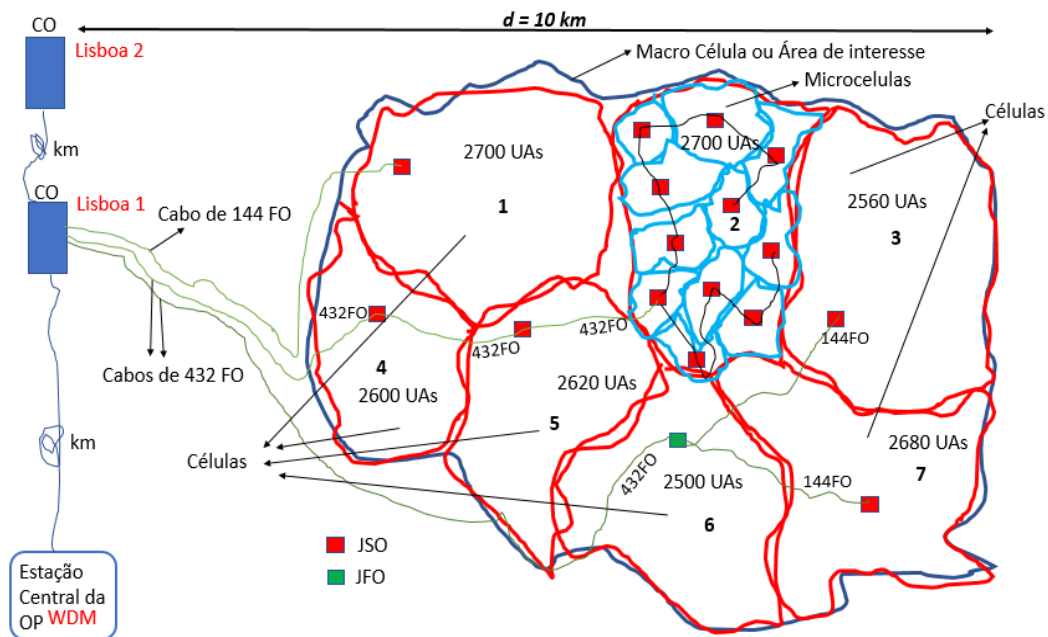


Figura 73 – Microcelulização

Para dividir a Célula 2 da Figura 73 em Microcélulas, a operadora definiu 4 tipos de configurações possíveis que deverão ser aplicadas. Como foi utilizado o divisor ótico máximo de 1:64 na rede entre o CO e os ONTs na Figura 71, significa que as fibras provenientes do CO conseguem ligar no máximo 64 ONTs. Para tal, elas definiram configurações do tipo I, II, III e IV, ver Tabela 11. A configuração I só pode ter no máximo 64 UAs (1 fibra x 64) na Microcélula, a configuração II um máximo de 128 UAs (2 fibras x 64 UAs), a III de 192 UAs (3 fibras x 64 UAs) e por fim, a IV de 256 UAs (4 fibras x 64 UAs). Isto é, na prática as Microcélulas são projetadas dentro destes limites de UAs, limite inferior, médio e superior.

Tabela 11 – Limites de UAs das Microcélulas[43]

	Limite das Microcélulas		
	Limite Inferior [UAs]	Limite Médio [UAs]	Limite Superior [UAs]
Conf. I	48	53	64
Conf. II	110	120	128
Conf. III	165	180	192
Conf. IV	220	240	256

Foram definidos os limites na Tabela 11 com intuito de haver menos desperdícios de fibras nas JSOs dentro das células. Isto é, por exemplo uma Microcélula de configuração I com 64 UAs, na prática através da Figura 71, significaria que para ligar essas UAs seriam 32 fibras ativas da OP1 mais 32 fibras ativas da OP2. Uma Microcélula de configuração II com 128 UAs significaria que para ligar essas UAs, seriam 64 fibras ativas da OP1 mais 64 fibras ativas da OP2, assim sucessivamente para as outras configurações. Caso uma Microcélula seja projetada fora do limite superior, por exemplo, 136 UAs que está fora do limite estabelecido na configuração II, seriam necessárias 64 fibras ativas da OP1 mais 64 fibras ativas da OP2 que dão para ligar 128 UAs e sobram 8 UAs. Para ligar essas 8 UAs eram precisas *splittar* 2 fibras em 32 saídas para as duas operadoras, ou seja, 32 fibras ativas da OP1 para ligar 4 UAs mais 32 fibras ativas da OP2 para ligar 4 UAs, o que significa ter um desperdício de 56 fibras ativas naquela Microcélula, 28 fibras ativas da OP1 mais 28 fibras ativas da OP2. De forma a ter menos desperdícios possíveis de fibras ativas nas JSOs, a operadora pretende que a sua rede seja projetada entre o limite médio e o limite superior da Tabela 11, isto é, tendo uma Microcélula de configuração II com 126 UAs, por exemplo, o desperdício de fibras ativas na JSO seria apenas de 2 fibras ativas ($128 - 126$). Para tal, as 160 fibras apresentadas na equação (5) foram acrescentadas no cabo que liga a célula com estes propósitos, ou seja, compensar as UAs que são adicionadas aos edifícios de número ímpar de UAs e as Microcélulas que não estão projetadas no limite superior da Tabela 11.

As configurações I, II, III, e, IV da Tabela 11 estão divididas em 4 níveis de ativação no CO, N1, N2, N3 e N4, respetivamente. Ou seja, cada saída PON ativada no OLT pertence a um *splitter* ótico na JSO. Este critério de otimização criado pela operadora, permite um investimento inicial inferior, no que diz respeito a gasto de energia no período de arranque da rede. A Tabela 12 mostra os níveis de ativação dos *splitters* referentes às configurações para a OP1. Ou seja, se uma Microcélula for composta por 64 UAs (configuração I), no OLT só é ativada uma saída PON que vai ligar um *splitter* ótico de 1:32 que pertence ao N1. Uma Microcélula de 124 UAs (configuração II) são necessárias ativar duas saídas PON no OLT para ativar o sinal em dois *splitters* de 1:32, que pertencem ao N1 e N2, respetivamente. Caso, uma Microcélula for composta por 256 UAs (configuração IV), cada operadora leva 128 fibras ativas no cabo para alimentar 128

UAs, que são 4 *splitters* de 1:32 (4x32), que pertencem ao N1, N2, N3 e N4, respetivamente. Se desses 128 UAs apenas 20 clientes no *splitter* 1 de N1 é que quisessem serviços, então no OLT será ativada apenas uma saída PON de N1 para ativar o sinal na fibra referente ao *splitter* de N1, as restantes saídas PON mantêm-se desativadas de forma a economizar a energia no momento de arranque do OLT. Se 120 clientes quisessem serviços, então são ativadas 4 saídas PON no OLT de N1, N2, N3 e N4 para ligar as fibras referentes aos 4 *splitters* da OP1. Adicionalmente, aumenta a fiabilidade da rede e permite o balanceamento de tráfego entre várias PONs.

Tabela 12 – Níveis de ativação dos *splitters* nas Microcélulas[43]

	<i>Splitters</i>				Limite Microcélulas		
	SP1 [1:32]	SP2 [1:32]	SP3 [1:32]	SP4 [1:32]	Limite Inferior [UAs]	Limite Médio [UAs]	Limite Superior [UAs]
Conf. I	N1				48	53	64
Conf. II	N1	N2			110	120	128
Conf. III	N1	N2	N3		165	180	192
Conf. IV	N1	N2	N3	N4	220	240	256

Na Figura 73 utilizou-se um cabo de 432 FO para alimentar 3 Células. É mais vantajoso utilizar um cabo em condutas de 432 FO na ODN para alimentar 3 células do que 3 cabos de 144 FO. Pois, reduz o número de cabos a serem transportados em condutas, com intuito de deixar espaços reservados para alugar a outras operadoras, e também fica menos dispendiosa alugar a conduta para passar um cabo do que 3 cabos, mais a mão de obra das instalações dos mesmos. A partir da Figura 73, verifica-se que do CO saem 2 cabos de 432 FO para alimentar 6 células, ou seja, o primeiro alimenta as Células 4, 5 e 2, enquanto o segundo as Células 6, 7 e 3. O último cabo de 144 FO foi projetado para alimentar a Célula 1. O número de cabos provenientes do CO é determinado pelo o número de células existentes na macro célula, sendo que um cabo de 432 FO alimenta 3 células. No cabo de 432 FO que liga as Células 4, 5 e 2, não são feitas quaisquer fusões, ou seja, este passa nas 3 células mencionadas e em cada JSO são deixadas 144 fibras para alimentar as mesmas. No outro cabo que liga as Células 6, 7 e 3 vai até a JFO (Junta de Fusão Ótica) situada na célula 6, e nesta são feitas 144 fusões no cabo de 144 FO que

liga a Célula 7 e 144 fusões no cabo de 144 FO que liga a Célula 3, as restantes 144 fibras ficam na Célula 6.

A Figura 74 mostra a definição da JSO que está apresentada pelo quadrado de cor vermelho na Figura 73, e da JFO que está apresentada pelo quadrado de cor verde. Estes são os equipamentos que interligam o CO e os terminais da rede ótica instalados na rede do cliente. Entre estes dois existe uma rede ótica passiva ODN, composta por cabos de fibra ótica e dispositivos que distribuem e dividem o sinal. A JFO da Figura 74, é o equipamento que permite fazer fusões nas fibras de um cabo de uma capacidade para outro cabo. Isto é, quando as células são alimentadas em estrelas, então sai um cabo de maior capacidade de números de fibras do CO até uma JFO, onde se faz as fusões óticas para cabos de menor capacidade para ligar as outras células. Por exemplo, é possível verificar um cabo de 432 FO que entra na célula 1, onde é instalado uma JFO que faz fusões para os cabos de 144 FO que ligam as células 2 e 3. Em cada Microcélula existe um ponto onde se faz a divisão ótica (JSO) para ligar as UAs nos edifícios, ou seja, a partir da JSO saem as fibras *splittadas* no cabo de menor capacidade para ligar os ONTs nos edifícios. A capacidade destes cabos instalados são de acordo com o número de UAs existente no edifício.

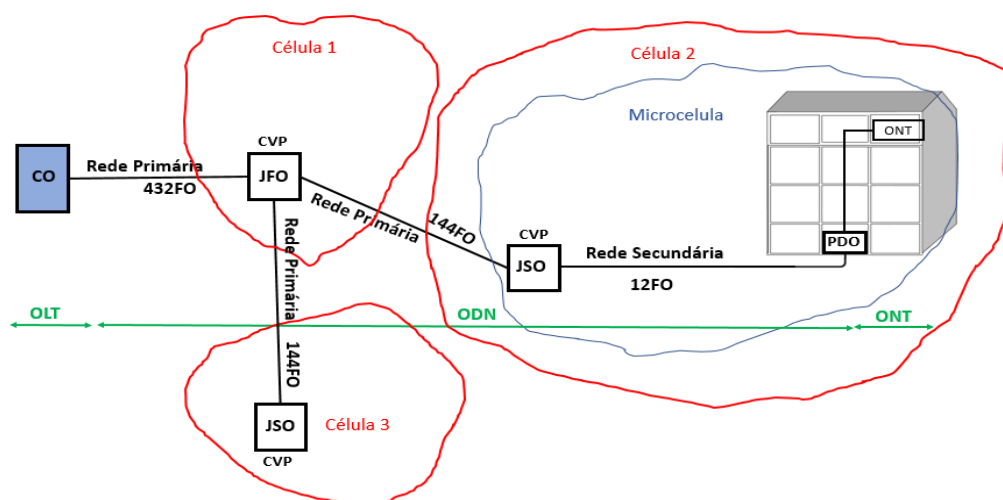


Figura 74 – Arquitetura da rede FTTH

Define-se a rede primária na Figura 74 como sendo toda a ligação física entre o CO e a JSO, ou seja, o cabo de fibra ótica antes de passar pela divisão ótica. A partir desse ponto até a casa do cliente é designada de rede secundária, que é uma rede já *splittada*. As fibras com sinal na rede primária são designadas de FAP (Fibras Ativas Primárias),

enquanto as com sinal na rede secundária são chamadas de FAS (Fibras Ativas Secundárias). As sem sinal nas duas redes, são designadas na prática de fibras “mortas” ou fibras sem sinal ou ainda fibras escuras.

Tendo a célula de interesse dividida em Microcélulas, o SP envia o projeto para a operadora, para que esta aprova e valida os limites de cada Microcélula, para de seguida ser projetada pelo SP.

4.4. FASE 4: CONSTRUÇÃO DA REDE

A seguir a projeção da rede FTTH GPON na célula, o instalador irá construir a rede PON para disponibilizar serviços de telecomunicações, e será inteiramente responsável e autónomo na construção da mesma. Nesta fase, todos os processos burocráticos, como processamento da obtenção das condutas, instalações e autorizações ao abrigo ORAC e ORAP, infraestruturas de outras entidades, etc devem estar concluídas.

O SP divide a construção da rede em duas fases: a primeira é designada de construção OSP (*OutSide Plant*) ou construção horizontal, na prática significa toda a construção existente desde do CO até aos PDOs de fachada, de poste ou CVP, ou PDOs à entrada dos edifícios, como ilustra a Figura 75. A segunda fase é designada de construção ISP (*Inside Plant*) ou construção vertical, que é apenas para os edifícios ITED, ou seja, do PDO de interior a entrada do edifício até a última *floorbox* instalada na coluna montante. Os cabos apresentados pela cor vermelha, no interior do edifício são instalados pela operadora no momento da ativação dos serviços, e são designados de cabos *drop*.

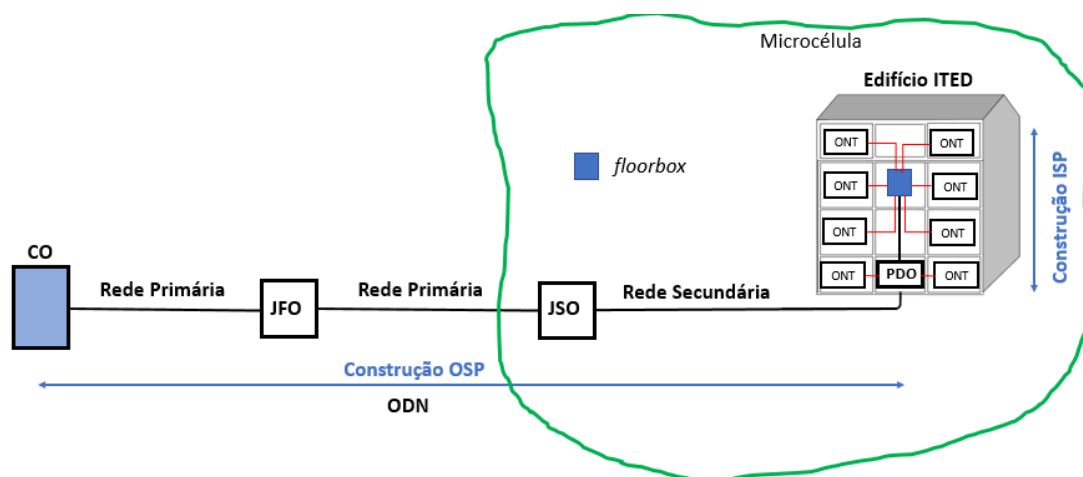


Figura 75 – Construção da rede FTTH

4.4.1. Construção OSP

A construção OSP da Figura 75, inicia-se pela passagem de cabos nas condutas, de seguida nas fachadas e nos postes. Após a conclusão das passagens dos cabos prossegue-se para as instalações dos equipamentos. Isto é, os elementos da construção da rede FTTH recebem o projeto da célula projetada com a indicação das condutas, fachadas e postes para a passagem dos cabos e instalação dos equipamentos no CO e na ODN. Nos pontos da instalação dos equipamentos deve-se deixar uma folga de 10 m, para permitir ao técnico quando for ao terreno instalar os equipamentos sobre uma bancada de trabalho. Os cabos instalados devem respeitar as especificações das Rec. ITU-T G.652.D e G.657.A[43], sendo monomodo e com capacidade de 12 fibras por tubos. Cada bobine de cabos de fibra ótica fornecida pelo fabricante, tem um comprimento máximo de 4 km que usa a tecnologia *Flex Tube*, ou seja, são cabos com menor diâmetro, de fácil instalação, melhor arrumação dentro dos equipamentos, menor atenuação e curvaturas mais apertadas.

Todos os cabos provenientes do CO para alimentarem as células, são projetados em condutas, com o intuito de proteger a ligação das células. Dentro das CVPs, que não são instalados qualquer equipamento será necessário deixar uma folga de 3 m, que será o comprimento necessário para fazer uma volta dentro da mesma, como mostra a Figura 76. Os cabos são fixos a parede de forma a haver espaços para instalação de cabos de outras operadoras, e deverão estar protegidos por tubo anelado cinzento de diâmetro adequado ao número e tipos de cabos. A operadora irá utilizar as condutas que já estão em utilização e que se encontram mais ocupadas, deixando as condutas que estejam livres para a operadora que é responsável pelas mesmas.



Figura 76 – Passagem de cabos nos CVPs[43]

Os cabos instalados em conduta deverão ser identificados em todas as CVPs. Nas identificações será necessário definir o nome da operadora, qual é a célula que este alimenta, qual é a Microcélula, a identificação do instalador e por fim a capacidade do cabo ou o número de fibras que este é composto, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Codificação do cabo

Elemento	Projeto	Instalação
Cabos OSP	OP1-Cell01-JSO03-XYZ	OP1-Cell01-JSO03-XYZ

Em que:

OP1 – é o nome da operadora;

Cell01- é o nome e o número da célula;

JSO03 – é o nome e o número da Microcélula;

X – Identifica que se trata de uma rede FTTH;

Y – Identifica o instalador que efetuou a instalação;

Z – Identifica a capacidade do cabo;

Todos os cabos que são instalados em fachada terão uma etiqueta de identificação, com a mesma codificação apresentada na Tabela 13. A Figura 77 mostra a identificação de um cabo de fachada.



Figura 77 – Codificação do cabo[43]

Os que são instalados em postes, são cabos diferentes dos que são instalados em condutas ou fachadas. Devem ser do tipo ADSS (*All-Dielectric Self Supporting*) que são cabos auto suportado de secção cilíndrica que incorpora elementos de tensionamento e de proteção mecânica interiores, para protegerem da tensão no cabo feita pelos ventos.

As capacidades dos cabos homologadas pela operadora para a instalação na prática são: 12, 24, 36, 48, 72, 96, 144, 288 e 432 FO. Estes estão organizados em tubos e cada tubo

contém 12 fibras. Por exemplo, um cabo de 12 FO é constituído por um tubo branco de 12 fibras, um cabo de 24 FO é constituído por 2 tubos, um tubo branco 12 fibras e outro vermelho de 12 fibras. Um cabo de 36 FO é constituído por 3 tubos, um branco 12 fibras, outro vermelho de 12 fibras e último tudo verde de 12 fibras, assim sucessivamente, como mostra a Tabela 14. Nesta, encontra-se especificadas as capacidades de FO em cada tubo, os números dos tubos e as respetivas cores.

Tabela 14 – Códigos de cores dos tubos

Capacidades dos Cabos	Nº de Tubos	Cores dos Tubos	
12 FO	1	Branco	
24 FO	2	Vermelho	
36 FO	3	Verde	
48 FO	4	Azul	
60 FO	5	Preto	
72 FO	6	Amarelo	
84 FO	7	Laranja	
96 FO	8	Cinzento	
108 FO	9	Castanho	
120 FO	10	Violeta	
132 FO	11	Rosa	
144 FO	12	Turquesa	

A Figura 78 ilustra um cabo de 12 FO, em que este é composto por um tubo branco de 12 fibras.



Figura 78 – Cabo de 12 FO

Os códigos de cores dos tubos são relativamente iguais aos códigos de cores das fibras existentes nos tubos. Na Tabela 15 está apresentada os códigos de cores das 12 fibras existentes nos tubos, ou seja, o cabo de 12 FO é composto por 12 fibras, então a primeira

fibra é representada pela cor branca, a segunda pela cor vermelha, até a fibra 12 que é a turquesa.

Tabela 15 – Códigos de cores das fibras

Nº de Fibras	Cores	
1	Branco	
2	Vermelho	
3	Verde	
4	Azul	
5	Preto	
6	Amarelo	
7	Laranja	
8	Cinzento	
9	Castanho	
10	Violeta	
11	Rosa	
12	Turquesa	

A Figura 79 mostra um cabo de 144 FO descarnado, composto por 12 tubos e cada um destes constituído por 12 fibras. Neste cabo é possível verificar as cores dos tubos apresentados na Tabela 14.

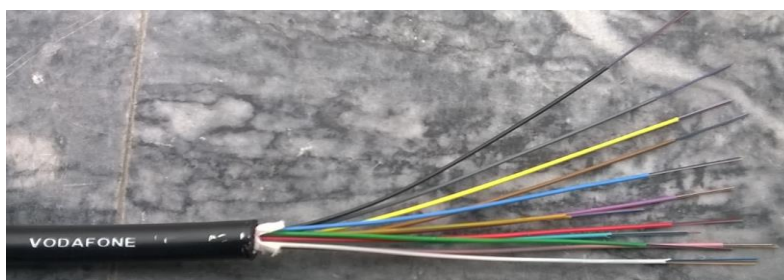


Figura 79 – Cabo de 144 FO

Um cabo de 288 FO é um cabo com diâmetro maior em relação ao cabo de 144 FO apresentado na Figura 79. Este é composto por 2 grupos de 144 FO (144 FO + 144 FO). De forma a diferenciar esses grupos, o fabricante identificou-os da seguinte forma, o primeiro é um tubo preto sem nenhuma faixa de identificação, enquanto o segundo é

identificado por uma faixa contínua branca. Isto é, na prática, quando um técnico descarnar um cabo de 288 FO, encontra-se 2 grupos de cabos, o primeiro não tem nenhuma identificação então as fibras vão desde a posição 1 até 144, o outro grupo de cabo que é identificado com uma faixa, vão desde a posição 145 a 288. Um cabo de 432 FO tem o diâmetro superior ao 288FO, e no seu interior é composto por 3 grupos de cabos de 144 FO. Ao ser descarnado, as fibras da posição 1 a 144 FO não tem nenhuma faixa de identificação, da posição 145 a 288 FO tem uma faixa contínua branca, da posição 289 até a 432 são compostos por duas faixas contínuas brancas. Com estas informações, quando um cabo de 432 FO sai do CO para alimentar 3 células, 144 FO para cada célula, o técnico da construção da rede consegue identificar as fibras no cabo para cada uma das células.

A seguir a passagem de cabos, inicia-se o processo da instalação dos equipamentos no CO, na ODN e nos PDOs, conforme mostra a Figura 80. Na rede OSP, o SP constrói a rede a partir dos ODFs (*Optical Distribution Frame*) das duas operadoras até aos ONTs, a instalação dos equipamentos ativos é da responsabilidade da operadora, a partir do momento que as células estejam construídas.

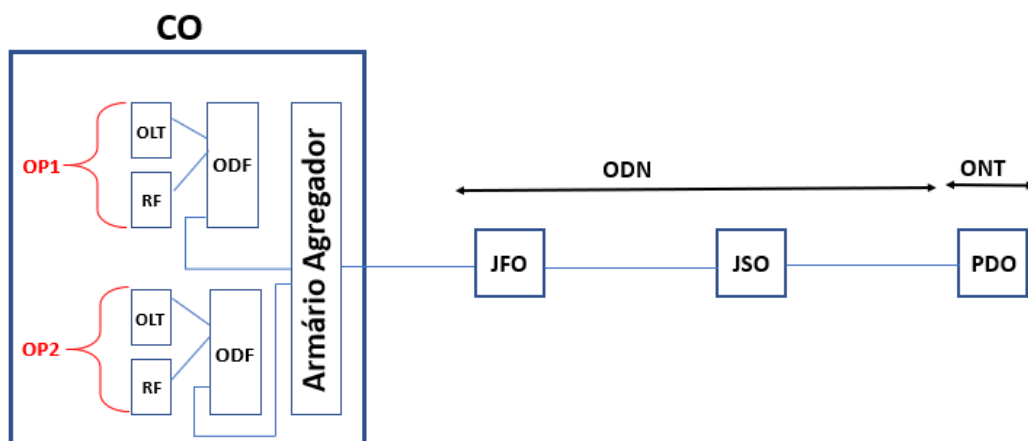


Figura 80 – Instalação dos equipamentos da rede OSP

O CO da Figura 80, encontra-se especificada na Figura 81. Deverá estar situada preferencialmente no centro de massa da macro zona de cobertura, de forma a otimizar os custos inerentes à instalação dos cabos no abastecimento das células. Na escolha do local deve-se considerar um fator importante que é ter todas as condições físicas e técnicas de ventilação assim como o dimensionamento de energia adequado para o correto funcionamento de todos os equipamentos instalados.

A operadora definiu as configurações dos diversos equipamentos a serem instalados no CO, conforme mostra a Figura 81. O ODF é um equipamento passivo que já vem equipado do fornecedor com os *multiplexers* e os *splitters* de 1:2, instalados nas cassetes laranjas que se encontram na parte superior. Na parte inferior é constituído pelas cassetes verdes. As cassetes laranjas têm como objetivos multiplexar dois comprimentos de onda, PON OLT e RF *overlay*, e de seguida dividir o sinal no rácio de 1:2. Ou seja, nos portos à saída dessas cassetes estão dois comprimentos de onda misturados, que são conectadas nos portos das saídas das cassetes verdes. As saídas destas são fusionadas nos cabos que saem do ODF e ligam ao Armário Agregador. No outro extremo do armário, as fibras óticas das duas operadoras são fusionadas nos cabos vetor que interligam as células através da ODN.

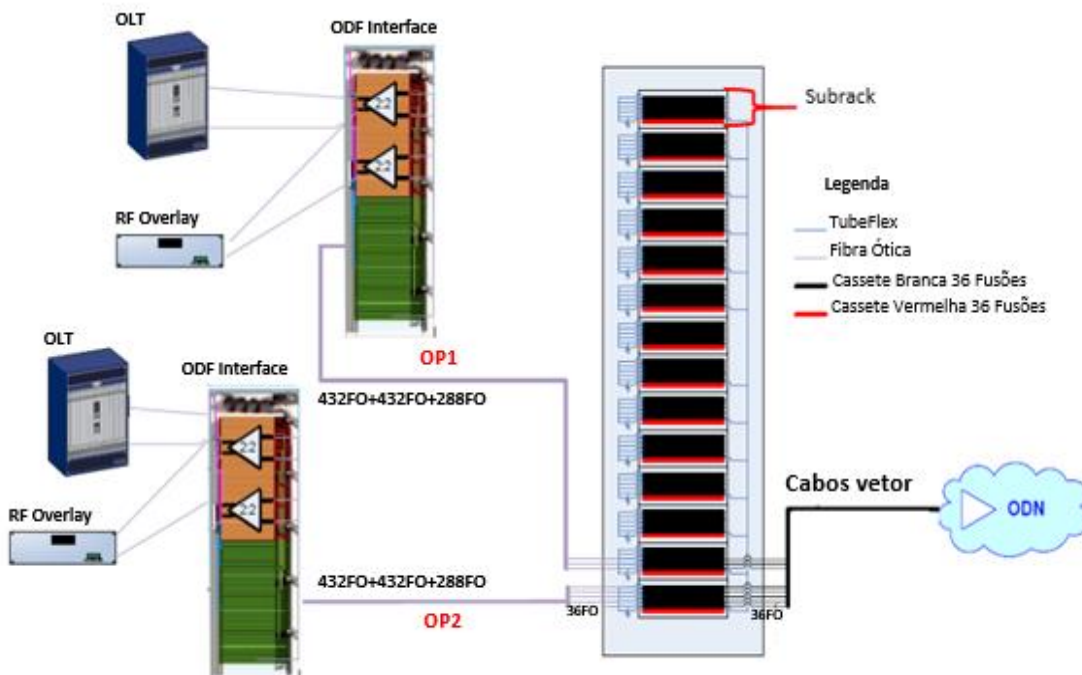


Figura 81 – Equipamentos instalados no CO[43]

O ODF da Figura 82 tem capacidades para suportar no máximo 90 cassetes. As cassetes laranjas estão numeradas desde a posição 1 até a 45, enquanto as cassetes verdes desde a 46 a 90. Cada cassete laranja da Figura 82 possui no Side A 24 entradas referentes a 12 Inputs do PON OLT e 12 Inputs do sinal RF, no Side B existem 24 saídas dos 12 *splitters* de 1:2. As cassetes verdes são compostas no Side A por 24 entradas, que são conetores onde se interligam os *patches cords* provenientes das cassetes laranjas. O Side B possui 24 saídas.

