



**Sara Cristina Nelas
Lopes**

**Fibra Óptica na Rede de Acesso: Cenários de
Evolução**



**Sara Cristina Nelas
Lopes**

Fibra Óptica na Rede de Acesso: Cenários de Evolução

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Dr. A. Manuel Oliveira Duarte, Professor Catedrático do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e co-orientação do Mestre Ricardo Jorge Moreira Ferreira, Gestor de Negócio da PT Inovação.

Dedico esta dissertação à minha mãe e ao meu irmão que sempre acreditaram em mim.

O Júri

Presidente

Professor Doutor Paulo Miguel Nepomuceno Pereira Monteiro
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Vogal – Arguente Principal

Professor Doutor João José de Oliveira Pires
Professor Auxiliar da Universidade Técnica de Lisboa

Vogal – Orientador

Professor Doutor Aníbal Manuel de Oliveira Duarte
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Vogal – Co-Orientador

Mestre Ricardo Jorge Moreira Ferreira
Gestor de Negócio da PT Inovação

Agradecimentos

Venho por este meio prestar o meu agradecimento pessoal ao Professor Doutor A. Manuel de Oliveira Duarte 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 do GSBL, colegas de curso e professores que nestes anos fizeram do meu percurso académico uma aventura.

Ao David e à Sara pelo apoio, colaboração e aconselhamento.

Ao João. Ao Saraiva, Elsa, Daniel, Mariana, Hugo e Luís pela amizade.

À minha família pelo carinho, paciência e amor. Aos meus irmãos Luís, Erik, Carla e Warren. Aos meus avós, ao Harald e à Kim. Ao meu pai. À minha mãe e irmão que significam o mundo para mim.

Palavras-chave

Redes de Acesso, Redes de Acesso de Nova Geração, Fibra Óptica, PON, FTTH, GPON, EPON, NG-PON, XGPON1, XGPON2, 10GEPON, TDM, WDM, WDM-PON, LR-PON, Análise Técnico-económica.

Resumo

Com o aumento da necessidade dos consumidores disporem de uma crescente largura de banda, em virtude dos serviços serem tecnologicamente mais avançados, a procura de novas soluções para redes de acesso de fibra óptica cresce. A nova geração de redes de acesso (NGA: *Next Generation Access Networks*) vai permitir a implementação de aplicações já existentes e fornecer uma maior largura de banda que será capaz de abrir novos horizontes a nível dos serviços, oferecendo uma qualidade de serviço superior e uma redução de degradações como a latência ou a taxa de contenção.

Ao dimensionar redes de acesso de fibra óptica é imperativo ponderar os aspectos práticos das suas implementações: opções arquitecturais, limitações de desempenho de equipamentos nos diferentes segmentos da rede, planos de instalação e até mesmo o comportamento dos mercados. Sendo assim, é preciso continuar o processo de evolução e descobrir novas soluções que permitam superar estas limitações. Para que isso seja possível será aqui apresentado um estudo que pretende indicar possíveis caminhos para a próxima geração de redes combatendo as limitações das arquitecturas actuais tentando obter uma direcção para os próximos anos.

Esta dissertação foi desenvolvida com o objectivo de analisar a organização e a estrutura das actuais redes de telecomunicações, as suas tecnologias, arquitecturas e soluções de rede, adoptando potenciais cenários de evolução que utilizam a fibra óptica como meio físico de transmissão.

Keywords

Access Networks, Next Generation Access Networks, Optic Fiber, PON, FTTH, GPON, EPON, NG-PON, XGPON1, XGPON2, 10GE PON, TDM, WDM, WDM-PON, LR-PON, techno-economic analysis.

Abstract

With the increasing need for consumers to benefit from an increased bandwidth, in virtue of the services being technologically more advanced, the demand of new solutions for access networks grows. The Next Generation Access Networks will allow the implementation of existing applications and provide a higher bandwidth that will be able to open new horizons for services by offering a quality of service and a reduction of degradations such as latency or contention rate.

When dimensioning an access network is imperative to consider the practicalities of their implementation: architectural options, performance limitations of equipment, design plans and even the market's behavior. Therefore, we must continue to progress in finding new solutions to address these issues. To make this possible, a study of next-generation networks will be presented here, presenting the options available to tackle the existing constraints and to try to get a direction for the following years.