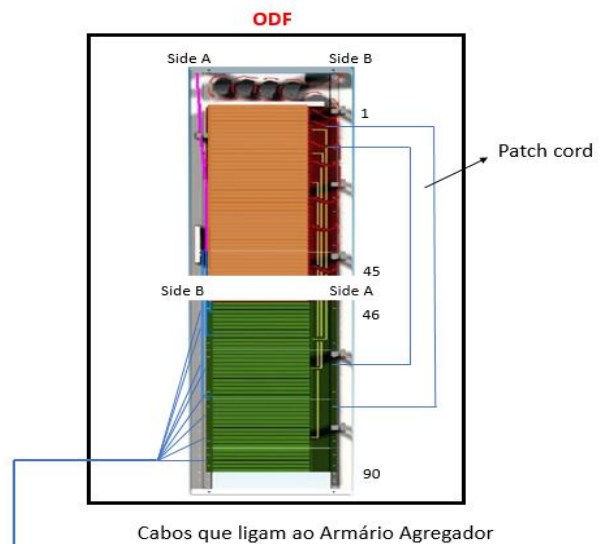


Figura 82 – ODF[43]

As cassetes amarelas são instaladas nas posições 45 e 90 do ODF, havendo a possibilidade de futuras expansões para as posições 45/90, 44/89 e assim sucessivamente. Estas cassetes são instaladas com o intuito de fornecer serviços ponto-a-ponto. A cassete na posição 45 no *Side A*, é constituída por 18 entradas (12 entradas ponto-a-ponto, 3 entradas de RF para *splitters* de 1:4 e 3 entradas de PON para *splitters* de 1:4). No *Side B* existem 24 saídas no total, 12 dos 3 *splitters* e as restantes 12 para ligações ponto-a-ponto. Enquanto a cassete na posição 90, é composta no *Side A* por 24 entradas que são conectores onde se interligam os *patches cords* provenientes da cassete amarela na posição 45. O *Side B* também é constituído por 24 saídas.

As existências das cassetes verdes têm por objetivos ativar os *splitters* instalados nas JSOs por níveis N1, N2, N3, N4, mencionadas anteriormente. Todas as fibras das duas operadoras que ligam as JSOs nas células estão concentradas nas cassetes verdes, então quando é ativada uma saída PON no OLT da Figura 83, os comprimentos de ondas são multiplexados nas cassetes laranjas. Através dos *patches cords* são ativadas as fibras do cabo vetor que ligam as células. Por exemplo, se pretende ativar um *splitter* de N1 numa JSO para fornecer serviços aos clientes, será ativada na cassete verde a fibra que dá origem a aquele *splitter*. A medida que os clientes queiram serviços na célula, no OLT é ativado as saídas PON de acordo com os níveis de ativação dos *splitters*, apresentados na Tabela 12.



Figura 83 – OLT

Um ODF pode ter no máximo 1080 fibras (24x45) que são fusionadas nos cabos que ligam ao Armário Agregador. Isto é, cada cassete instalada no ODF tem a capacidade para receber 24 fibras, e são instaladas até 45 unidades. Com o número máximo de fibras no ODF, calcula-se o número de cabos a serem instalados entre os ODFs e o Armário Agregador, ou seja, para transportar 1080 fibras são precisos 3 cabos: dois de 432 FO mais um de 288 FO, como apresentado na Figura 81.

As cassetes nos ODFs são instaladas de acordo com o total de UAs na área de cobertura, ou seja, na prática existem 3 configurações possíveis para as instalações das mesmas.

Para:

- Área de pequena capacidade (até 2700 UAs):
 - 3 Cassetes Laranjas
 - 3 Cassetes Verdes
 - 2 Cassetes Amarelas
- Área de capacidade média (até 15360 UAs):
 - 20 Cassetes Laranjas
 - 20 Cassetes Verdes
 - 2 Cassetes Amarelas
- Área de grande capacidade (até 32256 UAs):
 - 44 Cassetes Laranjas
 - 44 Cassetes Verdes
 - 2 Cassetes Amarelas

Os cálculos da capacidade máxima dos ODFs foram feitos para a área grande capacidade, que são 90 cassetes para número de UAs até 32256. Sendo então, permitem ter 12

células de 2700 UAs numa área de cobertura, ou seja, na prática significa que numa cidade os equipamentos instalados no CO dão para cobrir 12 células de 2700 UAs.

O Armário agregador da Figura 81, é o equipamento onde se efetuam as ligações dos cabos das duas operadoras provenientes dos ODFs com o cabo vetor do exterior. Ou seja, os cabos oriundos dos ODFs são fusionados diretamente para as células no Armário. Este ponto intermédio permite alocação de todas as fibras que ligam as células, bem como as fibras de reservas para zona de futura expansão. A máxima capacidade do Armário Agregador é de 4536 fibras, isto é, permite instalar 21 *subracks*, em que cada *subrack* suporta 6 cassetes com capacidades para 36 fibras, como ilustra a Figura 84. As 6 cassetes apresentadas na Figura 84 do lado direito, estão divididas em cinco cassetes brancas e uma cassete vermelha. As brancas têm como função o mapeamento direto das fibras ativas do ODF com as fibras dos cabos vetor, enquanto as cassetes vermelhas são reservadas caso haja uma troca de fibras dentro do mesmo *subrack* ou com outros *subracks*.

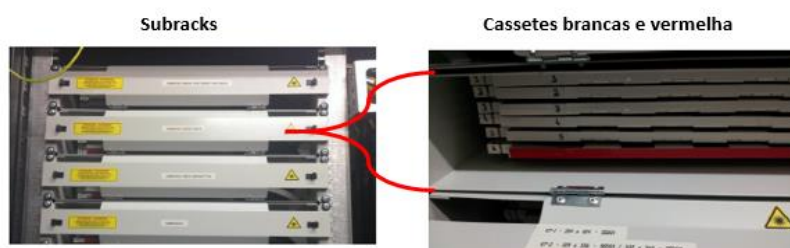


Figura 84 – Subracks e a organização das cassetes[43]

Na Figura 85 estão apresentadas as duas cassetes, ambas com 3 porções para instalar 12 fibras, ou seja, com capacidade para fusionar no máximo 36 fibras.

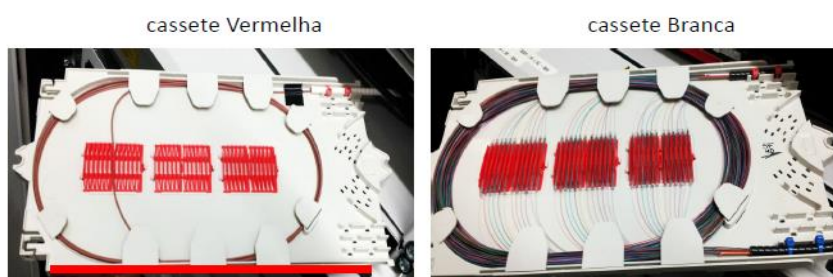


Figura 85 – Cassetes do Armário Agregador[43]

O Armário Agregador com a capacidade máxima de 21 *subracks* permite a instalação de 3 ODFs no CO. Só que inicialmente são instalados apenas 14 *subracks* como foi apresentado na Figura 81, que permitem utilizar a capacidade máxima de dois ODFs. Os primeiros 7 *subracks* pertencem a OP1 e os últimos 7 a OP2.

Foram definidas 3 configurações possíveis apresentadas na Tabela 16, para o Armário Agregador de acordo com o número total de UAs a serem abastecidos pelo CO.

Tabela 16 – Configurações do Armário Agregador[43]

Configuração	Nº ODFs	Subracks	Cassetes Brancas	Cassetes Vermelhas	Fusões	UAs Cobertura
I	1	7	35	7	1080	32256
II	2	14	70	14	2160	64512
III	3	21	105	21	3240	96768

A JFO da ODN apresentada na Figura 80, é o equipamento instalado nas CVPs que faz as fusões nas fibras de um cabo para outro. Isto é, os cabos são descarnados com os alicates próprios de forma cuidadosamente para não partirem as fibras. Cada tubo de fibra ótica é alocado nas suas respectivas cassetes, onde cada cassete deve alojar 12 fibras. Tendo as fibras nas respectivas cassetes faz-se a fusão ótica nas fibras. A Figura 86 mostra no lado esquerdo um torpedo de fibra ótica que é designado na prática de JFO. Este tipo de material possui uma estrutura rígida, resistente a impactos e a infiltrações de água. Na parte inferior deste é possível verificar as entradas/saídas dos cabos. A figura do meio mostra o interior da JFO, onde é possível ver a organização das cassetes, enquanto na figura do lado direito é possível observar uma cassete constituída por 12 ranhuras para acomodar as fibras fusionadas.



Figura 86 - JFO[43]

O equipamento responsável pelas fusões nas fibras é designado de *Fusion Splicer Machine*, que está apresentado na Figura 87. Para fusionar as fibras de um cabo para

outro, alinha-se duas pontas das fibras frente-a-frente numa linha reta de ângulo zero, e através da máquina de fusão ótica as pontas são cobertas por uma “manga de massa” de cor branca ou transparente. Esta introduz uma perda de 0,05 dB no sinal que chega a casa dos clientes.



Figura 87 – Fusion Splicer Machine

A JSO da ODN apresentada na Figura 80, é o equipamento que faz a divisão ótica das fibras provenientes do CO para ligar os ONTs. Na prática é o mesmo torpedo de fibra ótica apresentada anteriormente, só que no caso das JSOs as cassetes possuem ranhuras para encaixar os *splitters*, como ilustra a Figura 88.



Figura 88 – Cassete da JSO[43]

A Figura 89 apresenta a divisão ótica das fibras sobre uma bancada de trabalho. Na figura do lado esquerdo é possível verificar os cabos a entrar/sair na JSO na parte inferior e a organização das cassetes instaladas. Enquanto a figura do lado direito mostra a divisão ótica.

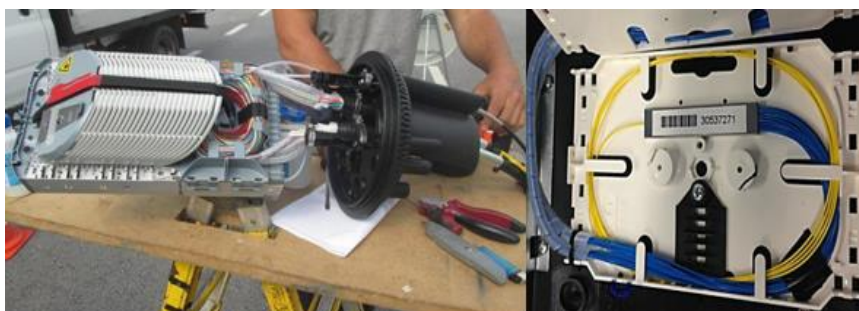


Figura 89 – Instalação das fibras nas cassetes[43]

A seguir as fusões ou divisão ótica o torpedo de fibra ótica é fechado e identificado com uma etiqueta de forma a facilitar trabalhos de manutenção, especialmente trabalhos noturnos. Na Figura 90 encontra-se a instalação de uma JSO dentro da CVP com uma folga de 10 m.



Figura 90 – JSO em CVP[43]

Em fachadas podem ser instalados dois tipos de equipamentos: o PDO de fachada e a JFO de fachada, que estão apresentados na Figura 91. A figura do lado esquerdo apresenta o PDO de fachada instalado para alimentar as UAs de um determinado edifício. Enquanto na figura do lado direito está apresentada uma JFO de fachada. Este tipo de equipamento é instalado quando a rede é projetada de forma a otimizar os números de cabos a serem instalados em fachada. Por exemplo, numa rua onde há vários edifícios a serem alimentados em fachada, para não instalar vários cabos para alimentar cada um desses edifícios, usa-se apenas um cabo de maior capacidade com as fibras ativas de todos esses edifícios até um ponto onde é instalada uma JFO. A partir desta, sai os cabos para alimentar cada um dos edifícios. Na mesma figura, é possível verificar um cabo que traz as fibras ativas de 3 edifícios e saem 3 cabos para alimentar os mesmos. Em cada um desses equipamentos instalados em fachada deixa-se uma folga de 10 m.



Figura 91 – PDO de fachada e JFO de fachada[43]

Estes equipamentos encontram-se identificados com a etiqueta amarela, com a seguinte nomenclatura:

Tabela 17 – Identificação dos equipamentos instalados em fachadas

Elemento	Projeto	Instalação
PDO	PDOx	OP-PDO-XY-x
JFO	JFOx	OP-JFO-XY-x

Em que:

OP – É o nome da operadora;

PDO/JFO – Identifica os equipamentos;

X – Indica que se trata de uma rede de fibra FTTH;

Y – Identifica o instalador que efetuou a instalação da junta;

x – Número sequencial da junta, este valor deverá ser único por CO;

Em postes podem ser instalados a JFO, JSO e o PDO. A Figura 92 mostra a instalação de uma JSO, onde também deve-se deixar uma folga de 10 m. A identificação desses equipamentos segue a Tabela 18.



Figura 92 – JSO em Poste[43]

Tabela 18 – Identificação dos equipamentos instalados nas juntas

Elemento	Projeto	Instalação
JFO	JFOx	OP-JFO-XY-x
JSO	JSOx	OP-JSO-XY-x
PDO	PDOx	OP-PDO-XY-x

Em que:

OP – É o nome da operadora;

JFO/JSO/PDO – Identifica os equipamentos;

X – Indica que se trata de uma rede de fibra FTTH;

Y – Identifica o instalador que efetuou a instalação da junta;

x – Número sequencial da junta, este valor deverá ser único por CO;

Por fim, o PDO apresentado na Figura 80, é o equipamento que ligam os ONTs instalados na rede do cliente. Os 4 tipos de PDOs instalados na prática, foram definidos pelo fabricante para acomodar as UAs nos edifícios, de acordo com o intervalo de número de UAs, conforme mostra a Tabela 19.

Tabela 19 – Intervalo de UAs dos PDOs

Tipos de PDOs	Número de UAs nos edifícios
PDO de fachada	5 a 24 UAs
PDO de interior	4 a 64 UAs
PDO de CPV	5 a 16 UAs
PDO de Poste	5 a 12 UAs

Para os 4 tipos de PDOs instalados, os edifícios com número de UAs inferior ao número mínimo de UAs apresentados na Tabela 19, devem ser projetadas fibras de reservas na JSO da vizinhança. Para PDOs de fachada, os edifícios com número de UAs superior a 24, devem ser projetados vários PDOs de capacidades para agregar 24 UAs. Para PDOs de interior, os edifícios com número de UAs superior a 64 devem ser dimensionadas fibras da rede primária. Para PDOs de poste, caso o PDO exceder os 12 *drops* deverá ser instalado um PDO de fachada que permite alimentar maior número de UAs.

4.4.1. Construção ISP

A construção ISP apresentada na Figura 75, consiste na construção do módulo secundário do PDO de interior, instalação do cabo de FO na coluna montante e instalações das *floorboxes* na mesma. Os cabos de fibra ótica utilizados na construção ISP devem respeitar a norma G.657A monomodo[43].

A instalação do PDO é dividida em dois módulos distintos, ver a Figura 93. O primeiro é designado de módulo primário, que é independente para cada uma das operadoras existente no edifício, enquanto o segundo designado de módulo secundário, que é um módulo multioperadora. Segundo [44], a primeira operadora a chegar a um edifício para instalar a rede FTTH, deverá construir o seu módulo primário e deixar espaços para as outras operadoras construir os seus, e deverá também construir o módulo secundário que é partilhado por outras operadoras. Este último, contém os conetores de todos os edifícios para o caso de o cliente querer mudar de operadora, ou querer ter duas ou mais operadoras em casa. Na Figura 93 está apresentada a construção de um RGFO (Repartidor Geral de Fibra Ótica) conforme o Manual ITED[44]. Através da figura, pode-se verificar que os cabos das operadoras ligam aos módulos primários pelo lado direito da figura. Com os conetores serão feitas as ligações para o módulo secundário, onde saem o cabo do lado esquerdo da figura, para ligar as *floorboxes* distribuídas nos pisos.

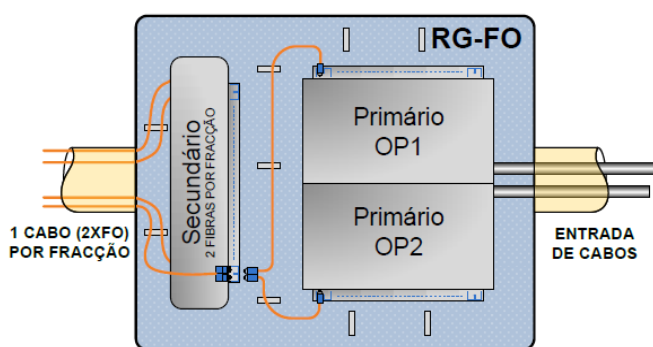


Figura 93 – RGE ou RGFO[44]

A Figura 94, ilustra a instalação de um PDO de interior na prática, em que os módulos primários das 3 operadoras existentes em Portugal foram construídos fora do RGE ou RGFO. A primeira operadora que lá chegou, construiu o seu módulo primário na parte superior e também construiu o módulo secundário no interior do RGE.



Figura 94 – Módulos do PDO de interior[43]

Na Figura 95 está apresentada um exemplo de um edifício ITED para explicar a projeção da rede ISP. O edifício é composto por 56 UAs residenciais e 3 UAs comerciais, com um total de 15 pisos. Estas informações encontram-se na parte superior do mesmo. Nos pisos de UAs residenciais, piso 1 a 14, as frações estão identificadas pelas letras A, B, C e D, enquanto no piso de UAs comerciais, piso 0, estão identificadas pelos números 1, 2 e 3. Na prática são instalados 2 tipos de *floorboxes*, uma com capacidade para ligar no máximo 12 UAs e outra para ligar um máximo de 24 UAs. Para tal, elas são projetadas para serem instaladas a partir do penúltimo piso, de forma a ligar maior número de UAs possíveis, ou seja, o piso de cima e o piso de baixo. As que são instaladas nos pisos: 13, 10, 7 e 4 vão alimentar 12 UAs cada, enquanto a *floorbox* instalada no piso 1 irá ligar 8 UAs (4 UAs no piso 2 e 4 UAs no piso 1). O PDO instalado no piso 0, irá ligar através da ligação ponto-a-ponto as UAs comerciais, ou seja, no momento da instalação dos serviços são instalados os cabos *drop* entre o PDO e as UAs comerciais. O comprimento do cabo a ser instalado na coluna montante será de 5 m por piso, como o cabo vai até a última *floorbox* instalada no piso 14 então o cabo será de 70 m (5 m x 14 pisos). A capacidade do cabo a instalar na coluna montante será calculada de acordo com os números de UAs que as *floorboxes* alimentam.

PISOS	RAISER				
	UAS	UAC			
15	56	3			
14	A	B		C	D
13	A	B	■	C	D
12	A	B		C	D
11	A	B		C	D
10	A	B	■	C	D
9	A	B		C	D
8	A	B		C	D
7	A	B	■	C	D
6	A	B		C	D
5	A	B		C	D
4	A	B	■	C	D
3	A	B		C	D
2	A	B		C	D
1	A	B	■	C	D
0	1	2	■		3

Instalação do PDO
Instalação da floorbox

Figura 95 – Projeto da rede FTTH nos edifícios ITED

O equipamento terminal da rede FTTH encontra-se apresentada na Figura 96. Este é instalado pela operadora no momento da ativação dos serviços aos clientes.



Figura 96 – Modem ONT

O SP terá aproximadamente 45 dias para a construir a célula.

4.5. FASE 5: ENSAIOS NA REDE

Após a construção da rede FTTH, será necessário efetuar os respectivos testes para validação e certificação da mesma conforme cadastro, que terá uma duração de 5 dias. O que significa que construir a rede FTTH, do *survey* até aos ensaios da rede terá uma duração total de 70 dias.

Faz-se dois tipos de testes na rede: teste de encaminhamentos de fibra ótica e teste de reflectometria. Nos testes de encaminhamento, valida-se todos os encaminhamentos de fibra ótica desde o CO até ao PDO. Ou seja, o objetivo deste teste é confirmar fibra a fibra (tubo-a-tubo, cor-a-cor) conforme a rede foi projetada. Isto é, na prática quando o sinal chegar a um determinado cliente numa fibra, no CO sabe-se qual é o *fiber source* que transporta o sinal ou quais as fibras que deram origem a aquele sinal. Enquanto nos testes de Reflectometria são executados para a validação das atenuações. É usado um instrumento optoelectrónico designado de OTDR, com um módulo VLR (*Very Long Range*). Isto é, emite o sinal suficiente para compensar as atenuações provocadas pelas fibras, fusões, *splitters*, conetores existentes na rede, etc. Este OTDR não funciona em modo de reflexão, o sinal é injetado no CO, concretamente no ODF e é medido no outro extremo da ligação, nos PDOs. Nestes, são utilizados um medidor de potência ótica designado de HFOP (*Handheld Fiber Optic Power*). A Figura 97 mostra o esquemático de teste de Reflectometria. Na figura da esquerda é possível verificar a injeção do sinal do OTDR no ODF, e medido no PDO com o HFOP que está apresentada na figura da direita. Este instrumento de teste, é utilizado na prática para medir a potência relativamente às

perdas associadas. As medidas são efetuadas nos dois extremos da ligação, em 3 comprimentos de onda: DS, US e RF *overlay*, 1490, 1310 e 1550 nm, respetivamente.

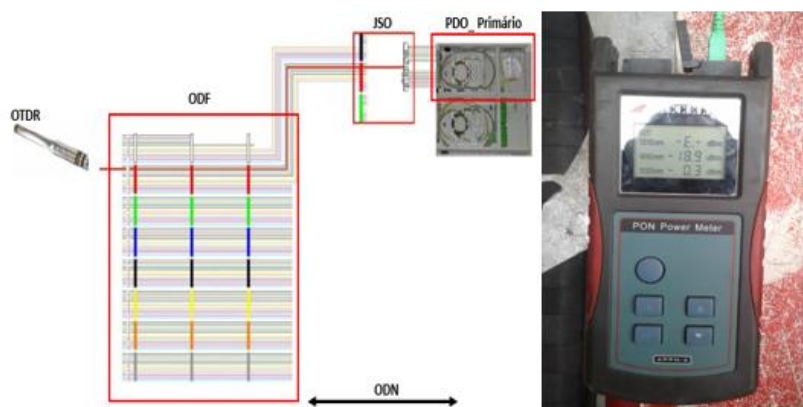


Figura 97 – Ensaio na rede FTTH[43]

Para edifícios ITED, o ensaio da rede ISP é feito utilizando uma caneta de luz visível designada de “*Visual Fault Locator*”. A caneta é conectada através de um *patch cord* nos conetores do PDO secundário, e valida-se conforme cadastro a chegada do sinal às *floorboxes*.

4.6. FASE 6: ENTREGA DO PROJETO FTTH À OPERADORA

A seguir à fase dos ensaios na rede, o SP entrega o projeto FTTH das células projetadas e faz também o lançamento do cadastro na plataforma da operadora. Isto é, as informações das fibras ativas nos PDOs que ligam os respetivos ONTs na rede dos clientes, serão lançadas na plataforma das operadoras. Quando estas quiserem ativar os serviços aos seus clientes, já sabem quais as fibras que foram projetadas para ligar os ONTs dos mesmos.

4.7. FASE 7: COMERCIALIZAÇÃO E MARKETING

A última fase é da inteira responsabilidade da operadora, onde é feita a comercialização e marketing. A operadora criou na sua página de internet um campo de pesquisa para que os clientes possam pesquisar a cobertura de fibra nas suas zonas. Estes ao introduzirem os dados, sabem se há ou não fibras nas suas residências e caso houver irão receber uma chamada telefónica para ativar os serviços.

5. PROJETO FTTH GPON NA ZONA DE LISBOA

Inicialmente foi-me dado o ficheiro KMZ da Figura 54 com o mapa da área de Lisboa, mas concretamente a zona de Benfica para projetar a rede FTTH. Juntamente com o primeiro, seguiu-se o ficheiro *AutoCad* com cartografia georreferenciada com as seguintes informações: infraestruturas de telecomunicações existentes na zona de Benfica, respetivos *surveys* e também a localização do CO. Este ficheiro já se encontrava preenchido com os carimbos em todos os edifícios, como mostra a Figura 98. Ou seja, a fase 1 já se encontrava concluída e fez com que começasse pela fase 2, que é a celulização. Tal como foi mencionada, a área a ser projetada está representada pela cor branca e nas proximidades da zona de futura expansão será deixada as fibras de reservas para cobrir essa zona, que posteriormente são construídas novas células.

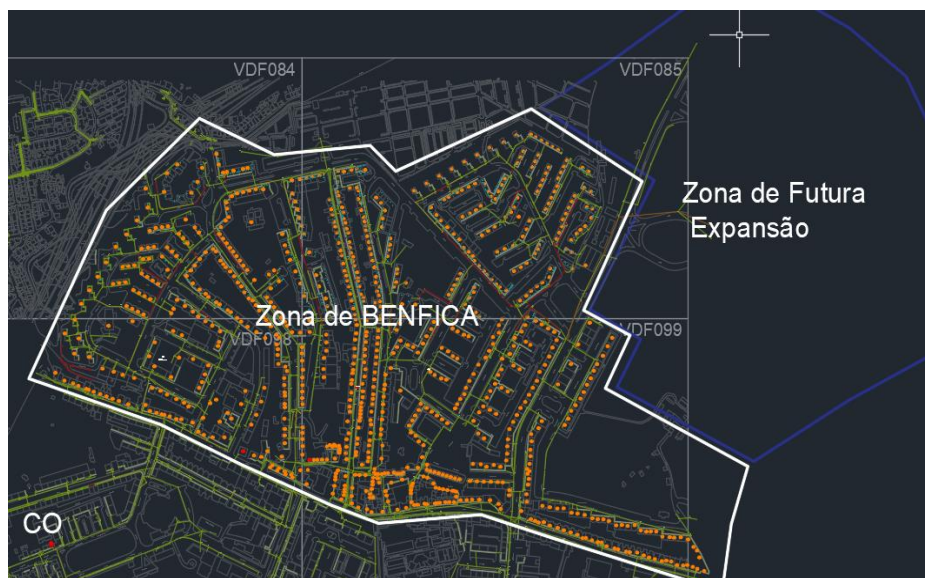


Figura 98 – Zona de Benfica

Na Figura 99 estão apresentadas de uma forma mais aprofundada a zona de Benfica da Figura 98, com os carimbos.



Figura 99 – Infraestruturas de telecomunicações e carimbos na zona de Benfica

5.1. Celulização na Zona de Benfica

Na Tabela 20 encontra-se especificadas, as dimensões médias e máximas de UAs das células para a zona de Benfica. Foi considerado que as dimensões médias de uma célula deverão ser 2000 UAs e máxima 2200 UAs, nas células fronteiras um mínimo de 1200 e um máximo de 1600 UAs. Ou seja, foi necessário calcular o número das FAP no cabo de 144 FO para alimentar as células.

Tabela 20 – Configurações das células na Zona de Benfica

	Dimensões médias [UAs]	Dimensões máximas [UAs]
Células	2000	2200
Zona de Futura Expansão	1200	1600

Utilizando a equação (6) obteve-se o número de FAP para as dimensões máximas das células na zona de Benfica.

$$N^{\circ} \text{ de Fibras} = \frac{2200 \text{ UAs}}{32} = 69 \text{ FO} \quad (6)$$

Significa que são necessárias 69 FAP para alimentar 2200 UAs. São adicionadas 5 fibras no cabo na ODN (ver a equação (5)) para compensar os desperdícios de fibras nas JSOs, ou seja, são fibras adicionadas para compensar os edifícios de UAs impar e Microcélulas fora do limite superior de UAs, apresentados na Tabela 11. Então concluiu-se que, são necessárias 74 FAP (69 FAP + 5 FAP) no cabo de 144 FO para fazer FTTH nas células na zona de Benfica. Para ligação ponto-a-ponto são sempre reservadas 24 FAP, para tal, calculou-se na equação (7) as fibras necessárias de reservas nas células.

$$\text{Fibras de Reservas} = 144 \text{ FO} - (74 \text{ FO} + 24 \text{ FO}) = 46 \text{ FO} \quad (7)$$

Na Tabela 21 está apresentada a definição das fibras no cabo de 144 FO, que irão ligar as células na zona de Benfica.

Tabela 21 – Definição das fibras no cabo de 144 FO na zona de Benfica

Cabo de 144 FO	Designação das fibras
74 FAP (37 FAP OP1 + 37 FAP OP2)	FTTH na célula
24 FAP (OP1)	Ponto-a-Ponto
46 FAP (OP1)	Reservas

Os resultados apresentados na Tabela 21, são para o caso de todas as células serem dimensionadas com as dimensões máximas apresentadas na Tabela 20. Só que na prática, nem todas as células estarão nesse limite, normalmente estarão entre as dimensões médias e máximas, o que significa que mais à frente serão feitos os mesmos cálculos para a célula que se pretende cobrir no projeto.

Na Tabela 21, as fibras ponto-a-ponto e fibras de reservas são reservadas apenas para a OP1. A OP2 tem o interesse apenas em construir a rede FTTH, visto que ela é responsável pelas condutas. Enquanto a OP1 não tem qualquer infraestrutura física de rede em Portugal, então ela tem o interesse em criar a sua rede FTTH, deixar fibras de reservas e fibras para ligações ponto-a-ponto em cada célula projetada.

Na Figura 100 está apresentada a Celulização da zona de Benfica, que foi dividida em 6 células designadas de: BEN01, BEN02, BEN03, BEN04, BEN05 e BEN06. Cada uma destas estão apresentadas em diferentes *layers*.

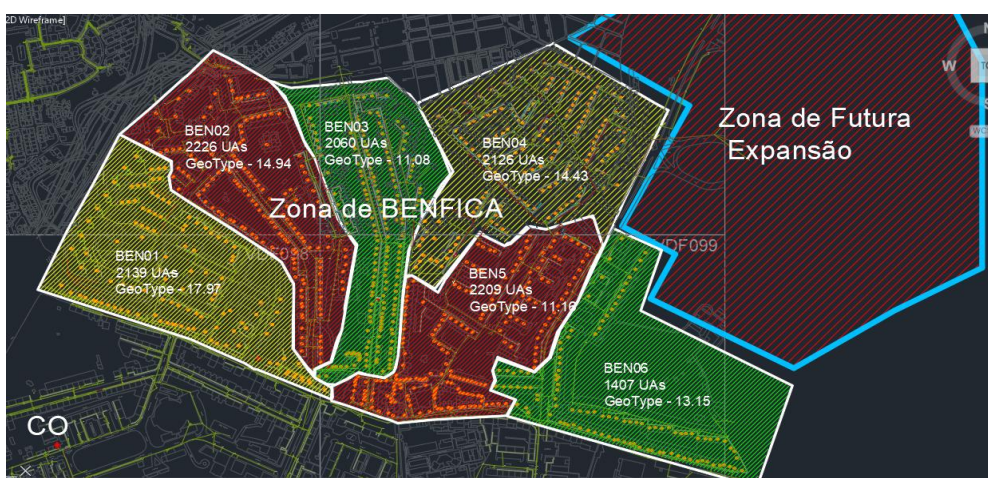


Figura 100 – Celulização na zona de Benfica

Na Tabela 22, está apresentada a composição de cada uma das células, em termos de número de UAs e *Geo Type*.

Tabela 22 – Composição das células na zona de Benfica

Células	Número de UAs	<i>Geo Type</i>
BEN01	2139	17,97
BEN02	2226	14,94
BEN03	2060	11,08
BEN04	2126	14,43
BEN05	2209	11,16
BEN06	1407	13,15

Há situações em que não são respeitadas o limite máximo de UAs, devido as infraestruturas de telecomunicações existentes na prática. Por exemplo, uma rua com

vários edifícios cuja alimentação é em fachada, que poderão ser alimentados pelo mesmo cabo, na prática não faz sentido aquela rua pertencer a duas células. O objetivo é construir as células em função das infraestruturas de telecomunicações existentes. Caso existirem células com dimensões fora desses limites, será necessário justificação e aprovação da operadora.

A função de uma rede FTTH, é transportar o sinal até a rede do cliente com “adequada” qualidade e garantindo continuidade dos serviços. Com a Celulização na zona de Benfica e a localização do CO apresentada na Figura 100, o próximo passo será definir no projeto o “melhor” percurso em condutas, para a passagem dos cabos vetor para alimentar as células. Ou seja, esses cabos devem seguir em condutas para protegerem a ligação das mesmas. Como são 6 células, então serão necessários 2 cabos de 432 FO para alimentá-las. Na Figura 101, encontra-se especificada uma representação da zona de Benfica, que mostra dois cabos de 432 FO provenientes do CO para alimentar as células. Sendo que o primeiro cabo liga as células BEN01, BEN02 e BEN03 e o segundo as células BEN04, BEN05 e BEN06. Caso surjam vários edifícios na zona de futura expansão, que ultrapassam o número de fibras de reservas, aqueles edifícios irão pertencer a novas células que serão criadas nessa zona. Isto é, do CO será projetado um novo cabo para alimentar essas novas células. Se a distância entre o CO e a zona de futura expansão ultrapassar os 10 km, será construído um novo CO, para alimentar as futuras células.

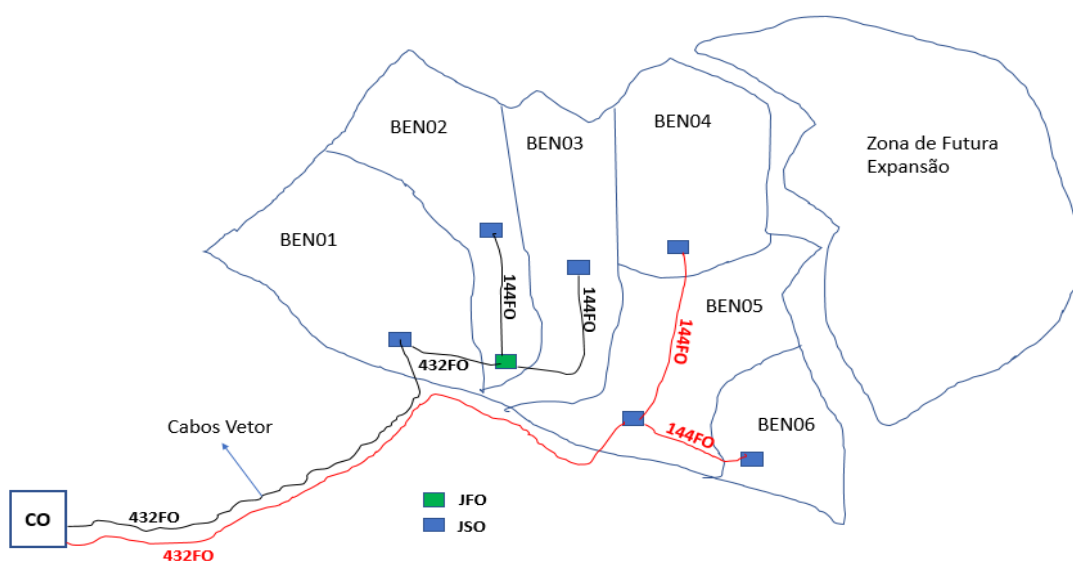


Figura 101 – Esquemático da zona de Benfica

Por questão de organização das fibras nos cabos, a operadora definiu que as primeiras fibras ou os primeiros tubos vão para o equipamento mais distante. Por exemplo, no cabo de 432 FO que liga BEN04, BEN05 e BEN06, apresentado na Figura 101, as fibras das posições 1 a 144 são fusionadas no cabo de 144 FO que vai para a célula BEN04, das posições 145 a 288 são fusionadas no outro cabo de 144 FO que liga a célula BEN06, enquanto as posições 289 a 432 permanecem na JSO que está na BEN05. Na Figura 102 estão apresentadas as ligações das células no projeto *AutoCad*. O cabo que sai do CO que alimenta BEN01, BEN02 e BEN03 está representada pela cor vermelha, enquanto o que liga as células BEN04, BEN05 e BEN06 pela cor amarela.



Figura 102 – Ligação das Células

5.2. Microcelulização da Célula BEN04

Foi escolhida a célula BEN04 para construir a rede FTTH, porque esta encontra-se situada próxima da zona de futura expansão, com intuito de projetar a rede e deixar fibras de reservas numa JSO próxima da mesma. Para tal, são necessárias calcular quantas fibras é que são necessárias para alimentar as 2126 UAs existentes na célula BEN04, que foram apresentadas na Tabela 22. Utilizando a equação (8), calculou-se quantas FAP que são necessárias no cabo amarelo de 144 FO que liga a célula BEN04, apresentado na Figura 102.

$$N^{\circ} \text{ de Fibras} = \frac{2126 \text{ UAs}}{32} = 67 \text{ FO} \quad (8)$$

De seguida somou-se mais 5 FAP a esse resultado para compensar os desperdícios, dando um total de 72 FAP. A Tabela 23 mostra a definição das fibras no cabo de 144 FO que alimenta a célula BEN04.

Tabela 23 – Definição das fibras no cabo de 144 FO que alimenta a célula BEN04

Cabo de 144 FO	Designação das fibras
72 FAP (36 FAP OP1 + 36 FAP OP2)	FTTH na célula
24 FAP (OP1)	Ponto-a-Ponto
48 FAP (OP1)	Reservas

Com as fibras definidas no cabo para alimentar a célula BEN04 na Tabela 23, iniciou-se o processo da Microcelulização da mesma. Isto é, esta foi subdividida em Microcélulas de acordo com os 4 tipos de configurações possíveis definidas pela operadora na Tabela 11. A célula BEN04 foi dividida em 11 Microcélulas, como mostra a Figura 103. Estas estão compreendidas entre o limite médio e limite superior, com o objetivo de ter menos desperdícios possíveis em cada JSO.



Figura 103 – Microcelulização na célula BEN04

A Tabela 24 apresenta a composição de cada uma das Microcélulas da célula BEN04, ou seja, números de UAs, *Geo Type* e tipos de configurações. A MC01 é composta por 237 UAs e 7 edifícios com número ímpares de UAs, então adiciona-se 7 UAs para que a rede

fosse projetada para uma taxa de penetração de 50 % para as duas operadoras. A MC02_PDO foi atribuída a um edifício ITED existente dentro da MC02 que é composto por 59 UAs. Sempre que houver edifícios dentro de uma Microcélula, com números de UAs compreendidas entre o limite médio e superior de UAs da Conf. I da Tabela 11, para aquele edifício será projetada FAP de forma que a divisão ótica seja feita no PDO que alimenta o mesmo. Através da Tabela 24, na coluna “Numero de UAs” é possível verificar que foram adicionadas um total 47 UAs na célula BEN04 para compensar os edifícios de número ímpar de UAs, ou seja, será necessário deixar 47 fibras ativas na célula. As fibras de desperdícios foram calculadas em cada Microcélula de seguinte modo: subtraiu-se o total de UAs dos limites superiores das configurações I, II, III e IV apresentadas na Tabela 11, pelo o total de UAs em cada Microcélula apresentadas na Tabela 24, que dão um total de 67 fibras. Resumindo e concluído, o total de fibras ativas desperdiçadas na célula BEN04 são de 67, razão pela qual foram adicionadas 160 fibras (5 FAP x 32) para as compensar.

Tabela 24 – Composição das Microcélulas

Microcélulas	Números de UAs	Geo type	Conf.	Desperdícios [Fibras]
MC01	237UAs + 7UAs_imp = 244UAs	19,92	IV	12 (256-244)
MC02	247UAs + 5UAs_imp = 252UAs	22,45	IV	4 (256-252)
MC02_PDO	59UAs + 1UAs_imp = 60UAs	-	I	4 (64-60)
MC03	174UAs + 6UAs_imp = 180UAs	12,43	III	12 (192-180)
MC04	189UAs + 3UAs_imp = 192UAs	17,18	III	0 (192-192)
MC05	190UAs + 2UAs_imp = 192UAs	11,06	III	0 (192-192)
MC06	177UAs + 5UAs_imp = 182UAs	10,41	III	10 (192-180)
MC07	128UAs = 128UAs	14,78	II	0 (128-128)
MC08	183UAs + 8UAs_imp = 191UAs	13,07	III	1 (192-191)
MC09	123UAs + 1UAs_imp = 124UAs	11,18	II	4 (128-124)
MC10	243UAs + 3UAs_imp = 246UAs	12,15	IV	10 (256-246)
MC11	176UAs + 6UAs_imp = 182UAs	16,00	III	10 (192-182)
Total	2173 UAs (2126UAs + 47UAs_imp)	-	-	67 fibras

Para alimentar os edifícios existentes nas Microcélulas será necessário definir o ponto de divisão ótica em cada Microcélula e também definir as fibras no cabo para as duas

operadoras, ou seja, quando um técnico for ao terreno construir a célula BEN04, ele saberá quais as fibras ou tubos no cabo é que pertencem a OP1 e quais é que pertencem a OP2. No entanto, a OP1 definiu que as primeiras 60 fibras, ou por outras palavras, os 5 primeiros tubos (tubo 1, 2, 3, 4 e 5) no cabo de 144 FO pertencem a ela. Então na Tabela 25 os 5 primeiros tubos são reservados para a OP1, de seguida são reservadas as 36 FAP da OP2 para fazer FTTH na célula, que são 3 tubos, tubo 6, 7 e 8. De forma que as fibras para fazer FTTH seguem juntas no cabo, a OP1 reserva as 36 FAP para fazer FTTH nos 5 primeiros tubos, ou seja, serão os tubos 3, 4 e 5. As 24 FAP de ligação ponto-a-ponto são sempre os últimos 2 tubos do cabo, tubo 11 e 12. Os tubos que sobraram, tubo 1, 2, 9 e 10, serão para fibras de reservas no cabo para a OP1.

Tabela 25 – Definição das fibras no cabo de 144 FO

Cor dos tubos	Número dos tubos	Operadoras	Fibras nos Tubos	Designações dos Tubos
Branco	1	OP1	1 – 12	Reservas
Vermelho	2	OP1	13 – 24	Reservas
Verde	3	OP1	25 – 36	FTTH_OP1
Azul	4	OP1	37 – 48	FTTH_OP1
Preto	5	OP1	49 – 60	FTTH_OP1
Amarelo	6	OP2	61 – 72	FTTH_OP2
Laranja	7	OP2	73 – 84	FTTH_OP2
Cinzento	8	OP2	85 – 96	FTTH_OP2
Castanho	9	OP1	97 – 108	Reservas
Violeta	10	OP1	109 – 120	Reservas
Rosa	11	OP1	121 – 132	Ponto-a-Ponto
Turquesa	12	OP1	133 – 144	Ponto-a-Ponto

5.3. Ponto de Divisão Ótica nas Microcélulas

O próximo passo do projeto será definir o ponto de divisão ótica (JSO) em cada Microcélula, ou seja, é o ponto em que são *splittadas* as FAP e de seguida saem as FAS para alimentar cada edifício existente nas Microcélulas. Também será definida a ligação das Microcélulas, ou seja, projetar o cabo de 144 FO (cabo vetor) para ligar cada uma das Microcélulas.

De forma a otimizar o custo na rede, o grande objetivo da operadora é que o cabo vetor entre na célula e alimenta várias Microcélulas sem corte. Isto é, projetar o cabo

representado pela cor amarela na Figura 103, para alimentar várias JSO sem corte, com o intuito de fazer menos fusões possíveis. Cada fibra fusionada a operadora irá pagar ao SP um valor de 7,13 €, mais o valor das instalações dos cabos e também irá pagar a outra operadora pelo aluguer das condutas.

A Figura 104 mostra o ponto de divisão ótica nas Microcélulas e a definição do cabo vetor na célula BEN04, representados no *Google Earth*. O limite da célula está representado pela cor azul e a divisão das Microcélulas pela cor verde, da MC01 até a MC11. Os identificadores amarelos identificam os pontos de divisão ótica (JSOs) em cada Microcélula. O cabo vetor de 144 FO que está representado pela cor amarela entra na célula (em condutas) através da MC02. De seguida, representado pela cor vermelha, segue sem corte para a MC03, depois para a MC04, MC05, MC06, MC08, MC10 até a MC11. Da MC02 para MC01, MC02_PDO, da MC06 para MC07 e da MC08 para MC09, são instalados outros cabos.



Figura 104 – Definição do cabo vetor

O cabo de 144 FO entra na célula BEN04 e vai sem corte até a MC11, o que permite concluir que as fibras de reservas na célula e as fibras ponto-a-ponto seguem no cabo sem corte até a MC11. Pois, esta é considerada a junta mais próxima da zona de fronteira. As fibras ponto-a-ponto serão reencaminhadas para a MC11, porque garantem em qualquer Microcélula, fibras ativas para clientes empresariais. Isto é, caso no projeto essas fibras foram deixadas na MC02, e surgir clientes empresariais na MC11 a querer serviços ponto-a-ponto, na prática era necessário reencaminhar essas fibras da

MC02 até a MC11, de seguida da MC11 até à rede do cliente empresarial. Por essa razão, serão reencaminhadas para a MC11, estando nesta significa que em qualquer Microcélula onde passa o cabo de 144 FO estão as fibras ponto-a-ponto disponíveis.

Para cada Microcélula é preciso calcular os PDOs a serem instalados nos edifícios, para que de seguida seja desenhada a rede das JSOs até aos mesmos. Para calculá-los é fundamental conhecer o tipo de alimentação de cada edifício, que ditará o tipo de PDO a ser instalado. Para os edifícios cuja a alimentação é por fachada, calcula-se a área de influência dos PDOs de fachada, ou seja, um PDO de fachada poderá alimentar mais que um edifício. Foi definido na Tabela 19 que cada PDO de fachada alimenta entre 5 a 24 UAs, então na Figura 105 está apresentada a área de influência do PDO de fachada instalado numa rua composta por 3 edifícios. O edifício da esquerda e o do meio são constituídos por 6 UAs, enquanto o edifício da direita por 8 UAs, dando um total de 20 UAs. Significa isto que, o PDO de fachada a ser instalado irá alimentar os 3 edifícios, ou seja, em termos do projeto no software *AutoCad* a área de influência deste PDO, representada pela cor laranja na Figura 105, abrange os 3 edifícios.



Figura 105 – Área de influência do PDO

5.4. Rede Primária da Célula BEN04

A rede primária define as ligações do cabo de 144 FO entre as Microcélulas. Na prática significa projetar a rede construída no *Google Earth* apresentada na Figura 104, para o software *AutoCad*.

Será calculada quantas FAP são necessárias em cada JSO para alimentar os PDOs nos edifícios. Isto é, em cada uma Microcélula é importante saber quantas FAP provenientes no cabo de 144 FO do CO, são necessárias *splittar* nas respetivas JSOs. Utilizando a equação (9), calculou-se as FAP para a MC01, ou seja, dividiu-se o número total de UAs

na MC01 por 32, que é o rácio máximo de uma fibra no cabo na ODN. Significa isto que, na prática para alimentar as 244 UAs da MC01 são necessárias 8 FAP, 4 FAP para a OP1 mais 4 FAP para a OP2, no cabo proveniente do CO.

$$FAP_{MC01} = \frac{244 \text{ UAs}}{32} = 8 \text{ FAP} \quad (9)$$

Na Tabela 26 encontra-se calculada as FAP para todas as Microcélulas, onde os números de FAP são divididos por duas operadoras.

Tabela 26 – Cálculo das FAP

Microcélulas	Números de UAs	FAP	FAP por OP [FAP]	
			OP1	OP2
MC01	244	8	4	4
MC02	252	8	4	4
MC02_PDO	60	2	1	1
MC03	180	6	3	3
MC04	192	6	3	3
MC05	192	6	3	3
MC06	182	6	3	3
MC07	128	4	2	2
MC08	191	6	3	3
MC09	124	4	2	2
MC10	246	8	4	4
MC11	182	6	3	3
Total	2173 UAs (2126 + 47)	70 FAP	35	35

Foram apresentadas na Tabela 23 que eram precisas 72 FAP para fazer FTTH na célula BEN04. Na Tabela 26 somou-se as FAP necessárias para fazer FTTH em cada JSO, dando um total de 70 FAP, ou seja, menos 2 FAP. Isto porque, o total de fibras ativas desperdiçadas na célula BEN04 foi de 67 FAS, que são 3 FAP (67/32). Então, das 5 FAP adicionadas na equação (5) foram utilizadas 3 e sobraram 2 FAP. Estas 2 FAP serão adicionadas às fibras de reservas na célula para a zona de futura expansão, que passarão a ser 50 FAP. Na Tabela 27 está apresentada novos cálculos das fibras no cabo de 144 FO, para as duas operadoras cobrirem a célula BEN04.

Tabela 27 – Definição das fibras no cabo de 144 FO para as Microcélulas

Cabo de 144 FO	Designação das fibras
70 FAP (35 OP1 + 35 OP2)	FTTH na célula
24 FAP (OP1)	Ponto-a-Ponto
50 FAP (OP1)	Reservas

Com o total de fibras de reservas, calculou-se quantas UAs no máximo que a zona de futura expansão pode ter, isto é, multiplicou-se 50 FAP por 32 que dá um total de 1600 UAs.

A Figura 106 ilustra a rede primária da célula BEN04 no *software AutoCad*, com os cabos a ligarem as JSOs nas Microcélulas, a definição das áreas de influências e os respetivos PDOs nos edifícios.



Figura 106 – Rede primária da célula BEN04

5.5. Sinóptico da Rede Primária

O sinóptico da rede primária é a representação esquemática das Microcélulas, das UAs, das FAP e das capacidades dos cabos existentes na célula BEN04, conforme ilustra a Figura 107. Isto é, fez-se um esquemático da rede primária em que cada triângulo representa uma Microcélula da Figura 106, com as respetivas ligações dos cabos. As Microcélulas encontram-se apresentadas pelo número total de UAs e número de FAP

para fazer FTTH nas mesmas. Através da Figura 107, é possível verificar o cabo de 144 FO a entrar na célula a partir da MC02, de seguida são distribuídas as FAP calculadas na Tabela 26 nas mesmas. Na MC11 encontra-se especificadas as FAP de reservas e ponto-a-ponto.

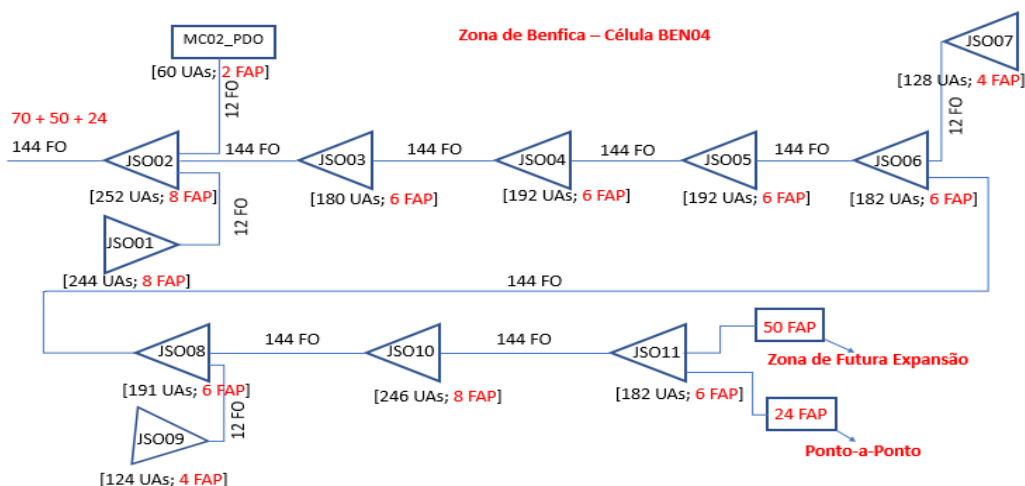


Figura 107 – Sinóptico da rede primária

As capacidades de cada troço de cabos que ligam as Microcélulas apresentadas no sinóptico da Figura 107, foram calculadas a partir da Tabela 28. Ou seja, a operadora definiu que as capacidades dos cabos a instalar na prática são calculadas acordo com o número de fibras ativas no cabo. Por exemplo, através da tabela pode-se verificar que um cabo com numero de fibras ativas entre 1 a 10, a capacidade deste a instalar no terreno será um cabo de 12 FO, assim sucessivamente.

Tabela 28 – Capacidade dos cabos[43]

Nº de Fibras Ativas no Cabo	Capacidade dos Cabos [FO]
[1 – 10]	12
[11 – 21]	24
[22 – 32]	36
[33 – 43]	48
[44 – 64]	72
[65 – 86]	96
[87 – 129]	144
[130 – 259]	288
[260 – 432]	432

As FAP no cabo em cada troço na rede primária são calculadas da última JSO que o cabo alimenta até a primeira JSO, ou seja, da JSO11 até a JSO02. Então na Figura 108 somou-se na JSO11 as FAP de reservas para zona de futura expansão, mais as FAP ponto-a-ponto mais as FAP para fazer FTTH na mesma, dando um total 80 FAP (50 FAP + 24 FAP + 6 FAP). Ou seja, no troço do cabo que liga a JSO11 terá 80 FAP. De seguida, para calcular as FAP que vão no troço do cabo que liga a MC10, soma-se as 80 FAP da JSO11 mais 8 FAP para fazer FTTH na JSO10, significa que o troço que liga a JSO10 terá 88 FAP. No cabo que liga a JSO08 terá 80 FAP da JSO11, mais 8 da JSO10, mais 4 FAP que vão para a JSO09 e mais 6 que ficam na JSO08 para alimentar as 191 UAs da mesma, dando um total de 98 FAP. Fez-se o mesmo para os outros troços até chegar a JSO02. Através das FAP nos troços dos cabos da Figura 108, utilizando a Tabela 28, pode-se concluir que o cabo de 144FO que entra na célula na JSO02 segue sem corte até a JSO11, e em cada JSO são deixadas as FAP para fazer FTTH nas mesmas, conforme foi apresentado na Figura 107. Da JSO10 a JSO11 são 80 FAP, e através da Tabela 28, estas poderiam ser reencaminhadas no cabo de 96 FO, só que compensa passar o cabo de 144 FO sem corte do que fazer 80 fusões para o cabo de 96 FO. Como foi dito anteriormente, cada fusão custa 7,13 €, então para além de pagar aluguer das condutas, a OP1 pagaria ao SP aproximadamente 571 € para fazer 80 fusões no cabo de 96 FO. Nos troços em que as FAP então compreendidas entre 2 a 8 FAP (ver Figura 108), por exemplo da JSO02 a JSO01 e MC02_PDO, da JSO06 a JSO07, da JSO08 a JSO09, instalou-se o cabo de 12 FO, conforme foi mostrado na Figura 107.