This project was developed in order to analyze the organization and structure of the current telecommunications networks, their technologies, architectures and solutions, considering potential growth scenarios that use optical fiber as the physical transmission medium.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS	XXI
ÍNDICE DE TABELAS	XXXI
LISTA DE SÍMBOLOS MATEMÁTICOS	XXXIII
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS	XXXV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJECTIVOS	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
1.4 CONTRIBUTOS DA DISSERTAÇÃO	3
2. ESTRUTURAS DE REDES DE TELECOMUNICAÇÕES	5
2.1 REDE NUCLEAR (OU REDE <i>CORE</i>)	6
2.2 REDE DE ACESSO	9
2.3 REDE DO CLIENTE	10
3. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS NA REDE DE ACESSO	11
3.1 REDE DE ACESSO UTILIZANDO PAR DE COBRE ENTRANÇADO	11
3.1.1 <i>Rede telefónica fixa</i>	12
3.1.2 <i>Rede xDSL</i>	12
3.2 REDE DE ACESSO UTILIZANDO CABO COAXIAL	15
3.2.1 <i>Redes HFC</i>	15
3.3 REDE DE ACESSO UTILIZANDO TECNOLOGIAS <i>WIRELESS</i>	17
3.3.1 <i>Difusão em espaço livre</i>	17
3.3.2 <i>Redes celulares</i>	18
3.3.2.1 GSM	18
3.3.2.2 GPRS	18
3.3.2.3 UMTS	18
3.3.2.4 HSPA	19
3.3.2.5 LTE	19
3.3.2.6 WiMAX	20
3.4 REDE DE ACESSO USANDO FIBRA ÓPTICA	21
3.4.1 <i>Arquitecturas FTTx</i>	21
3.4.2 <i>Redes Ópticas Passivas</i>	23
3.4.3 <i>Redes Ópticas Activas</i>	23

4.	TECNOLOGIAS E SOLUÇÕES NAS REDES DE ACESSO DE FIBRA ÓPTICA	25
4.1	REDES ÓPTICAS PASSIVAS	25
4.1.1	APON	27
4.1.2	BPON	27
4.1.3	GPON.....	27
4.1.3.1	ITU-T G.984.....	28
4.1.3.2	Mecanismos de Transmissão.....	30
4.1.3.2.1	Canal de Comunicação no Sentido Descendente.....	30
4.1.3.2.2	Canal de Comunicação no Sentido Ascendente.....	31
4.1.3.3	Arquitectura de rede da tecnologia GPON	31
4.1.3.3.1	Protocolos implementados na tecnologia GPON.....	32
4.1.3.3.2	Mecanismos implementados na tecnologia GPON.....	32
4.1.3.4	Necessidade de Evolução da Tecnologia GPON.....	34
4.1.3.4.1	Motivações	34
4.1.3.4.2	GPON: Aumento do Alcance	35
4.1.3.4.3	GPON: Aumento da Largura de Banda.....	37
4.1.3.4.4	GPON: Aumento do Número de Utilizadores	38
4.1.3.4.5	GPON: Aproveitamento da Fibra Escura	38
4.1.4	EPON	40
4.1.4.1	Mecanismos de Transmissão.....	41
4.1.4.1.1	Canal de comunicação no sentido Descendente	41
4.1.4.1.2	Canal de comunicação no sentido Ascendente	41
4.1.5	GPON vs EPON.....	42
4.2	REDES ÓPTICAS ACTIVAS	44
4.2.1	Home-Run Fiber.....	44
4.2.1.1	Redes P2P vs PON.....	45
4.2.2	Active Ethernet.....	46
4.3	REDES ÓPTICAS PASSIVAS Vs ACTIVAS.....	47
5.	CENÁRIOS EVOLUTIVOS DAS REDES DE ACESSO DE FIBRA ÓPTICA.....	49
5.1	NG-PON	49
5.1.1	Tecnologias de NG-PON1	50
5.1.2	Tecnologias de NG-PON2	51
5.2	10GPON.....	51
5.2.1	XG-PON Architecture.....	53
5.2.1.1	Cenário de migração PON brown field	54
5.2.1.2	Cenário de migração PON green field.....	54
5.2.2	XG-PON/GPON Co-existence	55