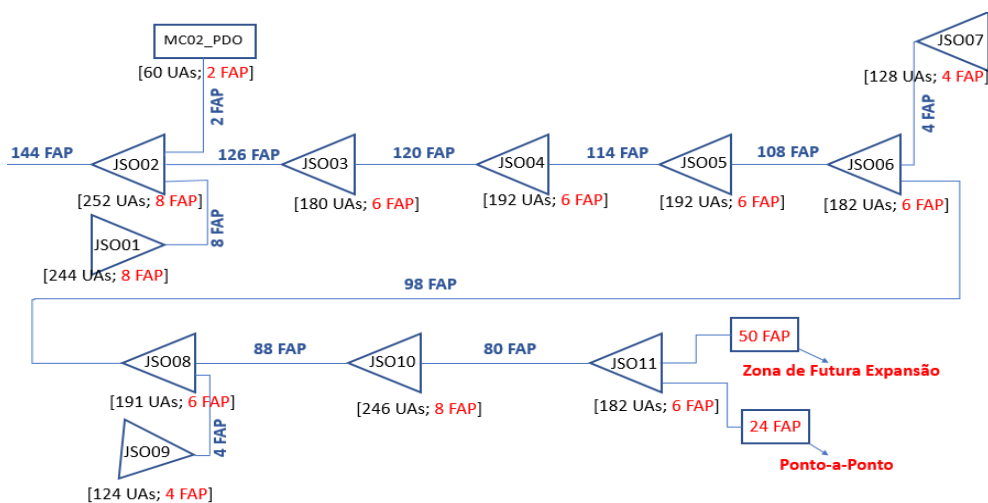


Figura 108 – Cálculo da capacidade dos cabos da rede primária

Os cabos em cada troço na rede primária são codificados de acordo com os números de fibras ativas existentes nos mesmos. Ou seja, através da Figura 108 o troço com maior número de FAP terá a codificação 01, o troço a seguir terá a codificação 02, assim sucessivamente, conforme mostra a Figura 109. A codificação dos cabos na rede primária segue a Tabela 13.

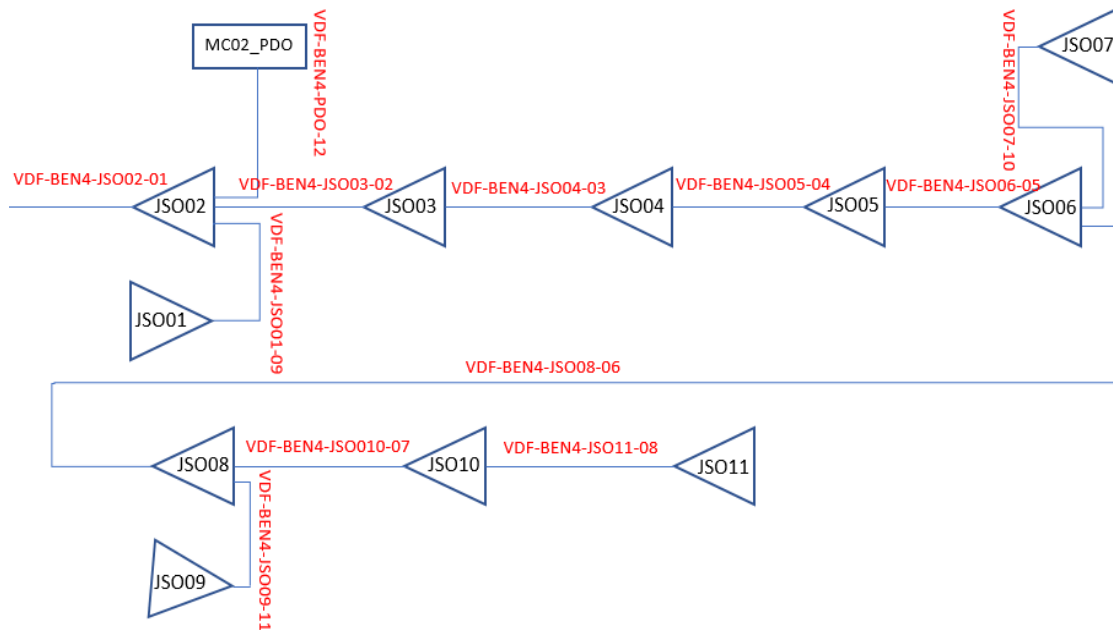


Figura 109 – Codificação dos cabos da rede primária

5.6. Rede Secundária da Célula BEN04

Tendo a rede primária construída da célula BEN04 e o sinóptico da mesma, o próximo passo será desenhar a rede secundária a partir das JSOs até aos PDOs. Ou seja, a seguir a divisão ótica, desenhar a rede para alimentar os edifícios na célula. Para edifícios próximos das JSOs saem cabos em condutas, em fachadas ou em postes para alimentar os mesmos. Para aqueles edifícios que se encontram afastados das JSOs, normalmente são fusionadas nas JSOs as FAS de todos aqueles edifícios num cabo de grande capacidade, e reencaminhado até um ponto próximo daqueles edifícios, onde é instalado uma JFO. A partir desta saem cabos para alimentar os mesmos. A grande vantagem da instalação das JFOs nas Microcélulas, está na otimização de números de cabos a serem instalados em condutas. Na Figura 110 encontra-se a rede secundária da MC01, que é alimentada por um cabo de 12 FO, representado pela cor vermelha que leva 8 FAP até a JSO01. A partir desta, saem os cabos representados pela cor amarela,

para alimentarem os edifícios Rita-Fachada que se encontram próximos da mesma. Para aqueles que se encontram afastados da JSO01, sai um cabo de grande capacidade em condutas até a JFO01, a partir desta saem cabos de pequenas capacidades para alimentar os PDOs de interior.

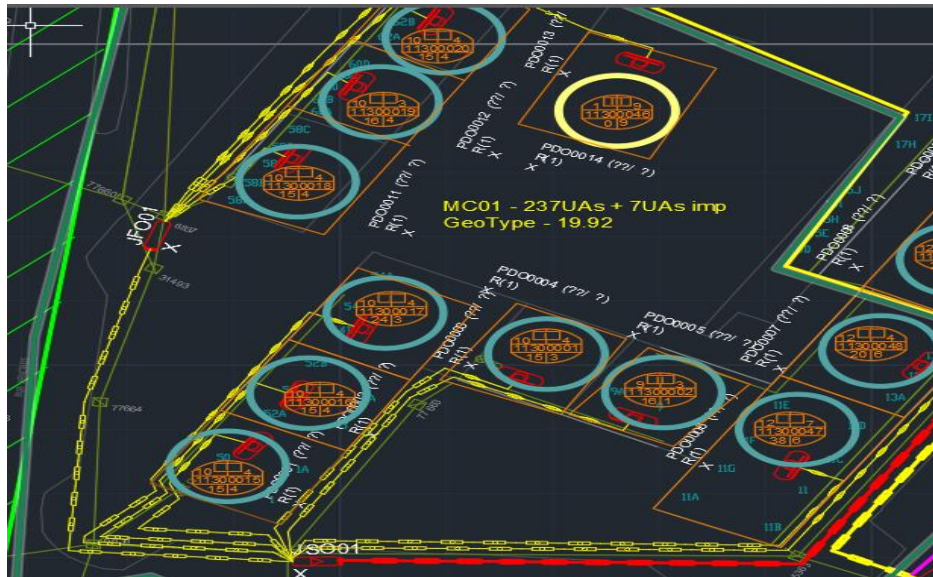


Figura 110 – Desenho da rede secundária da MC01

Na Figura 111 encontra-se o projeto da construção da rede secundária da célula BEN04.

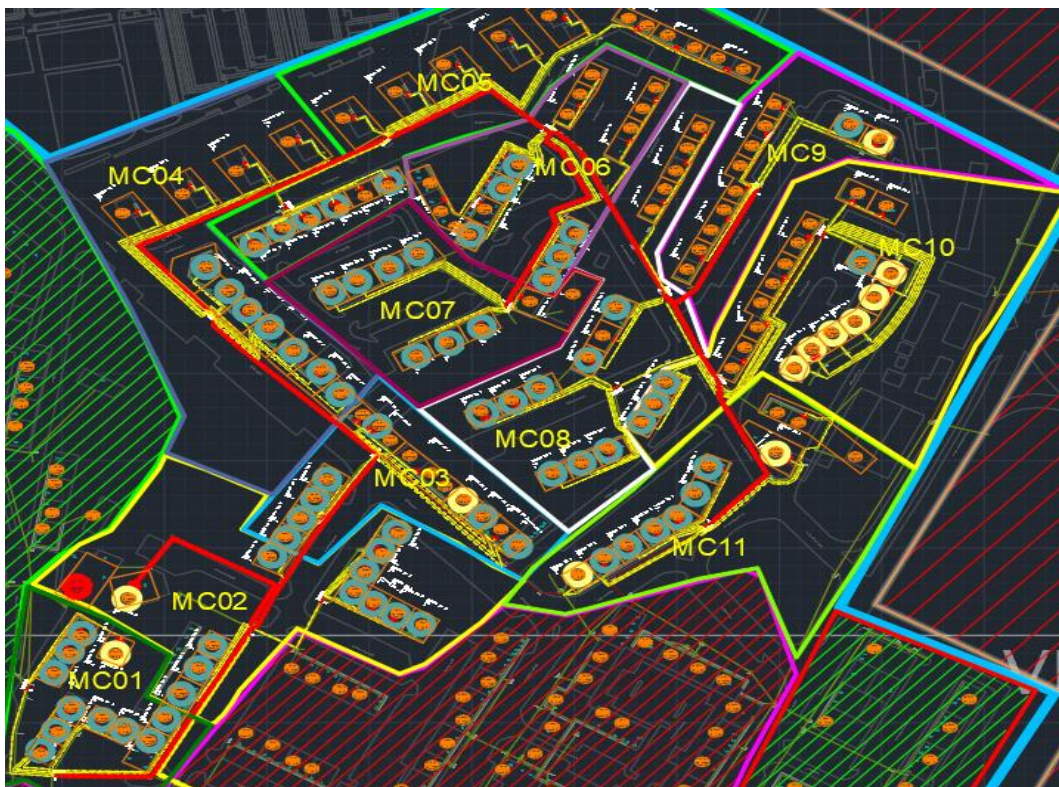


Figura 111 – Desenho da rede secundária da célula BEN04

Nesta fase a rede está contruída até aos PDOs, isto é, para edifícios não ITED a rede já se encontra desenhada. Para edifícios ITED, é preciso projetar a rede até a última *floorbox* instalada na coluna montante.

Das 11 Microcélulas existentes na célula BEN04, será analisada apenas a projeção da rede ISP na MC01.

5.7. Sinóptico da Rede Secundária da MC01

A partir da rede secundária construída no ficheiro *AutoCad* da Figura 111, criou-se o sinóptico da rede secundária para cada uma das Microcélulas. Na Figura 112 está apresentado o sinóptico da MC01 para explicar: a divisão ótica das FAP na JSO01 para as duas operadoras, os cálculos das FAS nos cabos para ligar os PDOs na MC01 e o projeto da rede ISP nos edifícios ITED na mesma Microcélula. Mais à frente, será analisado os mapeamentos dos cabos vetor da célula BEN04 e no CO (Armário Agregador e ODF), os cálculos dos comprimentos dos cabos, e por fim os cálculos das atenuações teóricas.

Na construção do sinóptico da rede secundária da Figura 112, o primeiro cabo representado na JSO01 é aquele que tiver maior número de FAS, ou seja, o sinóptico é construído por ordem decrescente de número de FAS no cabo. Isto é, o cabo que liga a JFO01 supostamente terá o maior número de FAS pois devido aos números de UAs nos PDOs que este alimenta, de seguida o cabo que liga o PDO0006, é o cabo a seguir que tem maior número de UAs, assim sucessivamente. Esta organização é feita para facilitar a codificação dos cabos.

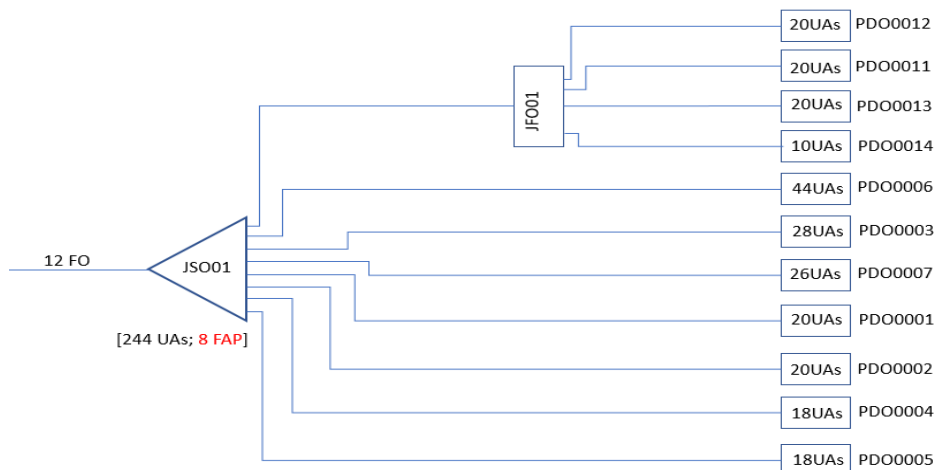


Figura 112 - Sinóptico da rede secundária da MC01

Cada JSO dentro da célula BEN04 terá uma tabela de divisão ótica que especifica as fibras que serão *splittadas* para as duas operadoras. A Tabela 29 mostra a tabela de divisão do cabo de 12 FO da JSO01, onde é possível verificar através da coluna designada de “cor fibra” a divisão de 8 FAP. As primeiras 4 FAP são *splittadas* pela OP1 e as 4 FAP seguidas pela OP2. As últimas 4 fibras no cabo são fibras sem sinal que permanecem de reservas no cabo. Isto é, a partir desta tabela quando um técnico for ao terreno construir a MC01, sabe quais as fibras é que são *splittadas* pelo rácio de 1:32 e quais *splittadas* pelo rácio de 1:8, pertencentes a OP1 e OP2, respetivamente.

Tabela 29 – Tabela de divisão ótica da JSO01

Equipamento:		JSO01					
Infraestrutura:							
INPUT							
Codificação do Cabo	Capacidade	Nº Tubo	cor tubo	fiber source	fibra	cor fibra	Operadoras
VDF-BEN4-JSO01-09	12	1	Branco	1	1	Branco	OP1_SP1_ 1:32
	12			2	2	Vermelho	OP1_SP2_ 1:32
	12			3	3	Verde	OP1_SP3_ 1:32
	12			4	4	Azul	OP1_SP4_ 1:32
	12			5	5	Preto	OP2_SP1_ 1:8
	12			6	6	Amarelo	OP2_SP2_ 1:8
	12			7	7	Laranja	OP2_SP3_ 1:8
	12			8	8	Cinzento	OP2_SP4_ 1:8
	12			9	9	Castanho	Fibra sem sinal
	12			10	10	Violeta	Fibra sem sinal
	12			11	11	Rosa	Fibra sem sinal
	12			12	12	Turquesa	Fibra sem sinal

5.8. Cálculos das FAS nos Cabos da MC01

As FAS que saem dos *splitters* instalados nas JSOs são distribuídas aleatoriamente nos cabos que saem dos mesmos para ligar os PDOs. Por exemplo, as saídas dos *splitters* de 1:32 instalados pela OP1 serão distribuídas pelos diferentes cabos para ligar os PDOs. Para tal, as duas operadoras optaram por uma estratégia eficaz na ligação das fibras à saída dos divisores óticos nas JSOs para ligar as UAs, com intuito de não haver migrações em massa dos clientes para outras operadoras. Isto é, no caso uma fibra proveniente do CO ficar sem sinal, na prática não afetará todos os ONTs no mesmo edifício ou piso. No entanto, criaram a tabela de configuração das JSOs, apresentada na Figura 113, onde é possível verificar que as fibras à saída dos *splitters* ligam as UAs em edifícios diferentes. Por exemplo, no primeiro *splitter* de 1:32 na JSO, a primeira saída do mesmo liga uma

UA no edifício (a), a segunda saída liga uma UA no edifício (b), a terceira no (c), assim sucessivamente.

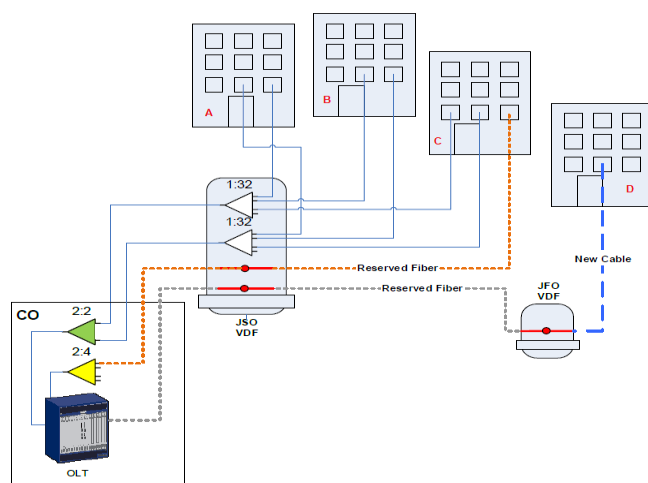


Figura 113 – Configuração da JSO da OP1[43]

Através do esquema de ligação apresentada na Figura 113, as operadoras conseguem oferecer diferentes tipos de largura de banda em DS aos clientes residenciais e empresariais. Ou seja, as fibras provenientes do OLT e que passam pelas cassetes verdes no CO, estas são *splittadas* no rácio de 1:32 na JSO, então conseguem oferecer um débito de transmissão em DS até 100 Mbps aos clientes residenciais. As que passam pelas cassetes amarelas e que não são *splittadas* na JSO, também direcionadas aos clientes residenciais oferecem débitos fixos de 100, 200 e 400 Mbps. Por fim, as fibras ponto-a-ponto provenientes do OLT e que não passam pelo rácio de divisão ótica, podem possibilitar aos clientes empresariais um débito binário até 2,5 Gbps.

A Tabela 30 apresenta as configurações da JSO01 para a OP1, ou seja, como é que as FAS são distribuídas no cabo para alimentar as UAs nos PDOs. Para alimentar o PDO0012 de 20 UAs apresentado na Figura 112, a OP1 leva 10 FAS. Através da Tabela 30, as 10 FAS são procedentes de: 3 FAS do SP1_N1, mais 3 FAS do SP2_N2, 3 FAS do SP3_N3 e 1 FAS do SP4_N4. Para alimentar o PDO0011 são precisas 10 FAS no cabo que liga o mesmo, então através da Tabela 30 essas fibras são provenientes de: 3 FAS do SP1_N1, mais 3 FAS do SP2_N2, 2 FAS do SP3_N3 e 2 FAS do SP4_N4. Para os outros PDOs, as fibras que alimentam os mesmos seguem a mesma tabela. As 32 saídas dos divisores óticos são contabilizadas na última linha da Tabela 30, para um total de 122 UAs que a OP1 terá que alimentar na MC01. Havendo desperdícios na junta, serão deixadas

sempre no último *splitter* instalado na JSO. Sendo então, as 6 FAS de desperdícios para OP1 na JSO01, estão no SP4_N4. Na última coluna, “FAS para os PDOs”, encontra-se o número de FAS que a OP1 reencaminha nos cabos que ligam os PDOs na MC01.

Tabela 30 – Configurações da JSO01 para a OP1

ZONA:	JSO01	BEN04						
PROJ:			OP1					
Total Uas na célula	244UAs = 8FAP		1:32					
PDO/JFO	Uas (HPs) Totais	UAs 50%	SP1_N1	SP2_N2	SP3_N3	SP4_N4	FAS para os PDOs	
PDO0012	20	10	3	3	3	1	10	
PDO0011	20	10	3	3	2	2	10	
PDO0013	20	10	2	2	3	3	10	
PDO0014	10	5	1	1	2	1	5	
PDO0006	44	22	6	6	5	5	22	
POD0003	28	14	4	4	4	2	14	
PDO0007	26	13	3	3	4	3	13	
PDO0001	20	10	2	2	3	3	10	
PDO0002	20	10	3	3	2	2	10	
PDO0004	18	9	3	2	2	2	9	
PDO0005	18	9	2	3	2	2	9	
TOTAL	244		32	32	32	26	122	
			Desperdícios	0	0	0	6	OP1

A Figura 114 ilustra a divisão óptica dos 4 *splitters* de 1:32 instalados na JSO01 para a OP1, em que as saídas são fusionadas nos cabos de acordo com as distribuições apresentadas na Tabela 30. Por exemplo, no PDO0012 da Figura 112 mencionado, as fibras que ligam o mesmo estão representadas pela cor azul, e é possível ver que as 10 FAS são provenientes de SP1_N1, SP2_N2, SP3_N3 e SP4_N4.

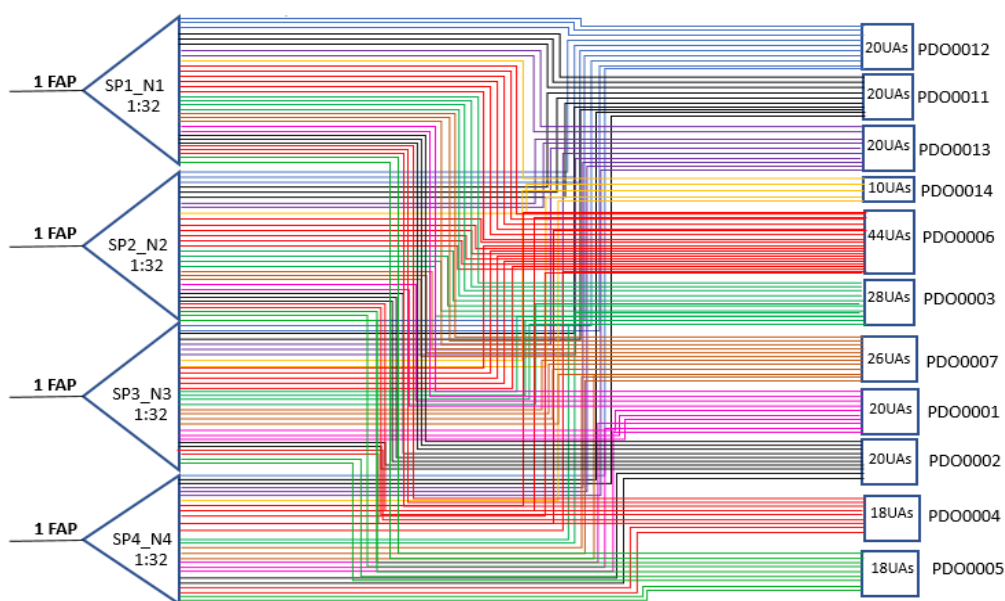


Figura 114 – Ligações dos PDOs para a OP1

As configurações da JSO01 para a OP2 estão apresentadas na Tabela 31. Na JSO01 serão instalados 4 *splitters* de 1:8 e 5 *splitters* de 1:4 para alimentar os 122 UAs pertencentes a OP2. As fibras à saída dos *splitters* de 1:8 são reencaminhadas no cabo para serem *splitadas* nos PDOs, pelos *splitters* de 1:4. Por exemplo, no mesmo cabo que foi referenciado acima para alimentar o PDO0012, é possível verificar através da Tabela 31 que a OP2 reencaminha duas FAS do *splitter* 1:8 para serem *splitadas* no PDO0012, ou seja, uma do SP1_N1 e outra do SP2_N2. Mais duas FAS provenientes dos *splitters* de 1:4, uma sai do *splitter* de 1:4 instalado no SP1_N1 e a outra do *splitter* 1:4 instalado no SP2_N2. Para os outros PDOs da tabela, a ligação das fibras nos cabos que alimentam os mesmos segue a mesma tabela. Na penúltima coluna encontra-se o número de FAS que a OP2 reencaminha no cabo para alimentar os PDOs. As 6 FAS de desperdícios, duas encontram-se no *splitter* de 1:4 designado de SP5_N3 instalado no *splitter* 3, as restantes 4 no *splitter* 4 de 1:8 designado de SP4_N4. Para as duas operadoras, dão um total de 12 FAS de desperdícios na MC01, que foi anteriormente apresentadas na Tabela 24.

Tabela 31 – Configurações da JSO01 para a OP2

ZONA:	JSO01	BEN04	OP2										
PROJ:	OP2												
Total Uas na célula	244UAs = 8FAP		1:8				1:4						
PDO/JFO	Uas (HPs) Totais	UAs 50%	SP1_N1	SP2_N2	SP3_N3	SP4_N4	SP1_N1	SP2_N2	SP3_N3	SP4_N4	SP5_N3	FAS para os PDOs	Uas
PDO0012	20	10	1	1			1	1				4	10
PDO0011	20	10	1	1			1	1				4	10
PDO0013	20	10	1	1			1	1				4	10
PDO0014	10	5				1		1				2	5
PDO0006	44	22	2	1	1	1	1		1			7	22
POD0003	28	14		1	1	1			1	1		5	14
PDO0007	26	13		1	1	1			1			4	13
PDO0001	20	10		1	1				1	1		4	10
PDO0002	20	10			1	1				1	1	4	10
PDO0004	18	9	1		1				1			3	9
PDO0005	18	9	1			1					1	3	9
TOTAL	244		7	7	6	6	4	4	4	4	2		122
Desperdícios						4				2	6		OP2

A OP2 minimiza o número de FAS no cabo para alimentar os PDOs em relação a OP1. Por exemplo, a OP1 para alimentar 10 UAs no PDO0012 leva 10 FAS no cabo, enquanto

a OP2 no mesmo cabo leva 4 FAS, como mostra a Figura 115. Esta, indica as distribuições das fibras apresentadas na Tabela 31, para alimentar os PDOs na MC01 para a OP2.