5.2.3	10GPON/GPON Mecanismos de Transmissão	57
5.2.4	10GPON/GPON Wavelength allocation.....	58
5.2.5	10GPON/GPON Dual Mode Operation	58
5.2.6	Split ratio	59
5.2.7	Aumento do Alcance.....	60
5.2.8	Comparação das tecnologias GPON e XGPON.....	61
5.3	10G EPON	63
5.3.1	10G/1G EPON Co-existence	64
5.3.2	10G/1G EPON: Mecanismos de Transmissão	64
5.3.3	10G/1G EPON: Wavelength Allocation.....	65
5.3.4	10G/1G EPON Dual-Mode Operation	65
5.3.5	Comparação das tecnologias 1G EPON e 10G EPON.....	66
5.4	LR-PON.....	68
5.5	WDM-PON	71
5.5.1	CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)	74
5.5.2	DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)	74
5.5.3	CWDM vs DWDM.....	75
5.6	COMPARAÇÃO DAS TECNOLOGIAS PON	76
5.7	PROJECTOS.....	77
5.7.1	SARDANA (Scalable Advanced Ring-based passive Dense Access Network Architecture).....	77
5.7.2	PIEMAN (Photonic Integrated Extended Metro and Access Network)	79
5.7.2.1	Canal de comunicação no sentido Descendente	79
5.7.2.2	Canal de comunicação no sentido Ascendente	80
6.	ANÁLISE TECNO-ECONÓMICA DE SOLUÇÕES DE REDE.....	81
6.1	METODOLOGIA	81
6.2	FERRAMENTA DE CÁLCULO.....	82
6.2.1	Parâmetros de entrada.....	82
6.2.2	Parâmetros de saída.....	82
6.3	COMPORTAMENTO GLOBAL DO MERCADO	83
6.3.1	Modelo Analisado.....	83
6.3.2	Modelo Proposto	83
6.4	DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS ANALISADOS	86
6.5	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS.....	89
6.6	COMPONENTES DE REDE	90
6.6.1	Pressupostos relativamente a custos.....	91
6.6.1.1	Instalação das infraestruturas utilizando fibra	92

6.6.1.2	Equipamentos activos: Central Office e instalações dos assinantes (CPE)	93
6.6.1.3	Equipamentos passivos: splitters ópticos	93
6.7	CASOS DE ESTUDO: DIMENSIONAMENTO DOS DIFERENTES SEGMENTOS DE REDE	94
6.7.1	<i>Dimensionamento do Central Office</i>	94
6.7.1.1	Equipamentos Necessários	97
6.7.2	<i>Dimensionamento da Feeder Network</i>	98
6.7.2.1	Equipamentos Necessários	101
6.7.2.2	Dimensionamento mínimo da Feeder Network	102
6.7.3	<i>Dimensionamento da Access Distribution Network</i>	103
6.7.3.1	Equipamentos Necessários	104
6.7.3.2	Dimensionamento mínimo da Distribution Network	104
6.7.4	<i>Dimensionamento da Drop Network</i>	105
6.7.4.1	Equipamentos Necessários	107
6.7.4.2	Caracterização dos edifícios a ligar	108
6.7.5	<i>Aspectos financeiros</i>	108
6.8	CENÁRIO 1	109
6.8.1	<i>Central Office</i>	111
6.8.1.1	Investimento em Equipamento	112
6.8.1.2	Investimentos totais no Central Office	114
6.8.2	<i>Feeder Network</i>	115
6.8.2.1	Investimento em Equipamento	116
6.8.2.2	Mão-de-obra	118
6.8.2.3	Construção Civil	120
6.8.2.4	Investimentos totais na feeder network	121
6.8.3	<i>Distribution Network</i>	122
6.8.3.1	Investimento em Equipamento	122
6.8.3.2	Mão-de-obra	124
6.8.3.3	Construção Civil	125
6.8.3.4	Investimentos Totais na distribution network	126
6.8.4	<i>Drop Network</i>	128
6.8.4.1.1	<i>Multi Dweling Unit (MDU)</i>	128
6.8.4.1.2	<i>Single Family Unit (SFU)</i>	131
6.8.4.1.3	Multi-Empresa	133
6.8.4.1.4	Mono Empresa	135
6.8.4.1.5	Total Drop Network	137
6.9	CENÁRIO 2	138
6.9.1	<i>Central Office</i>	139
6.9.2	<i>Feeder Network</i>	142
6.9.2.1	Investimento em Equipamento	142