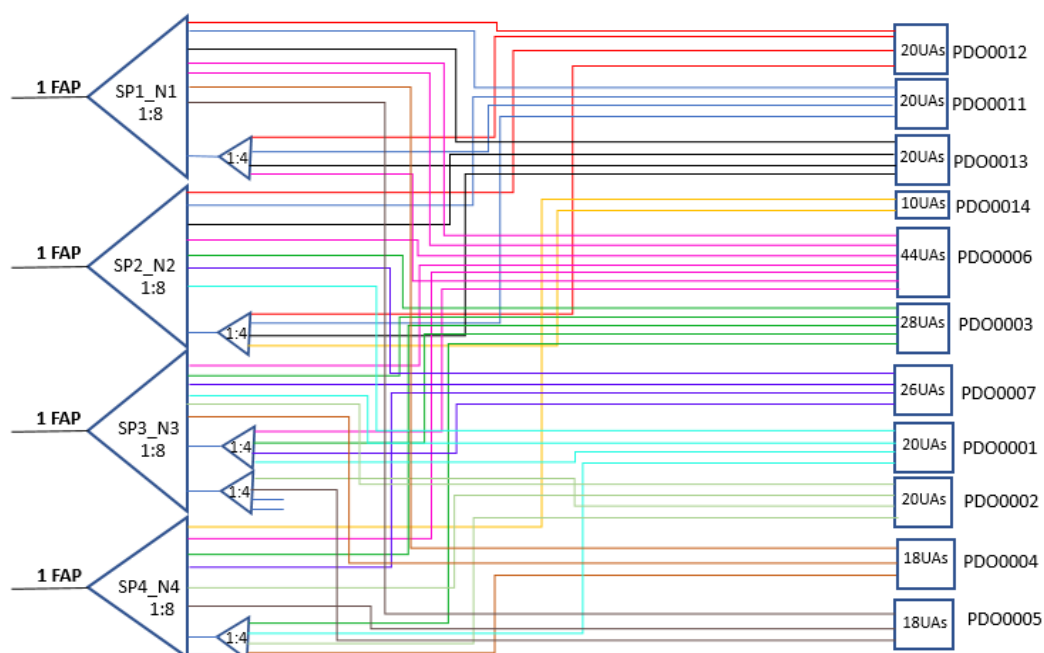


Figura 115 – Ligações dos PDOs para a OP2

A Tabela 32 mostra na coluna designada de “FAS nos Cabos”, o total das FAS nos cabos para as duas operadoras para alimentar os PDOs, ou seja, somou-se as FAS que as duas operadoras encaminham no mesmo cabo. Com as FAS nos cabos, calculou-se as capacidades dos mesmos a instalar a partir da Tabela 28. As fibras sem sinal são calculadas a partir da diferença entre as capacidades dos cabos e as FAS nos mesmos. A codificação é atribuída de acordo com o número de FAS.

Tabela 32 – Informações dos cabos que ligam os PDOs na JSO01

PDO/JFO	Uas (HPs) Totais	FAS nos Cabos	Capacidades	Fibras sem Sinal	Comprimentos [m]	Nome dos Cabos
PDO0012	20	14	24	10	70	VDF-BEN4-JSO01-05
PDO0011	19	14	24	10	55	VDF-BEN4-JSO01-06
PDO0013	19	14	24	10	85	VDF-BEN4-JSO01-07
PDO0014	9	7	12	5	125	VDF-BEN4-JSO01-12
PDO0006	44	29	36	7	105	VDF-BEN4-JSO01-02
POD0003	27	19	24	5	110	VDF-BEN4-JSO01-03
PDO0007	26	17	24	7	125	VDF-BEN4-JSO01-04
PDO0001	19	14	24	10	80	VDF-BEN4-JSO01-08
PDO0002	19	14	24	10	95	VDF-BEN4-JSO01-09
PDO0004	18	12	24	12	85	VDF-BEN4-JSO01-10
PDO0005	17	12	24	12	90	VDF-BEN4-JSO01-11

Na Figura 116 está apresentada o sinóptico da MC01, com as informações dos cabos apresentados na Tabela 32. Ou seja, em cada troço de cabo da rede secundária estão apresentadas capacidades dos mesmos, comprimentos, número de fibras ativas e número de fibras sem sinal. No cabo que liga a JSO01 a JFO01 da Figura 116, seguem as FAS de todos os PDOs que este alimenta. O cálculo dos comprimentos dos cabos será analisado mais à frente.

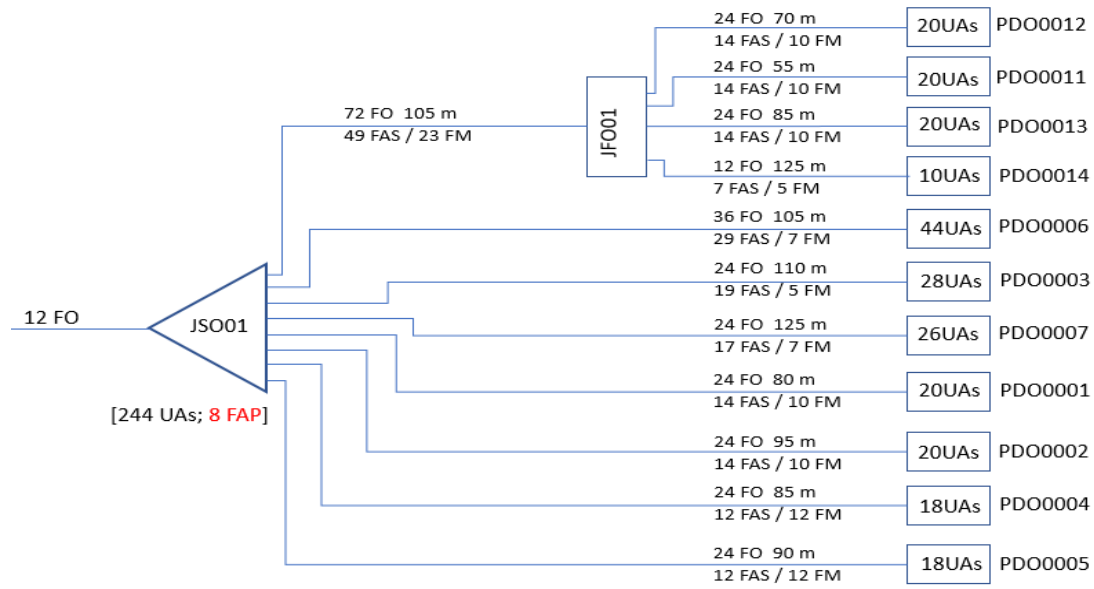


Figura 116 – Informações dos cabos da rede secundária

Na Figura 117 estão apresentados a codificação dos cabos de acordo com o número de FAS, ou seja, o cabo com maior número de fibras ativas terá a codificação 01, a seguir codificação 02, assim sucessivamente.

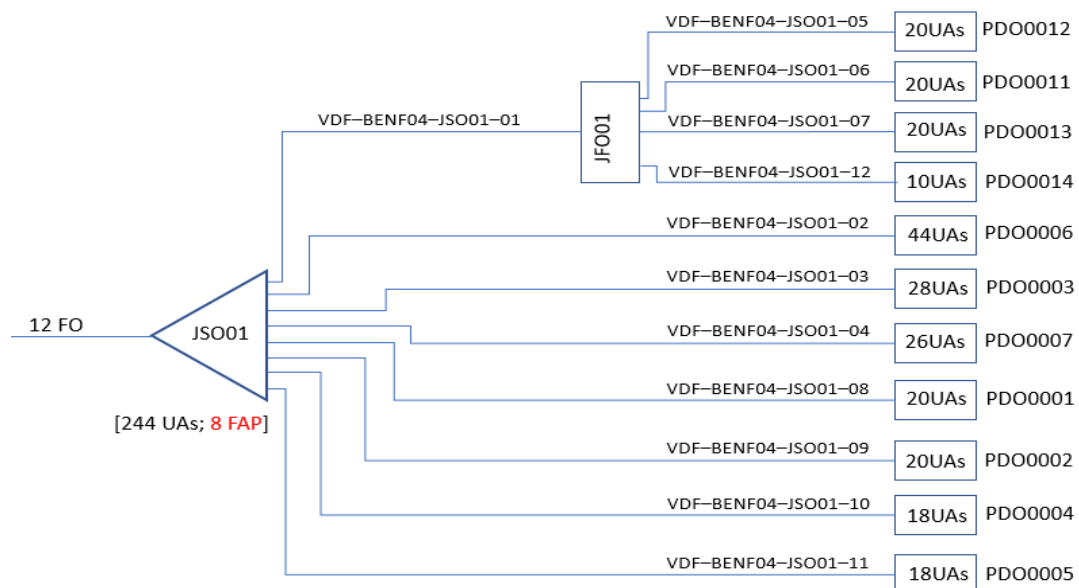


Figura 117 – Codificações dos cabos da rede secundária

Na dissertação será analisada o projeto ISP do edifício apresentado na Figura 118, que é alimentado pelo PDO0012 da Figura 116. Através desta, é possível ver que no cabo que liga o PDO0012 seguem 14 FAS, e com 2 fibras a serem *splittadas* por 1:4 dentro do mesmo PDO que será instalado a entrada do edifício, dando num total de 20 FAS.

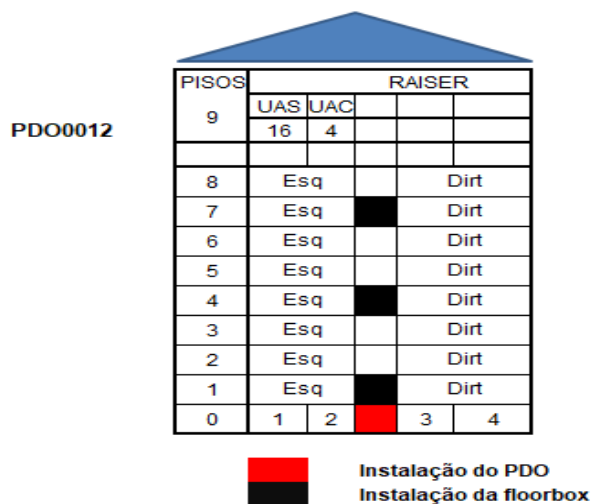


Figura 118 – Edifício do PDO0012

A entrada do edifício da Figura 118 será instalado o PDO de interior, designado no projeto de PDO0012. Neste serão construídos dois módulos primários, um para a OP1 e outro para a OP2, isto é, as FAS da OP1 vão para o módulo primário da OP1, enquanto as da OP2 vão para o módulo da OP2. O edifício é composto por 9 pisos e 20 UAs, no piso 0 encontram-se 4 UAs comerciais, do piso 1 a 8 estão as 16 UAs residenciais, distribuídas 2 UAs por pisos com as frações designadas de Esq e Dirt. São instalados 3 *floorboxes* com capacidades para alimentar no máximo 12 UAs. O PDO instalado no RGE irá alimentar as 4 UAs comerciais através da ligação ponto-a-ponto. As *floorboxes* instaladas no piso 7 e 4, alimentarão 6 UAs cada, enquanto a *floorbox* instalada no piso 1 alimentará 4 UAs, dando um total de 16 UAs alimentadas pelas *floorboxes*. Sendo então, o cabo a instalar na coluna montante terá 16 FAS, e através da Tabela 28 este será de 24 FO de 35 m (5 m x 7 pisos). O cabo instalado ficará com 8 fibras sem sinal de reservas, caso uma fibra partir ou algum cliente preferir a instalação de serviços de duas operadoras ou mais operadoras.

O projeto ISP do PDO0012 está apresentado na Tabela 33. Como as primeiras fibras no cabo vão alimentar os equipamentos mais distante, então as primeiras fibras no cabo

de 24 FO instalado na coluna montante irão ser distribuídas começando pelo piso 8, conforme mostra o lado direito da Tabela 33. Ou seja, a fibra 1 de cor branca no cabo ligará o ONT do 8º piso fração Esq, a fibra 2 de cor vermelha no cabo ligará 8º piso, fração Dirt, assim sucessivamente. Na prática, quando um técnico for ao edifício da Figura 118, para ativar o serviço ao cliente do 8º piso fração Esq, ele irá à *floorbox* instalada no piso 7, fusionar a fibra do cabo *drop* com a fibra de cor branca no tubo 1. No lado esquerdo da Tabela 33, encontram-se as informações do cabo e da coluna montante. Foram feitas 38 fusões no projeto ISP no edifício da Figura 118, que serão analisadas mais à frente no cálculo das atenuações teóricas.

Tabela 33 – Projeto ISP do PDO0012

PDO0012							
Info do Edifício			Info da ligação na coluna montante				
Pisos	Nº Uas	Dist UAS	Tubo	Fibra	Cor	Piso	Destino
0	4		1	1	Branco	8	Esq
1/8	2	Esq-Dirt	1	2	Vermelho	8	Dirt
			1	3	Verde	7	Esq
			1	4	Azul	7	Dirt
			1	5	Preto	6	Esq
Floorbox	3		1	6	Amarelo	6	Dirt
FAS	16		1	7	Laranja	5	Esq
Cap	24FO		1	8	Cinzeno	5	Dirt
Comp	35m		1	9	Castanho	4	Esq
Fusões	38		1	10	Violeta	4	Dirt
			1	11	Rosa	3	Esq
			1	12	Turquesa	3	Dirt
			2	13	Branco	2	Esq
			2	14	Vermelho	2	Dirt
			2	15	Verde	1	Esq
			2	16	Azul	1	Dirt
			PDO	drop		0	4pp

As informações de fibras para ligar as UAs apresentadas no lado direito na Tabela 33, serão lançadas pelo SP na plataforma das operadoras, para quando estas quiserem ativar os serviços aos clientes, já sabem quais as fibras no cabo é que foram projetadas para ligar as UAs nos edifícios dos seus clientes.

5.9. Mapeamento dos Cabos na célula BEN04 e no CO

Tendo calculadas o número de FAP para fazer FTTH em cada JSO da célula BEN04, apresentadas na Tabela 26, nesta fase do projeto faz-se o mapeamento do cabo de 144

FO que alimenta as JSOs. Ou seja, definir quais são as fibras nos tubos é que são destinados para alimentar cada JSO. Foi referido na Tabela 25, que os 5 primeiros tubos pertencem a OP1 e que os 2 primeiros tubos (tubo 1 e tubo 2) foram reservados para as fibras de reservas na célula BEN04, para a OP1. Então a Tabela 34 especifica na coluna “Fibre Source” as fibras de reservas para os tubos 1 e 2, indicando o destino delas, ou seja, as fibras da posição 1 a 24 seguem sem corte até a JSO11, conforme mencionada anteriormente.

Tabela 34 – Mapeamento do cabo vetor 01 na célula BEN04

Mapeamento do cabo vetor na CO (Rede primária)							
Células	Tubos	Fibre Source	Destinos (JSO)	Tipos FO	Splitters	Níveis	Fusões
BEN04	1	1	JSO11	Reserva			
	1	2	JSO11	Reserva			
	1	3	JSO11	Reserva			
	1	4	JSO11	Reserva			
	1	5	JSO11	Reserva			
	Branco	6	JSO11	Reserva			
	1	7	JSO11	Reserva			
	1	8	JSO11	Reserva			
	1	9	JSO11	Reserva			
	1	10	JSO11	Reserva			
	1	11	JSO11	Reserva			
	1	12	JSO11	Reserva			
	2	13	JSO11	Reserva			
	2	14	JSO11	Reserva			
	2	15	JSO11	Reserva			
	2	16	JSO11	Reserva			
	2	17	JSO11	Reserva			
	Vermelho	18	JSO11	Reserva			
	2	19	JSO11	Reserva			
	2	20	JSO11	Reserva			
	2	21	JSO11	Reserva			
	2	22	JSO11	Reserva			
	2	23	JSO11	Reserva			
	2	24	JSO11	Reserva			

Desses 5 tubos mencionados, os 3 últimos tubos (tubos 3, 4 e 5) são destinados à OP1 para fazer FTTH na célula BEN04, ou seja, os tubos da cor verde, azul e preta. Foi dito anteriormente que, por questão da organização das fibras no cabo, a operadora definiu que as primeiras fibras são destinadas aos equipamentos mais distantes. Isto é, no cabo de 144 FO as primeiras fibras destinadas para fazer FTTH na célula BEN04 são distribuídas começando pela JSO11, JSO10 até a JSO02. Então utilizando a Tabela 26, faz-se a distribuição das fibras para FTTH nas JSOs de acordo com o número de FAP calculadas para cada Microcélula. Por exemplo, para a JSO11 são necessárias 3 FAP para a OP1, então na Tabela 35 as 3 primeiras FAP da coluna “Fibre Source”, fibras 25, 26 e 27 do tubo 3 da cor verde, são reencaminhadas no cabo de 144 FO para a JSO11. Estas pertencem aos *splitters* 1, 2 e 3, de níveis N1, N2 e N3, respectivamente. Na JSO10 são necessárias 4 FAP, então são encaminhadas no cabo as FAP 28, 29, 30 e 31 do tubo 3.

Foi apresentada na Figura 107, que da JSO08 para JSO09 será instalado um cabo de 12 FO para fazer FTTH na mesma. Então na prática quando o cabo de 144 FO chegar a JSO08, as fibras 32 e 33 da Tabela 35, são fusionadas com as duas primeiras fibras no cabo de 12 FO que vai para a JSO09. Na JSO08 são deixadas as 3 FAP: 34, 35 e 36 do tubo 3, as FAP 37 e 38 do tubo 4 são fusionadas no cabo de 12 FO que sai da JSO06 para JSO07. Das FAP 39 a 50 são para as JSOs: JSO06, JSO05, JSO04 e JSO03, enquanto as FAP 51, 52, 53 e 54 são reencaminhadas para a JSO01, que são fusionadas com os 4 *splitters* apresentados no projeto da Figura 114. A FAP 55 é fusionada no cabo de 12 FO que liga o PDO de interior na MC02 designada de MC02_PDO. Por fim, as 4 FAP: 56, 57, 58 e 59 ficam na JSO02. Visto que são 35 FAP para FTTH na célula BEN04 e foram usados 3 tubos de 36 FAP, então a última fibra no tubo 5, a fibra 60, fica como fibra de reserva para a OP1.

A grande vantagem da coluna “*Fibre Source*”, é que se algum cliente ligado ao PDO ficar sem serviço, por exemplo a fibra partir, já se sabe as fontes que originaram aquela fibra desde o CO até ao PDO.

Tabela 35 – Mapeamento do cabo vetor 02 na célula BEN04

Mapeamento do cabo vetor na CO (Rede primária)							
Células	Tubos	Fibre Source	Destinos (JSO)	Tipos FO	Splitters	Níveis	Fusões
BEN04	3	25	JSO11	Activas	SPL1_OP1	N1	
	3	26	JSO11	Activas	SPL2_OP1	N2	
	3	27	JSO11	Activas	SPL3_OP1	N3	
	3	28	JSO10	Activas	SPL1_OP1	N1	
	3	29	JSO10	Activas	SPL2_OP1	N2	
	3	30	JSO10	Activas	SPL3_OP1	N3	
	3	31	JSO10	Activas	SPL4_OP1	N4	
	3	32	JSO09	Activas	SPL1_OP1	N1	Fusão
	3	33	JSO09	Activas	SPL2_OP1	N2	Fusão
	3	34	JSO08	Activas	SPL1_OP1	N1	
	3	35	JSO08	Activas	SPL2_OP1	N2	
	3	36	JSO08	Activas	SPL3_OP1	N3	
	4	37	JSO07	Activas	SPL1_OP1	N1	Fusão
	4	38	JSO07	Activas	SPL2_OP1	N2	Fusão
	4	39	JSO06	Activas	SPL1_OP1	N1	
	4	40	JSO06	Activas	SPL2_OP1	N2	
	4	41	JSO06	Activas	SPL3_OP1	N3	
	4	42	JSO05	Activas	SPL1_OP1	N1	
	4	43	JSO05	Activas	SPL2_OP1	N2	
	4	44	JSO05	Activas	SPL3_OP1	N3	
	4	45	JSO04	Activas	SPL1_OP1	N1	
	4	46	JSO04	Activas	SPL2_OP1	N2	
	4	47	JSO04	Activas	SPL3_OP1	N3	
	4	48	JSO03	Activas	SPL1_OP1	N1	
	5	49	JSO03	Activas	SPL2_OP1	N2	
	5	50	JSO03	Activas	SPL3_OP1	N3	
	5	51	JSO01	Activas	SPL1_OP1	N1	Fusão
	5	52	JSO01	Activas	SPL2_OP1	N2	Fusão
	5	53	JSO01	Activas	SPL3_OP1	N3	Fusão
	5	54	JSO01	Activas	SPL4_OP1	N4	Fusão
	5	55	PDO_0124	Activas	SPL1_OP1	N1	Fusão
	5	56	JSO02	Activas	SPL1_OP1	N1	
	5	57	JSO02	Activas	SPL2_OP1	N2	
	5	58	JSO02	Activas	SPL3_OP1	N3	
	5	59	JSO02	Activas	SPL4_OP1	N4	
5	60	JSO11		Reserva_OP1			

O mapeamento das fibras no cabo vetor para a OP2 encontra-se apresentada na Tabela 36. Para a OP2 será feito exatamente o mesmo, ou seja, com as primeiras fibras no cabo de 144 FO direcionadas para a JSO11. As FAP: 87, 88, 89 e 90 são fusionadas com os 4 *splitters* instalados na JSO01, apresentados na Figura 115. A última fibra do tubo 8, a fibra 96, fica como fibra de reserva no cabo para a OP2.

Tabela 36 – Mapeamento do cabo vetor 03 na célula BEN04

Mapeamento do cabo vetor na CO (Rede primária)							
Células	Tubos	Fibre Source	Destinos (JSO)	Tipos FO	Splitters	Níveis	Fusões
BEN04	6	61	JSO11	Activas	SPL1_OP2	N1	
	6	62	JSO11	Activas	SPL2_OP2	N2	
	6	63	JSO11	Activas	SPL3_OP2	N3	
	6	64	JSO10	Activas	SPL1_OP2	N1	
	6	65	JSO10	Activas	SPL2_OP2	N2	
	6	66	JSO10	Activas	SPL3_OP2	N3	
	Amarelo	67	JSO10	Activas	SPL4_OP2	N4	
	6	68	JSO09	Activas	SPL1_OP2	N1	Fusão
	6	69	JSO09	Activas	SPL2_OP2	N2	Fusão
	6	70	JSO08	Activas	SPL1_OP2	N1	
	6	71	JSO08	Activas	SPL2_OP2	N2	
	6	72	JSO08	Activas	SPL3_OP2	N3	
	7	73	JSO07	Activas	SPL1_OP2	N1	Fusão
	7	74	JSO07	Activas	SPL2_OP2	N2	Fusão
	7	75	JSO06	Activas	SPL1_OP2	N1	
	7	76	JSO06	Activas	SPL2_OP2	N2	
	7	77	JSO06	Activas	SPL3_OP2	N3	
	Laranja	78	JSO05	Activas	SPL1_OP2	N1	
	7	79	JSO05	Activas	SPL2_OP2	N2	
	7	80	JSO05	Activas	SPL3_OP2	N3	
	7	81	JSO04	Activas	SPL1_OP2	N1	
	7	82	JSO04	Activas	SPL2_OP2	N2	
	7	83	JSO04	Activas	SPL3_OP2	N3	
	7	84	JSO03	Activas	SPL1_OP2	N1	
	8	85	JSO03	Activas	SPL2_OP2	N2	
	8	86	JSO03	Activas	SPL3_OP2	N3	
	8	87	JSO01	Activas	SPL1_OP2		Fusão
	8	88	JSO01	Activas	SPL2_OP2		Fusão
8	89	JSO01	Activas	SPL3_OP2		Fusão	
8	90	JSO01	Activas	SPL4_OP2		Fusão	
Cinzento	91	PDO_0124	Activas	SPL1_OP2		Fusão	
8	92	JSO02	Activas	SPL1_OP2			
8	93	JSO02	Activas	SPL2_OP2			
8	94	JSO02	Activas	SPL3_OP2			
8	95	JSO02	Activas	SPL4_OP2			
8	96	JSO11		Reserva_OP2			

As restantes fibras de reservas e as fibras *corporate* ou ponto-a-ponto estão apresentadas na Tabela 37 e Tabela 38, respetivamente. Elas passam sem corte nas JSOs e são reencaminhadas até a MC11. As 50 fibras de reservas no cabo de 144 FO, 24 estão

na Tabela 34, mais 24 na Tabela 37, uma na Tabela 35 (fibra 60) e a última na Tabela 36 (fibra 96), ou seja, 49 para a OP1 e 1 para a OP2.

Tabela 37 – Mapeamento do cabo vetor 04 na célula BEN04

Mapeamento do cabo vetor na CO (Rede primária)							
Células	Tubos	Fibre Source	Destinos (JSO)	Tipos FO	Splitters	Níveis	Fusões
BEN04	9	97	JSO11	Reserva			
	9	98	JSO11	Reserva			
	9	99	JSO11	Reserva			
	9	100	JSO11	Reserva			
	9	101	JSO11	Reserva			
	Castanho	102	JSO11	Reserva			
	9	103	JSO11	Reserva			
	9	104	JSO11	Reserva			
	9	105	JSO11	Reserva			
	9	106	JSO11	Reserva			
	9	107	JSO11	Reserva			
	9	108	JSO11	Reserva			
	10	109	JSO11	Reserva			
	10	110	JSO11	Reserva			
	10	111	JSO11	Reserva			
	10	112	JSO11	Reserva			
	10	113	JSO11	Reserva			
	10	114	JSO11	Reserva			
	Violeta	115	JSO11	Reserva			
	10	116	JSO11	Reserva			
10	117	JSO11	Reserva				
10	118	JSO11	Reserva				
10	119	JSO11	Reserva				
10	120	JSO11	Reserva				

Tabela 38 – Mapeamento do cabo vetor 05 na célula BEN04

Mapeamento do cabo vetor na CO (Rede primária)							
Células	Tubos	Fibre Source	Destinos (JSO)	Tipos FO	Splitters	Níveis	Fusões
BEN04	11	121	JSO11	Corporate			
	11	122	JSO11	Corporate			
	11	123	JSO11	Corporate			
	11	124	JSO11	Corporate			
	11	125	JSO11	Corporate			
	Rosa	126	JSO11	Corporate			
	11	127	JSO11	Corporate			
	11	128	JSO11	Corporate			
	11	129	JSO11	Corporate			
	11	130	JSO11	Corporate			
	11	131	JSO11	Corporate			
	11	132	JSO11	Corporate			
	12	133	JSO11	Corporate			
	12	134	JSO11	Corporate			
	12	135	JSO11	Corporate			
	12	136	JSO11	Corporate			
	12	137	JSO11	Corporate			
	Turquesa	138	JSO11	Corporate			
	12	139	JSO11	Corporate			
	12	140	JSO11	Corporate			
	12	141	JSO11	Corporate			
	12	142	JSO11	Corporate			
	12	143	JSO11	Corporate			
	12	144	JSO11	Corporate			

Os cabos vetor ou os cabos que ligam as células da Figura 119, representados pela cor amarela e vermelha, são mapeados no Armário Agregador do CO, que foi apresentada na Figura 81. Isto é, as fibras ou os tubos de fibra ótica são separados e alocados nos diferentes *subracks*, da OP1 e da OP2. As fibras nos cabos que ligam as células que pertencem a OP1 são fusionadas nos *subracks* do Armário Agregador da mesma, com as fibras nos cabos que ligam ao ODF da mesma operadora. Enquanto as fibras nos cabos que ligam as células que pertencem a OP2 também são fusionadas nos *subracks* da mesma, com as fibras nos cabos que ligam ao ODF da mesma operadora.



Figura 119 – Mapeamento dos cabos vetor no CO

5.10. Cálculos dos Comprimentos dos Cabos

Uma das grandes vantagens em usar o ficheiro em *AutoCad* com cartografia georreferenciada da zona de Lisboa, está no cálculo dos comprimentos dos cabos a serem instalados no terreno. Isto é, a ferramenta *AutoCad* determina a precisão linear dos desenhos, neste caso, os comprimentos dos cabos no projeto FTTH.