6.9.2.2	Mão-de-obra	142
6.9.2.3	Construção Civil.....	143
6.9.2.4	Investimentos totais na feeder network	144
6.9.3	<i>Distribution Network</i>	145
6.9.3.1	Investimento em Equipamento	145
6.9.3.2	Mão-de-obra	145
6.9.3.3	Construção Civil.....	146
6.9.3.4	Investimentos Totais na distribution network.....	146
6.9.4	<i>Drop Network</i>	147
6.9.4.1	Multi Dweling Unit (MDU).....	147
6.9.4.2	Single Family Unit (SFU)	149
6.9.4.3	Multi-Empresa.....	151
6.9.4.4	Mono Empresa	153
6.9.4.5	Total Drop Network.....	155
6.10	VISÃO GLOBAL DOS INVESTIMENTOS.....	156
6.10.1	<i>Cenário 1 TOTAL</i>	156
6.10.2	<i>Cenário 2 TOTAL</i>	158
6.10.3	<i>CAPEX</i>	160
6.10.4	<i>OPEX</i>	164
6.10.5	<i>Receitas</i>	165
6.10.6	<i>Resultados económicos</i>	166
6.10.7	<i>Análise de Sensibilidade</i>	168
6.10.7.1	Rede.....	168
6.10.7.2	Mercado.....	169
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	173
7.1	CONCLUSÕES	173
7.2	TRABALHO FUTURO	175
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	177
9.	ANEXO I.....	179
9.1	MODELO OSI: CAMADAS DE REDE	179
9.2	ADAPTAÇÃO DO MODELO OSI	180

Índice de Figuras

Figura 1 - Estrutura global das redes de telecomunicações [1].....	5
Figura 2 - Principais segmentos das redes de telecomunicações [1].....	5
Figura 3 – Estrutura da trama PDH [52].....	6
Figura 4 – Estrutura da trama SDH [4].....	7
Figura 5 - Topologia em anel duplo utilizada no SDH [53]	7
Figura 6 – Papel dominante do IP nas redes de telecomunicações [40].....	8
Figura 7 – Diferentes meios de transmissão na Rede de Acesso	9
Figura 8 – Rede doméstica [54]	10
Figura 9 - Cenários tecnológicos para a Rede de Acesso [2].....	11
Figura 10 - Rede telefónica fixa (recorte da Figura 9)	12
Figura 11 – Rede de acesso da rede telefónica (Fonte: [3] com base em materiais da PT).....	12
Figura 12 – Rede telefónica fixa e a sua evolução, a rede xDSL (recorte da Figura 9)	13
Figura 13 – Espectro de frequências ADSL (Adaptado de [1]).....	13
Figura 14 – Rede ADSL (Fonte: [3] com base em materiais da PT)	13
Figura 15 - Variação da taxa de transmissão (Mbps) com a distância (km) ao DSLAM [4]	14
Figura 16 - Rede HFC (recorte da Figura 9)	15
Figura 17 - Estrutura de uma rede HFC [1].....	15
Figura 18 – Ligação DOCSIS [45].....	16
Figura 19 – Rede de difusão tradicional e rede de difusão com recurso a satélite (recorte da Figura 9)	17
Figura 20 – Arquitecturas HSPA e LTE [2]	20
Figura 21 – Redes de acesso usando fibra óptica (recorte da Figura 9).....	21
Figura 22 – Arquitecturas FTTx [4].....	22
Figura 23 – Passive Optical Network [5].....	25
Figura 24 – Topologias das redes PON [38].....	26
Figura 25 – Evolução das tecnologias PON (Adaptado de [8])	26