Na prática, nas CVPs onde são instalados os cabos deixa-se uma folga de 3 m. Nos pontos onde são instalados os equipamentos, como: a JFO, JSO, PDO de fachada ou PDO de poste deixa-se uma folga de 10 m, assim como ilustra a Figura 120. Contabiliza-se a altura dos postes de 10 m, e a folga deixada nos mesmos também de 10 m. Para os tubos de subida metálico a altura dos cabos são de 4/5 m. Nos edifícios onde são instalados os

PDOS de interior deixa-se uma distância de 15 m entre o CVP e o RGE. No CO deve ser deixada uma folga de 50 m nos cabos que ligam o ODF e o Armário Agregador.

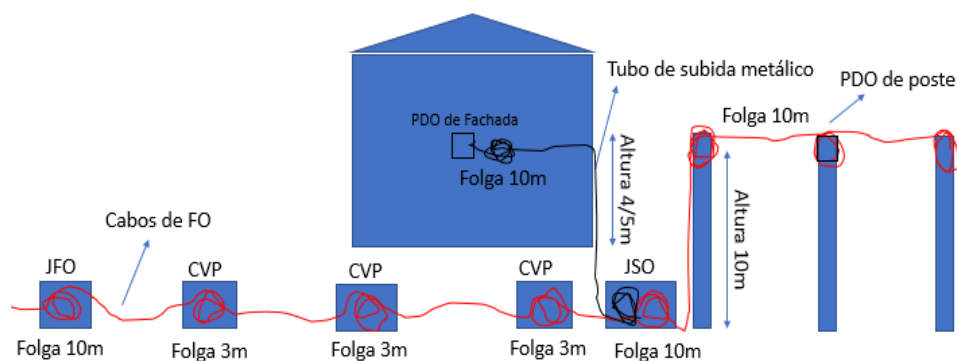


Figura 120 – Esquemático para cálculos de comprimentos dos cabos de FO

No ficheiro *AutoCad* os comprimentos dos cabos são calculados entre cada troço dos equipamentos instalados. Isto é, na Figura 120 seriam calculados entre: a JFO e a JSO, entre a JSO e o PDO de fachada e por fim entre a JSO e o PDO de poste. Para tal, foi criado no *software AutoCad* um botão designado de “*Calcular_Comp*”, onde é preciso indicar 3 parâmetros: equipamento de origem, destino, e os tipos de cabos instalados. Os equipamentos de origem e destino são introduzidos para que sejam somadas as folgas. Os tipos de cabos são para casos, por exemplo, um cabo segue o percurso em condutas e depois percorrer as fachadas, neste caso é preciso somar o comprimento do cabo em conduta, o comprimento em fachada mais o comprimento do tubo metálico. O algoritmo criado pelo SP (ver a equação (10)), soma o(s) comprimento(s) linear(es) georreferenciados, mais as folgas dos equipamentos de origem e destino. A esse resultado, adiciona-se 15 % para compensar as folgas das CVPs e também para caso na prática do terreno ser inclinado. Esta percentagem é adicionada porque no *AutoCad* não é possível contabilizar quantos CVPs é que passam os cabos em conduta, ou se na prática existe inclinações nos terrenos. Ela depende de operadora para operadora.

$$L = [\text{Comprimento (s) Linear(es) georreferenciados} + \text{folgas}] + 0,15 * L \quad (10)$$

Onde, o L é o comprimento total do cabo em cada troço. O resultado final do L será sempre arredondado em escala de 5 em 5 metros, por exemplo, se um cabo tiver 22,5 m, o comprimento total será de 25 m, se for 28 m o comprimento será de 30 m.

A Figura 121 apresenta o cálculo do cabo no projeto *AutoCad*, que sai da JSO01 e liga a JFO01, que foi apresentado na Figura 116. Na figura do lado direito está apresentado o cabo de 72 FO de 105 m, enquanto a figura do lado esquerdo apresenta na última linha, o comprimento linear do mesmo, que é de 69,0617 m.

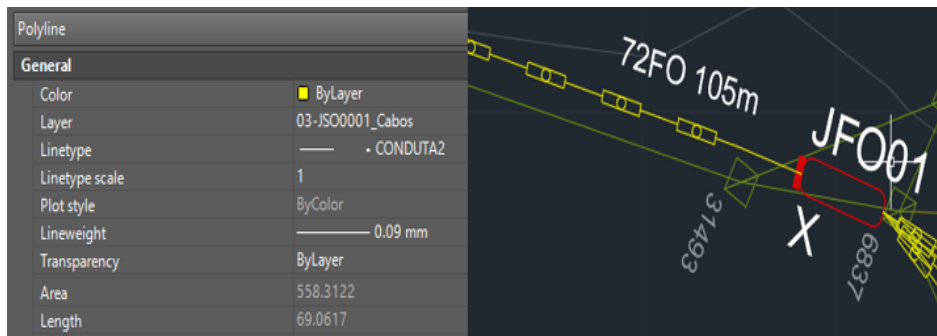


Figura 121 – Cálculo do cabo que liga a JFO01 na MC01

Aplicando a equação (10) para calcular o L na Figura 121 do lado esquerdo, isto é, soma-se o comprimento linear mais às folgas da JSO01 e da JFO01, obteve-se o seguinte:

$$L = [69,0617 + 10 + 10] * 1,15 = 102,42 \text{ m} \cong 105 \text{ m} \quad (11)$$

Calculou-se o L para os restantes cabos da MC01 e também para todos os cabos existentes na célula BEN04.

5.11. Cálculos das Atenuações Teóricas

Para finalizar o projeto FTTH na célula BEN04, calculou-se as atenuações teóricas para todos os PDOs instalados na mesma, ou seja, são calculadas as atenuações introduzidas na rede, desde o CO até aos ONTs instalados na rede dos clientes. Estas são provocadas através dos conetores, *duplexores* WDM ou *multiplexers*, *splitters*, fusões e comprimentos dos cabos. A rede deverá ser projetada para um *Power Budget* máximo de 26 dB.

A Figura 122 representa uma ligação de fibra ótica das duas operadoras entre os equipamentos ativos no CO e o ONT, onde está especificado todos os interferentes que provocam as atenuações na rede FTTH. No cálculo das atenuações teóricas para cada um dos ONTs no projeto, será necessário indicar apenas os comprimentos dos cabos em cada troço, e o algoritmo desenvolvido soma as atenuações provocadas na rede.

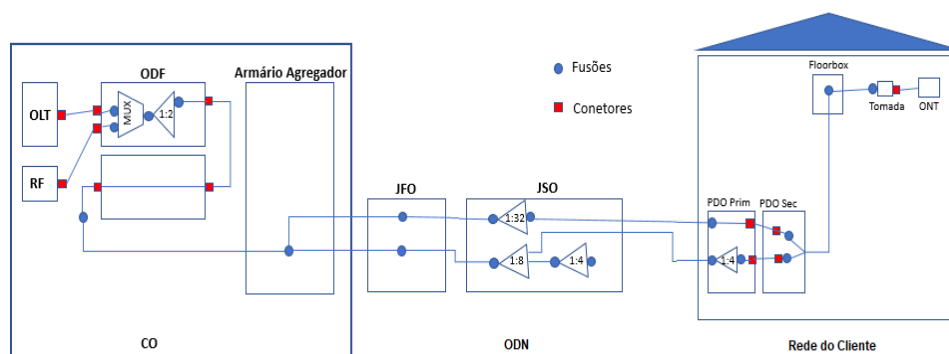


Figura 122 – Contabilização das fusões e dos conetores no cálculo da atenuação teórica

A divisão ótica introduz a perda no sinal pelo facto de dividir o mesmo de forma simétrica para todas as saídas e também pela característica do material que compõe o *splitter*. Segundo [21] a expressão matemática para calcular a atenuação total nos *splitters* é dada por:

$$A_{sp} = 10 * \log_{10}(2^n) + 0,3 * \log_2(2^n) \quad (12)$$

Onde o n toma o valor 1, 2, 3 e 5, que correspondem aos *splitters* 1:2, 1:4, 1:8 e 1:32. Estes correspondem aos *splitters* que foram utilizados no dimensionamento da rede FTTH.

Na Tabela 39, estão apresentados os valores das atenuações impostas pelos componentes instalados na rede projetada. Estes dependem de fabricante para fabricante. As que são referentes aos *splitters* foram calculados na equação (12).

Tabela 39 – Atenuações provocadas pelos componentes na rede FTTH

Componentes	Atenuações
Conetores	0,3 dB
Fusões	0,05 dB
<i>Multiplexers</i> (duplexores WDM)	1,5 dB
Cabos	0,4 dB/km
<i>Splitters</i> 1:2	3,31 dB
<i>Splitters</i> 1:4	6,62 dB
<i>Splitters</i> 1:8	9,93 dB
<i>Splitters</i> 1:32	16,6 dB

A atenuação total na rede FTTH para OP1 é calculada através da equação (13), enquanto para a OP2 é calculada na equação (14), onde as variáveis representam os componentes apresentados na Tabela 39.

$$A_{Total_OP1} = n^{\circ}conectores * A_{Conectores} + n^{\circ}fusões * A_{Fusões} + A_{Mux} + A_{1:2} + A_{1:32} + A_{Cabos} * L \quad (13)$$

$$A_{Total_OP2} = n^{\circ}conectores * A_{Conectores} + n^{\circ}fusões * A_{Fusões} + A_{Mux} + A_{1:2} + A_{1:4} + A_{1:8} + A_{Cabos} * L \quad (14)$$

A Tabela 40, mostra a atenuação total calculada no projeto para o ONT instalado no 8º piso, fração Esq no edifício da Figura 118. A atenuação total calculada para a OP1 foi de 25,29 dB, enquanto para a OP2 foi de 25,39 dB.

Tabela 40 – Atenuação máxima calculada no PDO0012

Atenuação no PDO0012							
Quantidades			Atenuações Teóricas			Operadora	Atenuação Total [dB]
Comprimento do cabo	2,33	km	Cabo FO	0,4	dB/km	OP1	25,29
Nº de conectores	8	Unid.	Par conector	0,3	dB	OP2	25,34
Nº de fusões térmicas OP1	12	Unid.	Fusão térmica	0,05	dB		
Nº de fusões térmicas OP2	13	Unid.	Splitter 1:2	3,31	dB		
			Mux	1,50	dB		
			Splitter 1:4	6,62	dB		
			Splitter 1:8	9,93	dB		
			Splitter 1:32	16,55	dB		

6. ANÁLISE TECNO- ECONÓMICA DA REDE GPON E INTRODUÇÃO DA REDE XGPON

A análise técnico-económica de um projeto FTTH é fundamental na implementação de uma rede de telecomunicações para as operadoras. O objetivo é construir redes de fibra ótica para disponibilizar serviços de telecomunicações em banda larga, mas também é do interesse das operadoras contabilizar o custo da rede FTTH de cada célula numa zona projetada, que depende de diversos fatores:

- Dimensão das células;
- Tipo de infraestruturas existentes (condutas, fachadas ou postes);
- Acesso às condutas;

- Licenças ORAP, ORAC, etc;
- Tipos de equipamentos ativos instalados no CO e na rede do cliente, e equipamentos passivos instalados na ODN;
- CAPEX (*Capital Expenditure*) e OPEX (*Operational Expenditure*).

A seguir ao planeamento da rede FTTH que foi apresentada no capítulo anterior, o objetivo principal para a próxima fase do projeto é otimização da rede na célula projetada. Ou seja, calcula-se para cada Microcélula existente na célula BEN04 se compensa manter a rede projetada ou se é necessário otimizá-la em termos de custo. De seguida faz-se o levantamento dos materiais a ser instalados na célula e a respetiva análise tecno-económica.

6.1. OTIMIZAÇÃO DA REDE FTTH NA CÉLULA BEN04

Em cada Microcélula existente na célula BEN04, será feita a otimização dos cabos e dos equipamentos a serem instalados na prática. Para tal, é necessário calcular se compensa manter as capacidades dos cabos projetados que ligam a cada um dos PDOs nas Microcélulas ou se compensa substituí-los por outro cabo de maior capacidade que liga a uma JFO, e através desta saem os cabos para alimentar cada um dos edifícios. Outra questão, prende-se com o número de fusões feitas na célula, o objetivo da operadora é que as células sejam projetadas com menor número de fusões possíveis. Para isso, calcula-se na rede projetada se compensa fazer fusões nos cabos de uma capacidade para outra, ou se compensa passar o mesmo num equipamento sem corte.

Na Tabela 41 está apresentada o orçamento dos cabos da rede FTTH, que se divide entre os valores iniciais gastos e as despesas futuras. O CAPEX define o custo da instalação dos cabos por metro e o preço das fusões nas fibras que a operadora terá de pagar ao SP pela construção das células. Enquanto, o OPEX são custos dos cabos por metro da área ocupada pelos mesmos nas condutas, que a operadora terá de pagar à outra operadora pelo aluguer das mesmas, no intervalo de 10 em 10 anos.

Com a Tabela 41, calcula-se para cada cabo instalado na rede se é mais rentável a operadora pagar pelas instalações dos cabos por metro, fusões, equipamentos e

utilização das condutas ou se é mais rentável passar um cabo sem corte (sem fazer fusões) e pagar apenas pelo custo da instalação, equipamentos e aluguer das condutas.

Tabela 41 – Orçamento dos cabos[43]

CAPEX		OPEX	
Custo por metro		Fusões	Custo por Cabo (em 10 anos)
Cabos [FO]	€/m	7,13 €	€/m
12	1,48		0,33
24	1,75		0,53
36	1,96		0,53
48	2,12		0,53
72	2,53		0,92
96	2,93		1,17
144	3,68		1,17
288	5,94		1,81
432	8,36		2,13

Para analisar o subcapítulo da otimização dos cabos da célula BEN04, utilizou-se a MC07 apresentada na Figura 123, que mostra a projeção da rede FTTH na mesma. É possível verificar o cabo de 12 FO (apresentado pela cor vermelha) que traz 4 FAP para alimentar as 128 UAs existentes na MC07, ver Figura 107. Essas FAP são *splittadas* na JSO07 da Figura 123, para alimentar cada um dos PDOs instalados na MC07, ou seja, a partir da JSO07 saem os cabos, representados pela cor amarela, em condutas para alimentar os PDOs. Numa das ruas que se encontra afastada da JSO07 existem 4 edifícios, o primeiro edifício do lado direito da rua é constituído por 18 UAs e o PDO instalado no mesmo é o PDO0076, o segundo, o terceiro e o quarto edifício são compostos por 12 UAs, e instalou-se o PDO0075, PDO0074 e o PDO0073, respetivamente. Para estes edifícios, será calculado qual é o investimento feito nos mesmos e de seguida calcula-se se fica menos dispendiosa instalar uma JFO de fachada, onde sai os cabos para alimentar cada um dos PDOs mencionados.

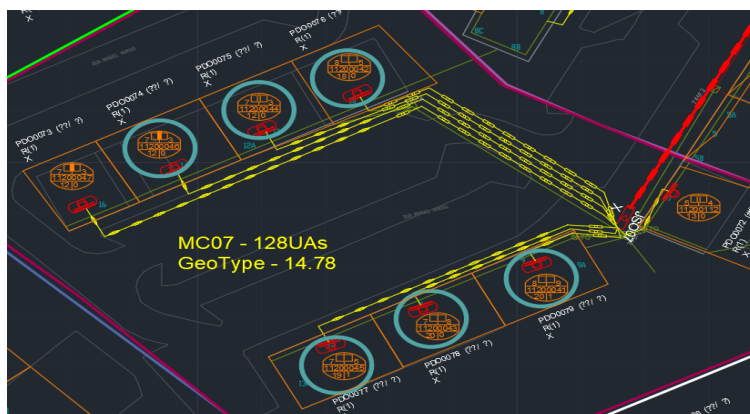


Figura 123 – Rede secundária da MC07

O sinóptico da rede secundária da MC07 da Figura 123 está apresentado na Figura 124, que mostra as capacidades dos cabos que ligam os PDOs, os comprimentos dos mesmos, as fibras ativas para alimentar as UAs e a fibras escuras. Significa que, para alimentar o PDO0076, PDO0075, PDO0074 e o PDO0073, são feitas na JSO07 39 fusões (12 FAS + 9 FAS + 9 FAS + 9 FAS, respetivamente) nos 4 cabos que alimentam os mesmos, ver a Figura 124.

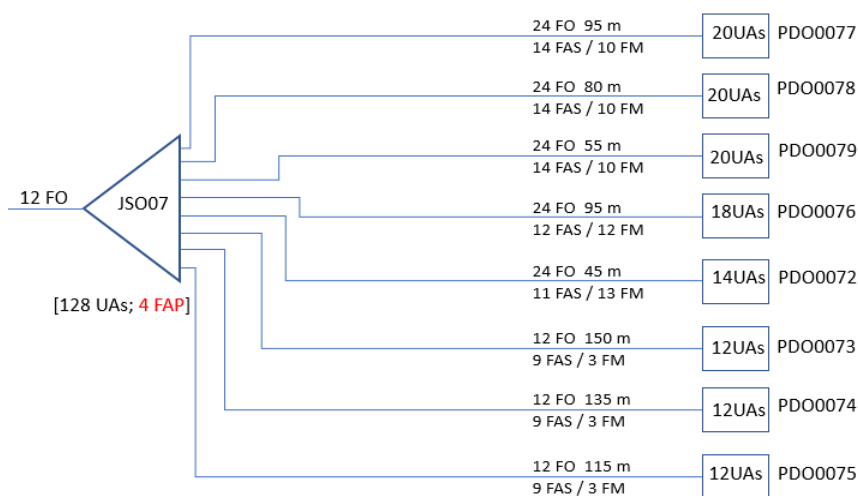


Figura 124 – Sinóptico da rede secundária da MC07

Então será calculada a seguir, se compensa manter a rede construída que foi apresentada na Figura 123, ou seja, fazer 39 fusões nos 4 cabos para alimentar os PDOs mencionados. Ou se compensa instalar uma JFO de fachada para alimentar aqueles edifícios. Neste caso, sai apenas um cabo de maior capacidade da JSO07, ou seja, de 48 FO com as 39 FAS até a uma JFO de fachada e através desta saem cabos para alimentar os PDOs nos edifícios.

Os cálculos foram feitos a partir do momento em que os cabos saem da JSO07, ou seja, não são contabilizadas para já nesta fase as fusões feitas na JSO07. Então, calculou-se o custo da instalação dos cabos por metro apresentado no CAPEX da Tabela 41, e o custo a pagar pelo aluguer das condutas apresentado no OPEX, para os PDOs mencionados. Para tal, multiplicou-se o custo da instalação dos cabos pelos comprimentos instalados, mais o custo do aluguer das condutas pelos comprimentos instalados em conduta que são 85 m, conforme mostra as equações (15), (16), (17) e (18). É de realçar que, no cálculo do aluguer das condutas só se contabiliza os comprimentos instalados em condutas e não o comprimento total. O comprimento total será o somatório dos comprimentos em conduta e em fachada. Para a instalação do cabo de 24 FO para o PDO0076, apresentado na Figura 124 o custo será de:

$$CustoCabo_{PDO0076} = 1,75 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 95 \text{ m} + 0,5334 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 85 \text{ m} = 211,59 \text{ €} \quad (15)$$

Para a instalação do cabo de 12 FO para o PDO0073, o custo será de:

$$CustoCabo_{PDO0073} = 1,48 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 150 \text{ m} + 0,3325 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 85 \text{ m} = 250,26 \text{ €} \quad (16)$$

Para a instalação do cabo de 12 FO para o PDO0074, o custo será de:

$$CustoCabo_{PDO0074} = 1,48 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 135 \text{ m} + 0,3325 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 85 \text{ m} = 228,06 \text{ €} \quad (17)$$

Para a instalação do cabo de 12 FO para o PDO0075, o custo será de:

$$CustoCabo_{PDO0075} = 1,48 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 115 \text{ m} + 0,3325 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 85 \text{ m} = 198,46 \text{ €} \quad (18)$$

O que significa que construir a rede secundária na MC07 apresentada na Figura 123, a operadora gastaria 888,37 € pela instalação dos 4 cabos, para alimentar esses PDOs. Para otimizar a rede construída na MC07, instalou-se uma JFO de fachada que está apresentada na Figura 125 e calculou-se se compensa fusionar as 39 FAS no cabo de 48 FO que sai da JSO07 para ligar os PDOs na mesma rua. Na prática este cabo passa pela JFO08 e segue sem corte até ao PDO0076, pois é o PDO com maior número de FAS, com o intuito de reduzir o número de fusões na JFO08. Isto é, o cabo é descarnado na JFO08 e apenas as fibras que são destinadas aos outros PDOs, é que são fusionadas nos

respetivos cabos que ligam o PDO0075, PDO0074 e PDO0073. Através da Figura 125, é possível ver que para além da otimização da rede em termos de custos, está-se a diminuir o número de cabos a ser instalados em conduta comparativamente com a rede projetada na Figura 123.

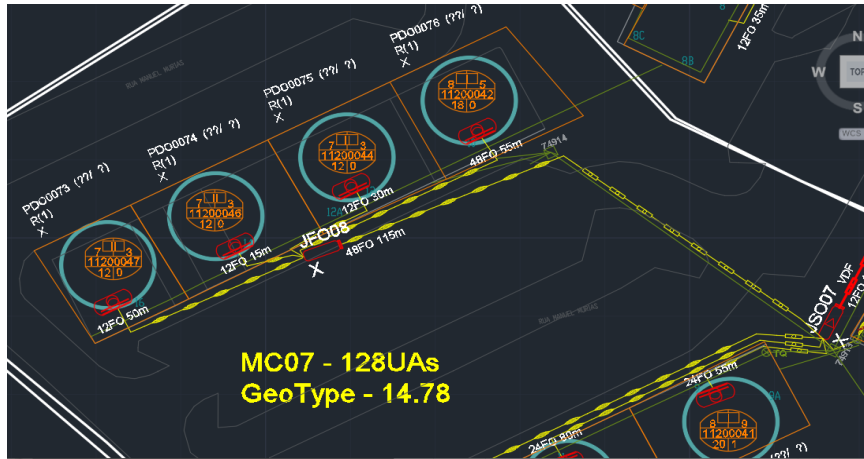


Figura 125 – Otimização dos cabos na rede na MC07

No cálculo da instalação do cabo de 48 FO, contabilizou-se o comprimento do mesmo da JSO07 até JFO08 que é de 115 m, mais 10 m de folga deixada na JFO08, mais o comprimento da JFO08 até ao PDO0076 que é 55 m. O custo será de:

$$CustoCabo_{PDO0076} = 2,12 \frac{\text{€}}{\text{m}} * (115 + 10 + 55)\text{m} + 0,5334 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 85 \text{ m} = 426,9 \text{ €} \quad (19)$$

Para a instalação do cabo de 12 FO para o PDO0073, serão contabilizadas as 9 fusões feitas no cabo que será instalado em fachada, o custo será de:

$$CustoCabo_{PDO0073} = 9 * 7,13 \text{ €} + 1,48 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 50 \text{ m} = 138,17 \text{ €} \quad (20)$$

Para a instalação do cabo de 12 FO em fachada para o PDO0074, o custo será de:

$$CustoCabo_{PDO0074} = 9 * 7,13 \text{ €} + 1,48 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 15 \text{ m} = 86,37 \text{ €} \quad (21)$$

Para a instalação do cabo de 12 FO em fachada para o PDO0075, o custo será de:

$$CustoCabo_{PDO0075} = 9 * 7,13 \text{ €} + 1,48 \frac{\text{€}}{\text{m}} * 30 \text{ m} = 108,57 \text{ €} \quad (22)$$

E por fim, contabiliza o custo da instalação do equipamento JFO08, que será uma JFO de fachada com capacidade até 36 fusões, pois são feitas 27 fusões (9 + 9 + 9) na JFO08.

Através da tabela *Price List* dos equipamentos apresentado no Anexo B, o custo da JFO de fachada com capacidade até 36 fusões é de 73,64 €. Então conclui-se que, a rede otimizada da Figura 125 terá um custo total de 833,65 €, o que significa que a operadora irá economizar 54,72 € (888,37 € - 833,65 €) na construção da MC07. Fez-se os cálculos da otimização dos cabos e dos equipamentos a serem instalados na célula BEN04 em todas as Microcélulas.

6.2. LEVANTAMENTO DOS MATERIAIS NA CÉLULA BEN04

Com projeto da célula BEN04 concluído no ficheiro *AutoCad*, faz-se o levantamento de todos os materiais que foram projetados na mesma, isto é, todos os componentes que compõem a rede desde o CO, ao ODN até à rede ISP.

O custo da construção da rede FTTH na célula projetada é o valor que a operadora irá pagar ao SP pela construção da mesma. Não são contabilizados para já o aluguer das infraestruturas das entidades públicas (Câmaras Municipais) ou privadas, como por exemplo, as condutas ou postes. Isto é, na prática são contabilizados dois tipos custos, o custo da construção de rede FTTH que é pago ao SP e o custo do aluguer das infraestruturas de telecomunicações que é pago às outras entidades.

No levantamento dos materiais no CO são contabilizados os ODFs com as respetivas cassetes, Armário Agregador e os comprimentos dos cabos instalados entre os ODFs e o Armário. Na ODN são registados os comprimentos de cada tipo dos cabos instalados, a quantidade dos 4 tipos de PDOs instalados, das JFOs, JSOs, dos *splitters* instalados nas JSOs e nos PDOs, a quantidade dos tubos de subida metálicos, etc. Na rede ISP são contabilizados os módulos dos PDO instalados (primários e secundários), os comprimentos dos cabos instalados nas colunas montantes, o número das *floorboxes* nas mesmas, etc. For fim, faz-se o levantamento de todas as fusões feitas na rede, desde o CO até a rede do cliente. Existem materiais que não contabilizados nos levantamentos dos materiais, pois são contabilizados no valor final do custo da rede. Estes são: os *patch cords*, os conetores, mangas de fusões, parafusões, buchas, braçadeiras para segurar os cabos nas fachadas dos edifícios, etiquetas para codificarem os cabos, etc. Os valores

dos preços dos cabos apresentados na tabela *Price List* dos equipamentos no Anexo B, inclui o custo do fornecimento dos mesmos e o custo da instalação.

O cabo vetor de 432 FO que alimenta as células BEN04, BEN05 e BEN06 tem um comprimento de 1185 m, então o preço da instalação do mesmo é dividido por 3 células, ou seja, cada uma dessas células irá pagar pela instalação de 395 m do cabo.

6.3. TABELA *PRICE LIST*

Com a lista dos materiais a serem instalados e a tabela *Price List* apresentados Tabela 42, fez-se a análise tecno-económica da rede FTTH na célula construída. Ou seja, para cada tipo de material introduziu-se as quantidades dos mesmos levantados na célula BEN04. Na parte inferior da coluna, contabilizou-se o custo da célula BEN04 construída dando um total de 163 772,73 €.