Figura 26 – Arquitectura GPON [6]	28
Figura 27 - Comprimentos de onda numa rede GPON [39].....	30
Figura 28 – Canal de comunicação <i>downstream</i> baseado em TDM [8].....	30
Figura 29 – Canal de comunicação <i>upstream</i> baseado em TDMA [8]	31
Figura 30 – Exemplo de uma arquitectura de rede GPON e rede de Agregação	31
Figura 31 – GPON CoS/QoS [55]	33
Figura 32 – GTC <i>layer framing</i> [10].....	34
Figura 33 – <i>Remote</i> GPON OLT [6]	36
Figura 34 - <i>Mid-Span Extenders</i> [6]	37
Figura 35 – Largura de Banda dedicada nas tecnologias PON [11].....	38
Figura 36 - <i>Long reach access network architecture</i> [12]	39
Figura 37 - Arquitectura EPON [48]	40
Figura 38 - EPON: Canal de comunicação <i>Downstream</i> [13].....	41
Figura 39 - EPON: Canal de comunicação <i>Upstream</i> [13]	41
Figura 40 – Camadas: EPON vs GPON [37]	42
Figura 41 – Active Optical Network [5].....	44
Figura 42 - AON: Home-Run Fiber [14].....	44
Figura 43 - AON: Active Ethernet [14].....	46
Figura 44 - APON vs PON [16]	47
Figura 45 - Cenário de Evolução PON [17].....	49
Figura 46 - Representação de uma estimativa da Evolução para NG-PON1 e NG-PON2 [18]....	50
Figura 47 - Arquitectura 10G GPON [19]	51
Figura 48 - – Evolução da GPON [18].....	52
Figura 49 – Cenários de aplicação da XG-PON1 [42]	53
Figura 50 - – GPON and XG-PON Co-existence [43]	55
Figura 51 – Configuração óptica de referência para a coexistência da XGPON com a GPON através do WDM1r [10].....	56
Figura 52 – Configuração óptica de referência para a coexistência da XGPON com a GPON através de <i>splitters</i> [10]	56

Figura 53 – Canais de Comunicação GPON/10GPON [47]	57
Figura 54 - 10G-PON/G-PON Wavelength Allocation G-PON and 10G-PON [17].....	58
Figura 55 – Arquitectura genérica [10].....	59
Figura 56 – Suporta <i>split ratio</i> extra para redes de acesso de nível elevado [10].....	59
Figura 57 - Suporta <i>split ratio</i> extra para redes de acesso de nível baixo [10].....	60
Figura 58 – Aumento do alcance com recurso a XGPON <i>Mid-Span Extender</i> [42]	60
Figura 59 – Aumento do alcance com recurso a GPON e XGPON <i>Mid-Span Extender</i> [42].....	61
Figura 60 - 10G EPON Network Topology [21].....	63
Figura 61 - 10G/1G EPON co-existence Network Topology [21].....	64
Figura 62 – Mecanismo de transmissão EPON e 10GEPON [49].....	64
Figura 63 - 10G/1G EPON: Wavelength allocation [17].....	65
Figura 64 - 10G EPON and 1G EPON co-existence [17]	66
Figura 65 – Long-Reach PON architecture [22].....	68
Figura 66 - - Vision of network architectures [23].....	69
Figura 67 - Research roadmap to Long-Reach PON [24].....	70
Figura 68 - WDM-PON [26]	71
Figura 69 - Wavelength Division Multiplexing (WDM) Transmission [27]	72
Figura 70 – Topologias da WDM-PON [29]	73
Figura 71 - CWDM: Espaçamento entre canais de 20nm [31]	74
Figura 72 – DWDM: Espaçamento entre canais de 0,8nm [31].....	74
Figura 73 - Arquitectura SARDANA [32].....	77
Figura 74 – Multi-Operadores [34]	78
Figura 75 – Vista de alto nível da arquitectura do PIEMAN [24].....	79
Figura 76 – Local para a colocação do nó de troca de amplificador no PIEMAN para a direcção de <i>downstream</i> . [36].....	80
Figura 77 - Local para a colocação do nó de troca de amplificador no PIEMAN para a direcção de <i>upstream</i> . [36].....	80
Figura 78 - Estrutura da Ferramenta de Cálculo [4].....	81
Figura 79 - Comportamento das 3 ondas tecnológicas de acordo com o Modelo Proposto	84

Figura 80 - Comportamento Global do Mercado de acordo com o Modelo Proposto	85
Figura 81 – Esquema de Evolução da GPON.....	86
Figura 82 – Solução tecnológica [4]	87
Figura 83 – Diferentes segmentos e pontos de flexibilidade da rede de acesso [39]	88
Figura 84 – <i>Learning Curves</i> [46].....	91
Figura 85 – <i>Central Office</i> [4]	94
Figura 86 – Arquitectura da <i>Feeder Network</i> (adaptado de [4]).....	98
Figura 87 – Arquitectura da <i>drop network</i> : Solução <i>floor box drop</i> [39].....	106
Figura 88 – Arquitectura da <i>drop network</i> : Solução Moradias Familiares (SFU) [39].....	106
Figura 89 – Cenário 1 a) Tecnologia GPON	109
Figura 90 – Cenário 1 b) Tecnologia XGPON1	110
Figura 91 - Cenário 1 c) Tecnologia XGPON2.....	110
Figura 92 - Posição de diversos pontos de flexibilidade numa rede de acesso [39]	111
Figura 93 - Investimento em equipamento no <i>Central Office</i> ao longo dos anos com a tecnologia GPON	112
Figura 94 - Investimento em equipamento no <i>Central Office</i> com a tecnologia GPON.....	112
Figura 95 - Investimento em equipamento no <i>Central Office</i> ao longo dos anos com a tecnologia XGPON1.....	112
Figura 96 - Investimento em equipamento no <i>Central Office</i> com a tecnologia XGPON1	113
Figura 97 - Investimento em equipamento no <i>Central Office</i> ao longo dos anos com a tecnologia XGPON2.....	113
Figura 98 - Investimento em equipamento no <i>Central Office</i> com a tecnologia XGPON2	113
Figura 99 – Investimentos totais no <i>Central Office</i> ao longo dos anos com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	114
Figura 100 – Investimentos totais no <i>Central Office</i> com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	114
Figura 101 - Investimento em equipamento na <i>feeder network</i> com a tecnologia GPON.....	116
Figura 102 - Investimento em equipamento na <i>feeder network</i> com a tecnologia XGPON1	116
Figura 103 - Investimento em equipamento na <i>feeder network</i> com a tecnologia XGPON2	116

Figura 104 - Investimento total em equipamento na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPO1 e XGPON2	117
Figura 105 - Investimento total em equipamento na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPO1 e XGPON2	117
Figura 106 - Mão-de-obra na <i>feeder network</i> com a tecnologia GPON	118
Figura 107 - Mão-de-obra na <i>feeder network</i> com a tecnologia XGPON1	118
Figura 108 - Mão-de-obra na <i>feeder network</i> com a tecnologia XGPON2	118
Figura 109 - Mão-de-obra total na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	119
Figura 110 - Mão-de-obra total na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	119
Figura 111 - Construção civil na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2	120
Figura 112 – Construção civil na <i>feeder network</i> ao longo dos anos com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2	120
Figura 113 - Construção civil total na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	120
Figura 114 - Investimentos totais na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	121
Figura 115 - Investimentos totais na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	121
Figura 116 - Investimento em equipamento na <i>distribution network</i> com a tecnologia GPON ...	122
Figura 117 - Investimento em equipamento na <i>distribution network</i> com a tecnologia XGPON1	122
Figura 118 - Investimento em equipamento na <i>distribution network</i> com a tecnologia XGPON2	122
Figura 119 - Investimento total em equipamento na <i>distribution network</i> com as tecnologias: GPON, XGPO1 e XGPON2	123
Figura 120 - Investimento total em equipamento na <i>distribution network</i> com as tecnologias: GPON, XGPO1 e XGPON2	123
Figura 121 – Mão-de-obra na <i>distribution network</i> com a tecnologia GPON	124
Figura 122 - Mão-de-obra na <i>distribution network</i> com a tecnologia XGPON1	124
Figura 123 - Mão-de-obra na <i>distribution network</i> com a tecnologia XGPON2.....	124

Figura 124 - Mão-de-obra total na <i>distribution network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	125
Figura 125 - Construção Civil na <i>distribution network</i> com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	125
Figura 126 - Construção Civil Total na <i>distribution network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	126
Figura 127 - Investimentos totais na <i>distribution network</i> por ano com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	126
Figura 128 – Investimentos totais na <i>distribution network</i>	127
Figura 129 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia GPON ..	128
Figura 130 – Mão-de-obra na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia GPON	128
Figura 131 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia XGPON1	129
Figura 132 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia XGPON1	129
Figura 133 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia XGPON2	129
Figura 134 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia XGPON2	129
Figura 135 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia GPON ...	131
Figura 136 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia GPON	131
Figura 137 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia XGPON1	131
Figura 138 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia XGPON1	132
Figura 139 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia XGPON2	132
Figura 140 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia XGPON2	132
Figura 141 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia GPON	133
Figura 142 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia GPON	133
Figura 143 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1	133
Figura 144 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1	134
Figura 145 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON2.....	134
Figura 146 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1	134