Tabela 42 – Análise Tecno-Económica da célula BEN04[43]

Rúbricas	Preço Final	Unid.	Quant.	Valor
Materiais e instalação de CO				
Bastidor ODF com 90 Cassetes	3 530,84 €	Un	2,00	7 061,68 €
Armário Agregador Indoor	6 650,63 €	Un	1,00	6 650,63 €
Subracks do Armário Agregador	317,56 €	Un	14,00	4 445,84 €
Cabos de OSP				
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 12 FO	1,43 €	m	2 680	3 832,04 €
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 24 FO	1,69 €	m	4 785	8 065,77 €
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 36 FO	1,87 €	m	1 180	2 206,60 €
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 48 FO	2,01 €	m	350	703,50 €
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 72 FO	2,32 €	m	1 375	3 190,00 €
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 96 FO	2,77 €	m	695	1 925,15 €
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 144 FO	3,54 €	m	2 070	7 327,80 €
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 288 FO	5,65 €	m	10	56,50 €
Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 432 FO	8,33 €	m	395	3 289,10 €
Cabos de ISP				
Fornecimento e instalação de cabo <i>Raiser</i> (ISP) 12 FO	1,81 €	m	685	1 241,01 €

Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 24 FO	2,09 €	m	1 310	2 737,90 €
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 36 FO	2,52 €	m	135	340,77 €
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 72 FO	3,64 €	m	65	236,60 €
Juntas de CVP				
Juntas CVP com capacidade até 24 fusões - cassetes incluídas	81,56 €	Un	3	244,69 €
Juntas CVP com capacidade até 72 fusões - cassetes incluídas	91,99 €	Un	3	275,96 €
Juntas CVP com capacidade até 96 fusões - cassetes incluídas	105,27 €	Un	2	210,53 €
Juntas CVP com capacidade até 144 fusões - cassetes incluídas	315,58 €	Un	9	2 840,24 €
Juntas CVP com capacidade até 432 fusões - cassetes incluídas	406,39 €	Un	1	406,39 €
Juntas de fachada (JFO)				
Juntas de fachada com capacidade até 12 fusões - cassetes incluídas	60,22 €	Un	17	1 023,74 €
Juntas de fachada com capacidade até 24 fusões - cassetes incluídas	66,75 €	Un	23	1 535,21 €
Juntas de fachada com capacidade até 36 fusões - cassetes incluídas	73,64 €	Un	2	147,28 €
PDOs de Interior Multi-operador				
PDO com capacidade para 12 conectores no secundário (plástico)	94,15 €	Un	2	188,30 €
PDO com capacidade para 24 conectores no secundário (plástico)	158,59 €	Un	22	3 488,98 €
PDO com capacidade para 36 conectores no secundário (plástico)	205,36 €	Un	25	5 134,00 €
PDO com capacidade para 48 conectores no secundário (plástico)	242,77 €	Un	26	6 312,02 €
PDO com capacidade para 72 conectores no secundário (plástico)	315,94 €	Un	7	2 211,58 €
PDO com capacidade para 96	397,28 €	Un	1	397,28 €
Splitters, fusões e diversos				
<i>Split</i> Junta e PDO Exterior modelo1x4	20,25 €	Un	116	2 349,00 €
<i>Splitter</i> Junta modelo1x8	23,97 €	Un	35	838,88 €
<i>Splitter</i> Junta modelo1x32	53,27 €	Un	34	1 811,18 €
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo1x4	33,74 €	Un	158	5 330,92 €
<i>Splitter</i> PDO Interior modelo1x32	130,02 €	Un	1	130,02 €
Fusões em junta, PDO e CP	7,13 €	Un	5 608	40 012,16 €
Instalação de <i>Patch cords</i> em PDO	4,36 €	Un	1 497	6 530,95 €
Tubo de Subida Metálico	81,27 €	Un	47	3 819,69 €
Survey - Construção de células				
<i>Survey</i> exterior de edifícios	2,83 €	UAs	625	1 768,03 €
<i>Survey</i> interior de edifícios	3,42 €	UAs	1 497	5 118,96 €
Projeto FTTH - Construção de células				
Projeto e cadastro FTTH	6,27 €	UAs	2 126	13 330,02 €
TOTAL:				163 772,73 €

Conclui-se que para construir a célula BEN04 a operadora irá pagar ao SP um valor de aproximadamente 164 mil €. Na prática construir as células com a taxa de penetração de 100 % (50 % cada operadora) o custo da célula será entre 150 a 200 mil euros. A esse valor falta contabilizar o custo dos equipamentos ativos a instalar no CO (OLT e RF *overlay*) e na rede dos clientes, e ainda contabilizar o custo do aluguer das infraestruturas de telecomunicações (condutas, ORAP, ORAC, etc).

O valor final obtido pelo SP na construção da célula em questão, na zona de Benfica no ano 2013 foi de 100 mil €, visto que no momento da construção as duas operadoras não tinham firmado o acordo da partilha da rede FTTH, então ela foi projetada para uma taxa de penetração de 70 %.

6.4. TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO DA CÉLULA BEN04

O *payback* ou tempo de retorno do investimento das células projetadas, calcula o período (prazo) que a operadora irá precisar para recuperar o capital investido na construção das células. Nesse sentido o *payback* depende sempre da fase 7 mencionada no Capítulo 4, ou seja, comercialização e marketing.

A seguir a construção das células, a operadora faz a comercialização da rede de fibra ótica construída com diferentes tarifários oferecidos aos seus clientes, conforme mostra a Tabela 43. Os valores apresentados na tabela, são valores práticos já com a IVA incluída, a esses pacotes são também oferecidos os canais televisivos e as chamadas ilimitadas para as redes fixas, que não foram mencionados na tabela.

Tabela 43 – Tarifários oferecidos aos clientes

	Tarifários	Pacotes Oferecidos	Preço Mensal
Clientes Residenciais	T1	Até 100 Mbps	28,90 €
	T2	100 Mbps	56,90 €
	T3	200 Mbps	71,40 €
	T4	400 Mbps	99,99 €
Clientes Empresariais	T5	1 Gbps	600,00 €

A célula BEN04 é composta por 2126 UAs em que cada operadora irá alimentar 1063 UAs e o investimento inicial na construção da mesma foi de 163 772,73 €, conforme foi apresentado na Tabela 42. A taxa de penetração dos diferentes serviços solicitados pelos clientes será contabilizada ao longo dos anos, ou seja, serão ativados os serviços aos clientes residenciais e empresariais, a medida que estes quisessem serviços de fibra ótica. No entanto, para calcular o *payback* da célula BEN04, foram simulados 3 casos ideais distintos para um período de tempo até 4 anos, com uma taxa de penetração de serviços no total 100 % das 1063 UAs. Isto é, atribuiu-se uma percentagem da taxa de penetração dos diferentes tarifários oferecidos aos clientes e calculou-se durante um ano, qual seria o valor do retorno do investimento inicial. Para tal, simulou-se os seguintes casos:

- Para o caso 1, foi considerada uma taxa de penetração de serviços aos clientes de 25% para os 4 anos, conforme mostra a Tabela 44. Ou seja, assumindo essas taxas de penetração dos serviços às 1063 UAs (ONTs) existentes na célula BEN04, calculou-se o período que a operadora irá precisar para recuperar o capital investido na construção da mesma.

Tabela 44 – Payback da célula BEN04 para o caso 1

Caso 1	1 Ano - 25%			2 Ano - 25%			
	T1	16,28%	60 015,96 €	T1	15,44%	56 919,31 €	
	T2	4,00%	29 032,66 €	T2	5,28%	38 323,11 €	
	T3	2,44%	22 222,99 €	T3	3,00%	27 323,35 €	
	T4	2,00%	25 509,45 €	T4	1,00%	12 754,72 €	
	T5	0,28%	21 621,42 €	T5	0,28%	21 621,42 €	
Total	25,00%	158 402,48 €	Total	25,00%	315 344,39 €		
Caso 1	3 Ano - 25%			4 Ano - 25%			Payback em 4 Anos
	T1	11,00%	40 551,32 €	T1	13,28%	48 956,51 €	
	T2	10,28%	74 613,93 €	T2	7,00%	50 807,15 €	
	T3	1,44%	13 115,21 €	T3	2,00%	18 215,57 €	
	T4	2,00%	25 509,45 €	T4	2,44%	31 121,53 €	
	T5	0,28%	21 621,42 €	T5	0,28%	21 621,42 €	
Total	25,00%	490 755,72 €	Total	25,00%	661 477,89 €	1 625 980,48 €	

Na Tabela 44 as percentagens foram distribuídas em diferentes tarifários mencionados na Tabela 43. O tarifário 5 (T5) pertence aos clientes empresariais. Como são reservadas na célula BEN04 24 FO para a ligação ponto-a-ponto, então estas fibras correspondem a 1,13 % das 2126 UAs. Para os 4 anos foram consideradas uma taxa de penetração de 0,28 % no T5, ou seja, assumiu-se que em cada ano serão ativados os serviços a 6 clientes empresariais. No primeiro ano o retorno do investimento será de 158 402,48 € para uma taxa de penetração de 25 %, enquanto no segundo ano o retorno do investimento será calculado a partir do somatório do primeiro ano mais os valores dos diferentes tarifários contabilizados no segundo ano. Assim sucessivamente para o terceiro e quarto ano. Para tal, concluiu-se que o *payback* da célula BEN04 para o caso 1, será aproximadamente de um ano e três meses, ou seja, é o período onde será superado o valor do investimento inicial. Ao fim desses 4 anos, o total do investimento será superior a um milhão e meio de euros.

- Para o caso 2, considerou-se para o primeiro ano uma taxa penetração de serviços de 20 %. Para o segundo, terceiro e quarto ano, assumiu-se uma taxa de 15 %, 35 % e 30 %, respetivamente, conforme mostra a Tabela 45.

Tabela 45 – Payback da célula BEN04 para o caso 2

Caso 2	1 Ano - 20%			2 Ano - 15%			
	T1	12,28%	45 270,02 €	T1	10,44%	38 486,89 €	
	T2	3,00%	21 774,49 €	T2	2,28%	16 548,61 €	
	T3	2,44%	22 222,99 €	T3	1,00%	9 107,78 €	
	T4	2,00%	25 509,45 €	T4	1,00%	12 754,72 €	
	T5	0,28%	21 621,42 €	T5	0,28%	21 621,42 €	
Total	20,00%	136 398,38 €	Total	15,00%	234 917,81 €		
Caso 2	3 Ano - 35%			4 Ano - 30%			Payback em 4 Anos
	T1	11,28%	41 583,54 €	T1	14,00%	51 610,78 €	
	T2	15,00%	108 872,46 €	T2	9,28%	67 355,76 €	
	T3	5,44%	49 546,34 €	T3	3,00%	27 323,35 €	
	T4	3,00%	38 264,17 €	T4	3,44%	43 876,25 €	
	T5	0,28%	21 621,42 €	T5	0,28%	21 621,42 €	
Total	35,00%	494 805,75 €	Total	30,00%	706 593,31 €	1 572 715,25 €	

Através da Tabela 45 é possível verificar que o retorno do investimento para o caso 2, considerando-se uma taxa de penetração de 20% para o primeiro ano, será de 136 398,38 €. Ou seja, a operadora irá precisar de aproximadamente 1 ano e seis meses para recuperar o investimento inicial gasto na construção da célula BEN04.

- Para o caso 3, considerou-se para o primeiro ano uma taxa penetração de serviços de 30%, enquanto o segundo, terceiro e quarto ano, assumiu-se uma taxa de 35 %, 15 % e 20 %, respetivamente, conforme mostra a Tabela 46.

Tabela 46 – Payback da célula BEN04 para o caso 3

Caso 3	1 Ano - 30%			2 Ano - 35%			
	T1	16,00%	58 983,74 €	T1	21,44%	79 038,22 €	
	T2	6,28%	45 581,27 €	T2	8,28%	60 097,60 €	
	T3	4,44%	40 438,56 €	T3	3,00%	27 323,35 €	
	T4	3,00%	38 264,17 €	T4	2,00%	25 509,45 €	
	T5	0,28%	21 621,42 €	T5	0,28%	21 621,42 €	
Total	30,00%	204 889,17 €	Total	35,00%	418 479,20 €		
Caso 3	3 Ano - 15%			4 Ano - 20%			Payback em 4 Anos
	T1	6,28%	23 151,12 €	T1	12,00%	44 237,81 €	
	T2	5,00%	36 290,82 €	T2	4,28%	31 064,94 €	
	T3	1,44%	13 115,21 €	T3	1,00%	9 107,78 €	
	T4	2,00%	25 509,45 €	T4	2,44%	31 121,53 €	
	T5	0,28%	21 621,42 €	T5	0,28%	21 621,42 €	
Total	15,00%	538 167,22 €	Total	20,00%	675 320,70 €	1 836 856,30 €	

Através da Tabela 46 é possível concluir que o tempo de retorno do investimento inicial por parte da operadora será de apenas um ano, considerando-se uma taxa de penetração de 30%. Ou seja, o retorno do investimento será de 204 889,17 €, que é superior ao valor inicial investido na construção da célula, 163 772,73 €.

Conclui-se a partir dos 3 casos simulados, que o tempo de retorno do investimento da célula BEN04 projetada, depende da taxa de penetração de serviços aos clientes. Caso a taxa for inferior aos 30% para os diferentes tipos de tarifários fornecidos aos clientes no

primeiro ano, a operadora necessitará de aproximadamente um ano e três meses ou um ano e seis meses para recuperar o investimento inicial. Caso a taxa de penetração de serviços aos clientes for igual ou superior aos 30% no primeiro ano, operadora irá precisar de apenas 1 ano para recuperar o capital investido na construção da célula BEN04.

Na Figura 126 estão apresentados o comportamento do *payback* da célula BEN04 ao longo desses 4 anos, para os 3 casos apresentados na Tabela 44, Tabela 45 e Tabela 46. Através da Figura 126, é possível verificar que o investimento é superado no primeiro ano para o caso 3, pelo facto da taxa de penetração de serviços aos clientes ser de 30% nesse ano. De ponto de vista do retorno de investimento da célula, o caso 3 será mais benéfico para a operadora pelo facto do tempo de retorno for de 1 ano para uma taxa de penetração dos serviços de 30 %. Na prática, para o mesmo tempo, a taxa de penetração será de 20 %.

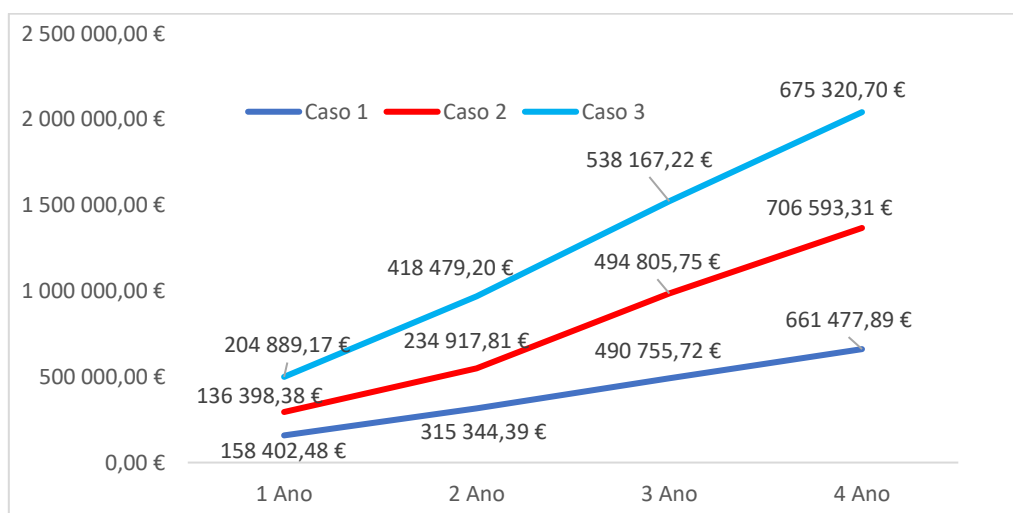


Figura 126 – Payback da célula BEN04

6.5. INTRODUÇÃO DA REDE XGPON

A rede GPON dimensionada no Capítulo 5, é a tecnologia atualmente instalada em Portugal que oferece maior débito de transmissão, permitindo que taxas de 2,5 Gbps sejam divididas entre 64 utilizadores na rede de fibra ótica. O que significa que a largura de banda na fibra que sai do CO é partilhada entre esses utilizadores. Um aumento da mesma com a introdução da nova tecnologia, implicaria o aumento da taxa de bits na transmissão dos dados e um aumento de número de utilizadores (rácio de divisão ótica),

na qual com uma largura de banda necessária para atender todos os serviços fornecidos à rede.

O débito binário em DS após cada divisor ótico na rede GPON, e considerando o pior caso, ou seja, partindo do pressuposto que todos os usuários estarão a consumir os mesmos recursos na rede, é de:

$$LB_{\text{mínima}} = \frac{2500.000.000}{64} = 39\text{Mbps} \quad (23)$$

Significa que o débito mínimo de transmissão para todos os ONTs ligados a mesma fibra proveniente do CO, será de 39 Mbps. Com este débito é possível atender todos os serviços de dados, vídeo e VoIP fornecidos pela rede GPON.

Na Tabela 47 está apresentado o débito binário necessário para a transmissão de dados e de vídeo em alta qualidade na rede GPON[45][46][47].

Tabela 47 – Débito binário necessário para transmitir os serviços na rede GPON

Serviços	Débito binário	Descrição
VoIP	1 Mbps a 2 Mbps	0,1 Mbps por chamada, 20 chamadas equivalem a 2 Mbps.
<i>Streaming Video</i> (Youtube, Netflix, etc ou canais de tv)	<i>Lower Definition (LD)</i> – < 0,7 Mbps <i>Standard Definition (SD)</i> – 0,7 a 2,5 Mbps <i>High Definition (HD)</i> – > 2,5 Mbps <i>Full High Definition (FHD)</i> – 4 Mbps <i>Ultra High Definition (UHD)</i> – 15 Mbps 4 k – 25 Mbps 8 k – Não definido 16 k – Não definido	LD resolução 360p; SD resolução 480p; HD resolução 720p; FHD resolução 1080p; UHD resolução 2160p; 4k resolução 2160p; Não definido. Não definido.
Navegações Web	6 Mbps	Vários sites abertos em simultâneo.

Considerando-se o débito máximo para a transmissão de VoIP, *streaming video* e navegações web apresentados na Tabela 47, o débito necessário seria aproximadamente de:

$$LB_{\text{serviços}} = 2\text{Mbps} + 25\text{Mbps} + 6\text{Mbps} = 33\text{Mbps} \quad (24)$$

Permite concluir que a rede GPON instalada, satisfaz todas as necessidades dos clientes residenciais na transmissão dos serviços. Para além do débito binário da equação (23) oferecida aos clientes, na prática os clientes residenciais podem contratar serviços com débitos de transmissão em DS de 100, 200 e 400 Mbps.

Com a evolução de novas tecnologias e de transmissão de vídeos em altas resoluções, 8 k ou 16 k, a largura de banda fornecida pela rede GPON poderá não ser suficiente para acolher esses avanços tecnológico. Então a solução será aumentar o débito de transmissão em DS e US, ou seja, introduzir a rede XGPON na rede de acesso. Para tal, será necessário analisar a infraestrutura física da rede GPON instalada e definir os pontos é que serão modificados para acolher a nova tecnologia.

Foi mencionado na descrição da rede XGPON, que o débito de transmissão em DS é de 10 Gbps e com um rácio de 128 utilizadores, ou seja, na prática aumenta-se a largura de banda por utilizadores, ver a equação (25), e também se aumenta a área de cobertura na fibra ótica. Com a inserção da XGPON para transportar serviços aos clientes, significa que tendo todos os clientes ligados à rede a consumir os mesmos recursos, o débito binário mínimo oferecido pela mesma será de 78 Mbps.

$$LB_{\text{mínima}} = \frac{10.000.000.000}{128} = 78\text{Mbps} \quad (25)$$

Com a largura de banda calculada para a rede XGPON na equação (25), esta será suficientemente para acolher os requisitos do aumento da largura de banda para a transmissão dos serviços em alta qualidade, por exemplo, as transmissões de alta qualidade como 8k ou 16k.

6.6. IMPLEMENTAÇÃO FÍSICA DA REDE XGPON

Na rede GPON implementada na prática apresentada na Figura 127, são injetados no CO dois comprimentos de onda através dos equipamentos ativos instalados, e na rede do cliente estes são decodificados pelos respetivos ONTs. O objetivo é introduzir a rede XGPON sobre a infraestrutura física da rede GPON existente, ou seja, analisar quais os pontos da rede: CO, JFO, JSO ou ONTs, que se pretende modificar para acolher a nova tecnologia. Só que na prática, não é sugerível fazer alterações nas JFOs e JSOs, pois para

além de as fibras estarem fusionadas e *spittadas* o que poderia pôr em causa a ligação dos serviços de outros clientes, também seria um trabalho bastante complexo visto que estas se encontram dentro das CVPs, que muitas das vezes estão situadas nas estradas onde circulam os veículos. Então as alterações na rede serão feitas no CO e na rede do cliente, conforme ilustra a Figura 128.

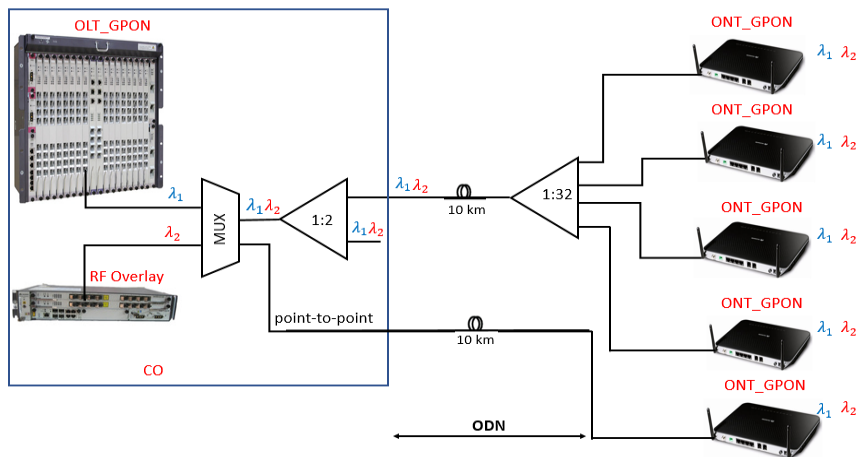


Figura 127 – Implementação física da rede GPON

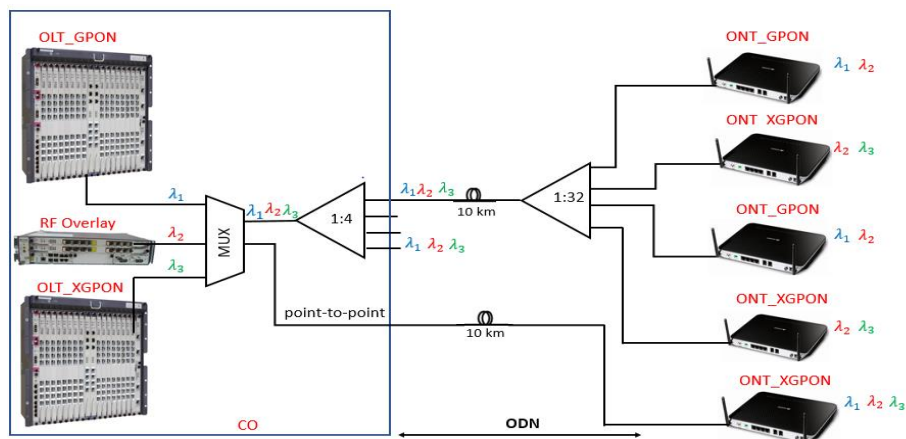


Figura 128 – implementação física da rede XGPON

No CO será adicionado um novo equipamento ativo (OLT) da XGPON que irá introduzir um terceiro comprimento de onda na rede, de forma a coexistir com os comprimentos de onda da rede GPON implementada. Também se aumenta o rácio de divisão ótica de 1:2 para 1:4, o que implicaria um aumento da área de cobertura de 64 ONTs para 128 ONTs. Enquanto na rede do cliente serão instalados novos ONTs, com duas configurações possíveis capazes de decodificar os comprimentos de onda da rede GPON ou XGPON, de acordo com as preferências dos clientes. Para ligação ponto-a-

ponto, os clientes empresariais também poderão optar pela largura de banda oferecida pela rede GPON ou XGPON.

A rede XGPON para além de aumentar a largura de banda aos clientes, a área de cobertura nas Microcélulas, faz com que a rede fique mais dispendiosa em relação à rede anterior devido aos equipamentos ativos instalados no CO e na rede do cliente. Também provoca o aumento da atenuação com o aumento do rácio de divisão ótica, ou seja, aumenta de 19,96 dB (rede GPON) para 23,17 dB (rede XGPON), conforme mostra as equações (26) e (27).

$$A_{sp\ 1:64} = 10 * \log_{10}(64) + 0,3 * \log_2(64) = 19,86\ dB \quad (26)$$

$$A_{sp\ 1:128} = 10 * \log_{10}(128) + 0,3 * \log_2(128) = 23,17\ dB \quad (27)$$

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste último capítulo são reunidas as principais conclusões relativas à dissertação e sugeridas algumas propostas de futuros trabalhos, que poderão dar continuidade ao estudo efetuado sobre dimensionamento da rede FTTH GPON na zona de Lisboa e a respetiva análise tecno-económica. Também o estudo sobre os possíveis caminhos para a implementação da tecnologia XGPON na rede de acesso.

7.1. CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como motivação base, o dimensionamento de uma rede em fibra ótica FTTH, com o intuito de aumentar a largura de banda na transmissão dos serviços aos utilizadores na rede de acesso. A escolha da tecnologia GPON, prende-se com o facto de ser a tecnologia elegida pelas operadoras existentes em Portugal, para a transmissão dos serviços aos seus clientes. Para tal, os objetivos principais da mesma foram: dimensionar uma rede FTTH GPON na área de cobertura na zona de Lisboa concretamente na zona de Benfica, estudar viabilidade económica da rede GPON implementada na mesma zona, e calcular o tempo que a operadora irá precisar para recuperar o investimento inicial da rede projetada. Também se implementou a

tecnologia XGPON nas redes de acesso, pelo facto de a largura de banda oferecida aos clientes ser maior.

Fez-se o estudo do estado da arte das evoluções das redes de acesso para os diferentes meios físicos de transmissão, assim como as limitações existentes nos mesmos. A escolha dessas redes, como solução para a transmissão dos serviços aos clientes dependem de vários fatores que dificultam o funcionamento, por vezes limitam o acesso aos serviços, condicionam a estrutura e a organização da rede. Estudou a evolução das tecnologias xDSL, para os diferentes débitos de transmissão e alcance físico sobre pares de cobre. Analisou a tecnologia HFC, a fim de fornecer novos serviços na transmissão de dados em banda larga, como a transmissão do sinal de TV. A escolha destas tecnologias só é vantajosa, caso os clientes residirem próximos do CO.

Com a crescente demanda de largura de banda por parte dos utilizadores residenciais e empresariais, a instalação de fibra ótica estendido até às instalações dos clientes emergiu como uma solução viável para o crescimento exponencial dos serviços de banda larga. Nas redes de acesso PON começou por abordar as evoluções das redes PON e as técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda. Essas redes PON utilizam a técnica TDM-PON com uma topologia em árvore, ou seja, o débito é partilhado na rede por vários utilizadores. As NGPON permitem a coexistência de redes PON sobre a mesma infraestrutura física de transmissão, possibilitando aos clientes serviços de várias redes. Com avanços tecnológicos nas redes PON, é possível utilizar outras técnicas de multiplexagem de comprimento de onda, técnicas WDM-PON por exemplo, que permitem utilizar um comprimento de onda por cliente. Ou seja, a largura de banda por cliente é aumentada de forma consideravelmente. Só que esta técnica de multiplexagem de comprimentos de onda é muito mais dispendiosa em relação à técnica TDM-PON.