Figura 147 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia GPON	135
Figura 148 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia GPON.....	135
Figura 149 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON1.....	135
Figura 150 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON1	136
Figura 151 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON2.....	136
Figura 152 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON2	136
Figura 153 - Investimentos totais na <i>drop network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	137
Figura 154 - Cenário 2 a) Aumento do <i>split ratio</i>	138
Figura 155 - Cenário 2 b) <i>Reach Extension</i>	138
Figura 156 – Investimentos totais no <i>Central Office</i> ao longo dos anos com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2	140
Figura 157 – Investimentos totais no <i>Central Office</i> com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	140
Figura 158 - Investimento total em equipamento na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPO1 e XGPON2	142
Figura 159 - Mão-de-obra total na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	143
Figura 160 – Construção civil total na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	143
Figura 161 - Investimentos totais na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	144
Figura 162 - Investimento total em equipamento na <i>distribution network</i> com as tecnologias: GPON, XGPO1 e XGPON2	145
Figura 163 - Mão-de-obra total na <i>distribution network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	145
Figura 164 - Construção Civil Total na <i>distribution network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	146
Figura 165 - Investimentos totais na <i>distribution network</i> por ano com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2	146

Figura 166 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia GPON ..	147
Figura 167 – Mão-de-obra na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia GPON	148
Figura 168 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia XGPON1	148
Figura 169 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia XGPON1	148
Figura 170 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia XGPON2	148
Figura 171 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (MDU) com a tecnologia XGPON2	149
Figura 172 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia GPON ...	149
Figura 173 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia GPON	150
Figura 174 - - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia XGPON1	150
Figura 175 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia XGPON1	150
Figura 176 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia XGPON2	150
Figura 177 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (SFU) com a tecnologia XGPON2	151
Figura 178 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia GPON	151
Figura 179 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia GPON	152
Figura 180 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1	152
Figura 181 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1	152
Figura 182 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON2.....	152
Figura 183 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1	153
Figura 184 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia GPON	153
Figura 185 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia GPON	153
Figura 186 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON1	154
Figura 187 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON1	154
Figura 188 - Investimento em equipamento na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON2.....	154
Figura 189 - Mão-de-obra na <i>drop network</i> (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON2	154

Figura 190 - Investimentos totais na <i>drop network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	155
Figura 191 – Cenário 1: Investimentos totais ao longo da duração do projecto.....	156
Figura 192 – Cenário 1: Investimento total com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2 ..	157
Figura 193 - Cenário 2: Investimentos totais por ano ao longo do projecto	158
Figura 194 – Cenário 2: Investimento total com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2 ..	159
Figura 195 – CAPEX Cenário 1	160
Figura 196 – CAPEX Cenário 2	160
Figura 197 – CAPEX: Sobreposição dos cenários	161
Figura 198 – Segmentação dos Investimentos do Cenário 1 ao longo da duração do projecto .	162
Figura 199 - Segmentação dos Investimentos do Cenário 2 ao longo da duração do projecto ..	162
Figura 200 - Segmentação dos Investimentos do Cenário 1 ao longo da duração do projecto ..	163
Figura 201 - Segmentação dos Investimentos do Cenário 2 ao longo da duração do projecto ..	163
Figura 202 – OPEX: Sobreposição de cenários	164
Figura 203 – Receitas: Cenário 1.....	165
Figura 204 – Receitas: Cenário 2.....	165
Figura 205 – Cenário 1: Resultados económicos	166
Figura 206 - Cenário 2: Resultados económicos.....	167
Figura 207 – Análise de Sensibilidade: Rede – VAL	168
Figura 208 – Análise de Sensibilidade: Rede - TIR	169
Figura 209 - Análise de Sensibilidade: Mercado - VAL	170
Figura 210 – Análise de Sensibilidade: Mercado - TIR.....	170
Figura 211 – Modelo OSI	179
Figura 212 – IP sobre ATM sobre SDH (adaptado de [7])	180