Após todo o processo de pesquisa e da aquisição de conhecimento sobre a evolução das redes PON nas redes de acesso e técnicas de multiplexagem de comprimentos de onda, projetou-se a rede FTTH GPON na zona de Lisboa. Esta foi projetada para ser explorada por duas operadoras com uma taxa de penetração da rede final para 100 % (50 % para OP1 e 50 % para OP2). Ou seja, no cabo de FO são projetadas fibras ativas para alimentar todos os edifícios existentes nessa zona. O projeto FTTH GPON foi dividida em 7 fases, a

primeira fase consiste no *survey* ou no levantamento da zona de cobertura, a segunda na definição das células ou celulização, a terceira no processo de microcelulização e elaboração de projeto, a quarta na construção da rede, a quinta nos ensaios da mesma, a sexta na entrega do projeto, enquanto a última, a sétima é da responsabilidade da operadora, a qual é responsável pela comercialização e marketing. Isto é, utilizou-se o software *AutoCad* para projetar a rede FTTH PON, ou seja, a seguir ao *survey*, a zona de Benfica foi dividida em células, as quais em Microcélulas, para cada edifício existente nas Microcélulas foram projetadas as FAS para ligar as UAs. As duas operadoras firmaram um acordo na partilha de fibras no cabo, no entanto, visto que a OP1 não tem qualquer infraestrutura física de telecomunicações, então para cada célula projetada são reservadas fibras no cabo para fazer FTTH, fibras para ligações ponto-a-ponto e fibras de reservas para zonas de futura expansão. Enquanto a OP2, é responsável pelas condutas existentes em Portugal, tem o interesse apenas na construção da rede FTTH, caso surgir clientes empresariais para ligação ponto-a-ponto fará a passagens de novos cabos de FO, para ligar serviços aos mesmos.

Cada célula é alimentada por um cabo de 144 FO, este deverá ser transportado em condutas de forma a proteger a ligação das mesmas. Nas células próximas da zona de futura expansão, as fibras de reservas são reencaminhadas para a JSO mais próxima da zona de fronteira.

Foram definidos os limites de UAs na construção de células e Microcélulas, com o intuito de haver menos fibras desperdiçadas nas JSOs, para tal, foi adicionada 5 FAP no cabo na ODN para compensar os desperdícios de FAS.

A análise tecno-económica da célula projetada na zona de Benfica, depende de diversos fatores, como dimensão da célula, tipo de infraestrutura existentes, acesso às condutas, licenças ORAP e ORAC, tipos de equipamentos instalados, CAPEX e OPEX. Ao valor final a pagar ao SP pela construção das células, a operadora terá que instalar os equipamentos ativos no CO e nas redes dos clientes, e ainda contabilizar o valor do aluguer das infraestruturas de telecomunicações.

O custo de implementação de uma célula para ser partilhada por duas operadoras concorrentes, na prática ronda valores entre 150 000 € e 200 000 €. A célula BEN04

projetada teve um custo de 163 772,73 €. Para tal, determinou-se o *payback* ou o período que a operadora irá precisar para recuperar esse capital investido na construção da célula projetada na zona de Benfica. Foram simulados 3 casos distintos para um período de tempo até 4 anos, com uma taxa de penetração de serviços de 100 % das UAs, existentes na célula BEN04 para a operadora. Para cada ano foram distribuídas diferentes percentagens dos tarifários oferecidos aos clientes. Então, concluiu-se que o tempo de retorno do investimento da célula projetada depende da taxa de penetração de serviços aos clientes. Caso a taxa for inferior aos 30% para os diferentes tipos de tarifários fornecidos aos clientes no primeiro ano, a operadora necessitará de aproximadamente um ano e três meses ou um ano e seis meses para recuperar o investimento inicial. Caso a taxa de penetração de serviços aos clientes for igual ou superior aos 30% no primeiro ano, operadora irá precisar de apenas 1 ano para recuperar o capital investido na construção da célula BEN04.

A rede de fibra ótica entre o CO e o ONT deve ser projetada para um *Power Budget* máximo de 26 dB, ou seja, a atenuação máxima calculada na rede não pode ultrapassar esse limite.

A largura de banda fornecida pela rede GPON aos clientes, considerando-se o débito máximo para a transmissão de VoIP, *streaming video* e navegações *web*, satisfaz todas as necessidades dos clientes residenciais em termos de serviços de qualidade. A tecnologia XGPON só terá benefícios aos clientes residenciais, caso a transmissão de vídeos for em alta resoluções, como 8k ou 16k.

7.2. TRABALHO FUTURO

Como foi mencionado anteriormente, o objetivo principal desta dissertação foi dimensionar uma rede FTTH GPON, na área de cobertura na zona de Lisboa, para ser explorada por duas operadoras. No entanto, apresentam-se algumas sugestões para trabalho futuro que podem dar continuidade ao estudo que foi realizado nesta dissertação.

- Dimensionamento da rede FTTH XGPON ou XGS-PON na rede de acesso e a sua respetiva análise tecno-económica;

- Determinar o *payback* da rede FTTH XGPON ou XGS-PON, anteriormente dimensionada;
- Análise da potência recebida nos ONTs, ou seja, através da potência de emissão no OLT, analisar qual é a potência recebida em cada um dos ONTs na rede do cliente.
- Estudar a otimização de consumo de energia dos OLTs no arranque da rede FTTH;
- Dimensionar a percentagem de fibras sem sinal ou fibras escuras na rede secundária, para futuras UAs que poderão surgir nas Microcélulas ao longo dos anos;
- Analisar o tempo de vida das fibras instaladas e as suas substituições, de 15 em 15 anos;
- Analisar o tempo de vida dos equipamentos ativos no CO e na rede do cliente, de 10 em 10 anos.

Referências Documentais

- [1] Rodrigues, M. – “Fibras Óticas de Plástico em Redes de Acesso” (Tese de Mestrado), Instituto Superior de Lisboa – 2013.
- [2] Redes de Telecomunicações de Nova Geração. Acedido em 22 de Outubro de 2016 [Online]. Available: <http://slideplayer.com.br/slide/69854/>.
- [3] Lallukka, S. and Raatikainen, P. – “Passive Optical Networks - Transport Concepts”, VTT Publications 597, ESPOO 2006.
- [4] Cota, N., Cap5 – “Transmissão Digital”. Apontamentos de Sistemas de Telecomunicações, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015/2016.
- [5] Cota, N., Cap3 – “Redes de Acesso”. Apontamentos de Sistemas de Telecomunicações, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015/2016.
- [6] ITU-T Rec. G.991.1 – “High Bit Rate Digital Subscriber Line (HDSL) Transceivers: Digital Transmission Systems” – Access Networks, 1998.
- [7] Anacom, tecnologias xDSL. Acedido em 05 de Novembro de 2016 [Online]. Available: <http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=340462#.WB39QfqLTIV>.
- [8] ITU-T Rec. G.991.2 – “Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line (SHDSL) Transceivers: Digital Sections and Digital Line System” – Access Networks, 2003.
- [9] Arquitetura TREE AND BRANCH. Acedido em 07 de Novembro de 2016 [Online]. Available: <https://supportforums.cisco.com/sites/default/files/legacy/4/6/1/51164-adr%C3%B5es%20de%20redes%20utilizados%20em%20TV%20a%20Cabo.pdf>.
- [10] Anacom, Redes HFC. Acedido em 07 de Novembro de 2016 [Online]. Available: http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=340461#.WCC1a_qLTIU.
- [11] S. Lopes, “Fibra Óptica na rede de Acesso: Cenários de Evolução”, (Tese de Mestrado) – Universidade de Aveiro, 2011.
- [12] Anacom, Redes FTTH/B/P. Acedido em 15 de Novembro de 2016 [Online]. Available: <http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=340463#.WCSRiuaLTIU>.
- [13] PON - Passive Optical Network. Acedido em 16 de Novembro de 2016 [Online]. Available: <http://www.infocellar.com/networks/new-tech/PON/PON-real.htm>.
- [14] PON Architectures – Springer, Chapter 2 PON Architectures.
- [15] Lee, C., Sorin, V. and Kim, B. – “Fiber to the Home Using a PON Infrastructure”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 24, Nº 12, December 2006.
- [16] Koonen, T. – “Fiber to the home/fiber to the premises: What, Where, and When?”, Proceedings of the IEEE, vol. 94, Nº5, pp. 911-934, May 2006.
- [17] Gutierrez, D., Shaw, W., An, F., Hsueh, Y., Rogge, M., Wong, G., and Kazovsky, L. – “Next Generation Optical Access Networks”, Photonics and Networking Research Laboratory, Stanford University, Stanford CA 94305, USA.
- [18] Leino, D. – “10 Gigabit-capable Passive Optical Network Transmission Convergence layer design”, Faculty of Electronics, Communications and Automation, 23 April 2010.
- [19] Ramaswami, R., Sivarajan, K. and Sasaki, G. – Optical Networks: A Practical Perspective, 3rd Edition.

- [20] Koonem, T. – “Optical Transmission Systems in the Telenor Network: Fiber-Optic Techniques for Broadband Access Networks”, *Telelektronikk*, Volume 101 No. 2 – 2005 ISSN 0085-7130.
- [21] Pires, J., Cap 7 – “Redes de Acesso”. *Apontamentos de Redes de Telecomunicações*, Instituto Superior Técnico, 2010/2011.
- [22] ITU-T Rec. G.983.1 – “Broadband Optical Access Systems Based on Passive Optical Networks (PON)”, *Digital Sections and Digital Line System – Optical Line Systems for Local and Access Networks*, 01/2005.
- [23] ITU-T The leader on G-PON standards. Acedido em 05 de Dezembro de 2016 [Online]. Available: <http://www.itu.int/itudoc/gs/promo/tsb/85155.pdf>.
- [24] Cale, I., Salihovic, A., Ivekovic, M. – “Gigabit Passive Optical Network – GPON”, *Proceedings of the ITI 2007 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces*, Cavtat, Croatia, June 25-28, 2007.
- [25] GPON - EPON Comparison, CommScope Solutions Marketing, October 2013.
- [26] Angelopoulos, J., Leligou, H., Argyriou, T. and Zontos, S. – “Efficient Transport of Packets with QoS in an FSAN-Aligned GPON”, *Topics in Broadband Access*, National Technical University of Athens.
- [27] Hood, D. and Trojer, E. – “Gigabit-Capable Passive Optical Networks”, published by John Wiley & Sons, 2012.
- [28] Sultan, D. and Arefin, Md. – “GPON, the Ultimate Pertinent of Next Generation Triple-play Bandwidth Resolution”, *Journal of Telecommunications and Information Technology*, 2/2011.
- [29] ITU-T Rec. G.984.3 – “Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification”, 03/2008.
- [30] Next-Generation PON Evolution, Huawei Technologies Co., Ltd. 2010.
- [31] Kai, H. – “A Discussion of NG-PON: Evolution Trends”, FN Product Planning Manager, ZTE Corporation, August 2015.
- [32] Rokkas, T. – “Technoeconomic Analysis of PON Architectures for FTTH Deployments: Comparison Between GPON, XGPON and NG-PON2 for a Greenfield Operator”, CITE, Athens, Greece.
- [33] Lannone, P., Veen, D., Gnauck, A. and Houtsma, V. – “Extending Capacity in Access Beyond NG-PON2: WDM vs. TDM”, Bell-Labs/Alcatel-Lucent, Murray Hill, New Jersey, USA.
- [34] Effenberger, F. – “XGPON versus NG-PON2: Which One Will Win?”, *ECOC Technical Digest*, 2012, OSA.
- [35] Emmendorfer, M. – “Comparing IEEE EPON & FSAN/ITU-T GPON Family of Technologies”.
- [36] Pflum, M. – “10G-PON”, ACE: Association of Communication Engineers, RVW, Inc.
- [37] ITU-T Rec. G.987.1 – “10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGSPON): Optical line systems for local and access networks” – *Access networks*, 06/2016.
- [38] ITU-T Rec. G.989.1 – “40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (NG-PON2): General Requirements: Digital Sections and Digital Line System – Optical line Systems for Local and Access Networks”, 03/2013.

- [39] Fujiwara, M. – “Burst-Mode Optical Amplifier Technologies for TWDM-PON”, 42nd European Conference and Exhibition on Optical Communications, September 2016.
- [40] Nettet, D. – “NG-PON2 technology and standards”, Senior Member, IEEE, Journal of Lightwave Technology, July 2016.
- [41] Luo, Y., Zhou, X., Effenberger, F., Yan, X., Peng, G., Qian, Y. and Ma, Y. – “Time- and Wavelength-Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON) for Next-Generation PON Stage 2 (NG-PON2)”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 31, Nº 4, February 15, 2013.
- [42] Chit, I., Patnam, M., Chan, K. and Fook, F. – “Performance Evaluation of Web browsing over Hybrid Fiber Coaxial Broad-Band Networks” Kent Ridge Digital Labs.
- [43] Manual do Projeto FTTH, Relatórios Internos da Empresa de Projetos e Engenharia em Telecomunicações – CBE.
- [44] Manual ITED – 2ª edição, versão 3.1 – 21 Maio 2009.
- [45] Acedido em 04 de Agosto de 2017 [Online]. Available: <https://www.google.com/get/videoqualityreport/#methodology>.
- [46] Acedido em 04 de Agosto de 2017 [Online]. Available: <https://www.avoxi.com/blog/how-much-bandwidth-is-needed-for-voip/>.
- [47] Acedido em 04 de Agosto de 2017 [Online]. Available: <https://www.lifewire.com/g00/internet-speed-requirements-for-movie-viewing-1847401?i10c.referrer=>.
- [48] Walker, T. – “Optical Transport Network (OTN) Tutorial”, USA.
- [49] Banerjee, A., Park, Y., Clarke, F., Song, H., Yang, S., Kramer, G., Kim, K. and Mukherjee, B. – “Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access”, November 2005, Vol. 4, No. 11, JOURNAL OF OPTICAL NETWORKING.
- [50] White paper – “WDM-PON: A key Component in Next Generation Access”.
- [51] ITU-T Rec. G.694.1 – “Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid”, 02/2012.
- [52] Kachhatiya, V. and Prince, S. – “Wavelength Division Multiplexing-Dense Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network (WDM-DWDM-PON) for Long Reach Terrain Connectivity”, International Conference on Communication and Signal Processing, April /2016, India.
- [53] Chi, Y., Lin, C., Lin, S. and Lin, G. – “The Reuse of Downstream Carrier Data Erased by Self-Feedback SOA for Bidirectional DWDM-PON Transmission”, Senior Member, IEEE, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 30, N19, OCTOBER/2012.
- [54] Pires, J. – “Redes de Transporte WDM”. Apontamentos de Sistemas de Comunicação Ótica, Instituto Superior Técnico.
- [55] Jiang, X., Zhang, Z., Wang, J. and Chen, X. – “A Back Reflection Optical Signal Detection-Based Automatic Wavelength Allocation Method for Channel-Reuse

- DWDM-PON with Tunable Lasers”, International Conference on Optical Communications and Networks, 2015, China.
- [56] Scholts, L., Korcek, D. and Mullerová, J. – “Design of a Novel Wavelength Scheme for DWDM-PON Coexisting with Current PON Technologies and Protected Against Signal Interference”, Institute of Aurel Stodola, Faculty of Electrical Engineering, University of Žilina, Slovak Republic.
- [57] ITU-T Rec. G.694.2 – “Spectral Grids for WDM Applications: CWDM Wavelength Grid”, 12/2003.
- [58] Salleh, M., Manaf, Z., Khairi, K., Mohamad, R. and Lambak, Z. – “The Challenge for Active and Passive Components Design in CWDM PON System Co-Exist in GEAPON and 10 GEAPON Architecture”, TM Innovation Center, Lingkaran Teknokrat Timur, 63000 Cyberjaya, Selangor, Malaysia.
- [59] Khairi, k., Manaf, Z., Adriyanto, D., Salleh, M., Hamzah, Z. and Mohamad, R. – “CWDM PON System: Next Generation PON for Access Network”, Proceedings of the 2009 IEEE, 9th International Conference on Communications, 17 December 2009, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [60] Zhao, H., Hu, S., Zhao, J., Yu, Y. and Barry, L. – “Chirp-Compensated DBR Lasers for TWDM-PON Applications”, IEEE Photonics Journal, Vol. 7, № 1, February 2015.
- [61] M. Bi, H. He, S. Xiao, and J. Li, “A New Symbol Timing Synchronization Scheme for Direct Modulation Optical OFDM PON”, in Proc. Asia Commun. Photon. Conf., Shanghai, China, 2011, pp. 1–6.
- [62] Yu, Q., Yu, X., Wu, X., Wang, L. and Zheng, B. – “Sleeping-time Analysis for Cognitive OFDM-PON”, Global Energy Interconnection Research Institute, Nanjing, China.
- [63] Chow, C., Yeh, C. and Sung, Y. – “OFDM RF Power-Fading Circumvention for Long Reach WDM-PON”, Department of Photonics and Institute of Electro-Optical Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, 30010, Taiwan.

Anexo A. Transmissão Assíncrona Vs Síncrona

Uma transmissão diz-se assíncrona quando não é estabelecido no recetor nenhum mecanismo de sincronização relativamente ao emissor e, portanto, as sequências de bits emitidas têm de conter em si uma indicação de início e do fim de cada agrupamento. Neste caso, o intervalo de tempo entre cada agrupamento de bits transmitidos pode variar constantemente, e a leitura dos dados terá de ser feita pelo recetor com base unicamente nos próprios sequências dos bits recebidos. Por exemplo numa comunicação de pacotes, no envio da trama há indicação de quando é que começa e acaba a trama.

Na transmissão assíncrona os blocos de informação são transmitidos separadamente numa referência temporal autónoma retirada de informação de controlo. Ou seja, não existe a priori nenhuma forma estabelecida de comunicar, significa que quando o emissor necessita de comunicar com o recetor, tem que solicitar o início de comunicação enviando informação naquele momento e quando termina a comunicação termina qualquer tipo de referência temporal existente entre dois equipamentos.

Vantagens da transmissão assíncrona: são sistemas mais eficiente quando se tem uma comunicação em rajadas. Permite utilizar melhores os recursos pelo facto de ser uma transmissão assíncrona, por exemplo quando emissor não tem nada para enviar, não vale a pena estar a consumir energias na rede.

Uma transmissão diz-se síncrona quando no dispositivo do recetor é ativado um mecanismo de sincronização relativamente ao fluxo de dados proveniente do emissor. Este mecanismo de sincronização é um relógio (*clock*) interno normalmente instalados nos modems no recetor. Este determina de quantas em quantas unidades de tempo é que o fluxo de bits deve ser segmentado, de modo a que cada segmento assuma o mesmo tamanho e formato com que foi emitido.

Na transmissão síncrona a informação é transmitida de forma continua, o emissor e o recetor deverão manter a referência temporal comum. Ou seja, numa comunicação síncrona os dois equipamentos têm uma referência temporal comum permanente contínua, que quer dizer que o emissor não precisa pedir autorização para enviar porque

o recetor está sempre a espera de receber algo, mesma que seja rajada de “lixo” para ditar o sincronismo.

Vantagens de transmissão síncrona: fluxo de informação de forma constante e permanente, tem uma *overhead* muito inferior em termos de comunicação, uma vez que os sistemas estão sempre a comunicar e, portanto, não é preciso enviar tempos de controlo anteriormente.

Anexo B. Price List

Tabela 48 – Price Liste dos equipamentos instalados na rede FTTH[43]

Componentes Gerais	Rúbricas	Preço Final	Unid.
Construção de rede OSP e ISP	Materiais e instalação de CO		
	Bastidor ODF Empresarial/Fronteira (47 U's)	777,50 €	Un
	Bastidor ODF capacidade para alojar até 12 Cassetes	3 700,13 €	Un
	Bastidor ODF capacidade para alojar até 45 Cassetes	3 708,50 €	Un
	Bastidor ODF capacidade para alojar até 90 Cassetes (45 U's 600x300)	3 530,84 €	Un
	Modulo 3U's com 12 Pigtaills Empresarial (inclui frame e encaminhador)	77,76 €	Un
	Modulo Verde de Fusão 24 Conectores LC/APC	150,55 €	Un
	Modulo Cinzento de 6 posições WDM	780,00 €	Un
	Instalação para a capacidade inicial do CO indicada pela OP (Custo por PON)	110,00 €	PON
	Expansão posterior indicada pela VDF (custo por PON)	192,99 €	PON
	Armário Outdoor/Indoor Agregador (capacidade para 4.536 fusões)	6 650,63 €	Un
	Subracks do Armário Agregador (inclui 6 cassetes de 36 fusões)	317,56 €	Un
	Patch CO (inc deslocação + instalação 1 patch)	87,01 €	Un
	Patch CO Adicional	17,40 €	Un
	Cabos de OSP		
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 12 FO	1,43 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 24 FO	1,69 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 36 FO	1,87 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 48 FO	2,01 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 72 FO	2,32 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 96 FO	2,77 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 144 FO	3,54 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 288 FO	5,65 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo de conduta (OSP) 432 FO	8,33 €	m
	Cabos de ISP		
	Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 12 FO	1,81 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 24 FO	2,09 €	m
	Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 36 FO	2,52 €	m

Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 48 FO	2,83 €	m
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 72 FO	3,64 €	m
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 96 FO	4,19 €	m
Fornecimento e instalação de cabo Raiser (ISP) 144 FO	5,33 €	m
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 12 FO	1,74 €	m
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 24 FO	2,00 €	m
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 36 FO	2,25 €	m
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 48 FO	2,44 €	m
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 72 FO	3,00 €	m
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 96 FO	3,43 €	m
Fornecimento e instalação de cabo de fachada (ISP) 144 FO	4,05 €	m
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 12 FO	1,97 €	m
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 24 FO	2,39 €	m
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 36 FO	2,71 €	m
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 48 FO	2,82 €	m
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 72 FO	3,48 €	m
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 96 FO	3,81 €	m
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 144 FO	5,00 €	m
Fornecimento e instalação de cabo auto-suportado e ou cabo cosido 288 FO	6,78 €	m
Juntas de CVP		
Juntas CVP com capacidade até 24 fusões - cassetes incluídas	81,56 €	Un
Juntas CVP com capacidade até 48 fusões - cassetes incluídas	87,25 €	Un
Juntas CVP com capacidade até 72 fusões - cassetes incluídas	91,99 €	Un
Juntas CVP com capacidade até 96 fusões - cassetes incluídas	105,27 €	Un
Juntas CVP com capacidade até 120 fusões - cassetes incluídas	110,02 €	Un
Juntas CVP com capacidade até 144 fusões - cassetes incluídas	315,58 €	Un
Juntas CVP com capacidade até 288 fusões - cassetes incluídas	342,28 €	Un
Juntas CVP com capacidade até 432 fusões - cassetes incluídas	406,39 €	Un
Juntas de fachada		

Juntas de fachada com capacidade até 12 fusões - cassetes incluídas	60,22 €	Un
Juntas de fachada com capacidade até 24 fusões - cassetes incluídas	66,75 €	Un
Juntas de fachada com capacidade até 36 fusões - cassetes incluídas	73,64 €	Un
Juntas de fachada com capacidade até 48 fusões - cassetes incluídas	131,97 €	Un
Juntas de fachada com capacidade até 72 fusões - cassetes incluídas	144,58 €	Un
Juntas de fachada com capacidade até 96 fusões - cassetes incluídas	151,59 €	Un
Juntas de fachada com capacidade até 144 fusões - cassetes incluídas	175,25 €	Un
Juntas de poste		
Juntas de poste com capacidade até 12 fusões - cassetes incluídas	73,49 €	Un
Juntas de poste com capacidade até 24 fusões - cassetes incluídas	79,95 €	Un
Juntas de poste com capacidade até 36 fusões - cassetes incluídas	86,46 €	Un
Juntas de poste com capacidade até 48 fusões - cassetes incluídas	151,53 €	Un
Juntas de poste com capacidade até 72 fusões - cassetes incluídas	161,91 €	Un
Juntas de poste com capacidade até 96 fusões - cassetes incluídas	170,66 €	Un
Juntas de poste com capacidade até 144 fusões - cassetes incluídas	181,16 €	Un
Juntas torpedo em poste com capacidade até 144 fusões	315,58 €	Un
PDOs de Interior Multi-operador		
PDO com capacidade para 12 conectores no secundário (plástico)	94,15 €	Un
PDO com capacidade para 24 conectores no secundário (plástico)	158,59 €	Un
PDO com capacidade para 36 conectores no secundário (plástico)	205,36 €	Un
PDO com capacidade para 48 conectores no secundário (plástico)	242,77 €	Un
PDO com capacidade para 72 conectores no secundário (plástico)	315,94 €	Un
PDO com capacidade para 96 conectores no secundário (plástico)	397,28 €	Un
PDOs de Interior Multi-operador com rede vertical partilhada de outro operador		
PDO com capacidade para 12 conectores RV PT (plástico)	43,40 €	Un
PDO com capacidade para 24 conectores RV PT (plástico)	75,99 €	Un
PDO com capacidade para 36 conectores RV PT (plástico)	99,79 €	Un
PDO com capacidade para 48 conectores RV PT (plástico)	119,14 €	Un

	PDO com capacidade para 72 conectores RV PT (plástico)	158,08 €	Un
	PDO com capacidade para 96 conectores RV PT (plástico)	200,42 €	Un
	Floorbox		
	CP com capacidade para 4 fusões	25,74 €	Un
	CP com capacidade para 12 fusões	31,21 €	Un
	Splitters, fusões e diversos		
	Splitters de junta e PDO modelo 1x16	78,95 €	Un
	Splitter Junta e PDO Exterior modelo1x4	20,25 €	Un
	Splitter Junta modelo1x8	23,97 €	Un
	Splitter Junta modelo1x32	53,27 €	Un
	Splitter PDO Interior modelo1x4	33,74 €	Un
	Splitter PDO Interior modelo1x32	130,02 €	Un
	Fusões em junta, PDO e CP	7,13 €	Un
	Instalação de Patchcoords em PDO	4,36 €	Un
	Processo WO's Rede FTTH operador beneficiário	120,00 €	Un
	Validação Portos Faulty	26,05 €	PDO
	Adaptação de PDO de interior para partilha de rede vertical	52,09 €	Un
	Tubo de Subida incluindo todos os acessórios necessários, sondas e instalação	81,27 €	Un
	Survey - Projectos Especiais (Ligação Ponto-a-Ponto)		
Survey e Celulização	Survey de 1 a 30 HP's	103,42 €	UAs
	Survey de 31 a 60 HP's	206,85 €	UAs
	Survey de 61 a 120 HP's	309,83 €	UAs
	Survey de 121 a 150 HP's	413,10 €	UAs
	Survey de 151 a 180 HP's	521,59 €	UAs
	Survey de 181 a 210 HP's	625,91 €	UAs
	Survey - Construção de Células		
	Survey exterior de edifícios	2,83 €	UAs
	Survey interior de edifícios	3,42 €	UAs
	Projecto FTTH- Modelo de construção de células		
Projecto e Cadastro FTTH	Projecto e cadastro ligação de Sites Vodafone	295,00 €	UAs
	Projecto e cadastro FTTH	6,27 €	UAs
	Projecto e cadastro FTTH (Adaptação de rede existente)	5,00 €	UAs