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Comparação das diferentes tecnologias xDSL[4]	14
Tabela 2 – EPON vs GPON	43
Tabela 3 - Comparação das redes ponto-a-ponto e redes ponto-a-multiponto PON [15]	45
Tabela 4 – Comparação de <i>bit rates</i> para os canais de comunicação das NG PON.	50
Tabela 5 – GPON vs XGPON	62
Tabela 6 – EPON vs 10G EPON.....	67
Tabela 7 – CDWM vs DWDM [37].....	75
Tabela 8 – Comparação das diferentes tecnologias PON	76
Tabela 9 - Caracterização da Unidade Territorial	86
Tabela 10 – Tipo de Serviços.....	89
Tabela 11 – Parâmetros para curvas de equipamentos de rede [46].....	90
Tabela 12 – Equipamento instalado no <i>Central Office</i> para as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	97
Tabela 13 - Equipamentos unitários das tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2	101
Tabela 14 – Dimensionamento mínimo da <i>Feeder Network</i>	102
Tabela 15 - Equipamentos das tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2	104
Tabela 16 – Dimensionamento mínimo da <i>Distribution Network</i>	104
Tabela 17 – Características dos Edifícios	105
Tabela 18 – Equipamento Drop Edifício e Drop Cliente para os MDU, SFU, Multi e Mono Empresas	107
Tabela 19 – Mão-de-Obra (MDU, SFU, Multi e Mono Empresas)	107
Tabela 20 – Características dos edifícios	108
Tabela 21 – Aspectos financeiros	108
Tabela 22 - Investimento no <i>central office</i> ao longo dos anos com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	115
Tabela 23 - Investimentos totais na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	121

Tabela 24 - Investimentos totais na <i>distribution network</i> com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	127
Tabela 25 - Investimentos totais na <i>drop network</i> - tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2 ..	137
Tabela 26 - Investimento no <i>central office</i> ao longo dos anos com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	141
Tabela 27 - Investimentos totais na <i>feeder network</i> com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2.....	144
Tabela 28 - Investimentos totais na <i>distribution network</i> com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2.....	146
Tabela 29 - Investimentos totais na <i>drop network</i> - tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2 ..	155
Tabela 30 – Cenário 1: Investimentos totais com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2	156
Tabela 31 – Cenário 2: Investimentos totais com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2	158
Tabela 32 – Resultados económicos	166

Lista de Símbolos Matemáticos

α	Parâmetro de Controlo do Momento de Arranque do Mercado
β	Parâmetro de Controlo da Velocidade de Arranque do Mercado
K	Parâmetro de Aprendizagem da Curva Tecnológica
$L1$	Sub-Segmento que liga o CO ao JFO (<i>feeder network</i>)
$L2$	Sub-Segmento que liga o JFO ao SRO (<i>feeder network</i>)
$L3$	Sub-Segmento que liga o SRO ao JFO (<i>distribution network</i>)
$L4$	Sub-Segmento que liga o JFO ao PDO (<i>distribution network</i>)
m	Potencial de Mercado
$N_{ass\ UA}$	Número de Assinantes Residenciais
$N_{ass\ multi}$	Número de Assinantes Empresariais (multi-empresa)
$N_{ass\ mono}$	Número de Assinantes Empresariais (mono-empresa)
N_{fo}	Número de Fibras Ópticas por Cabo
N_{JFO}	Número de Juntas de Fibra Óptica
N_{OLT}	Número de OLT
$N_{OLT\ Ports}$	Número de Portos OLT
$N_{Splitters}$	Número de Splitters
N_{SRO}	Número de Armários de Rua
N_{WDM}	Número de WDM Combiner
$N_{WDM\ Ports}$	Número de Portos WDM Combiner
P_f	Taxa de Penetração Final
P_i	Taxa de Penetração Inicial

Lista de Siglas e Acrónimos

10G-EPON	- 10Gigabit Ethernet Passive Optical Network
10GPON	- 10Gigabit Passive Optical Network
3DTV	- 3D Television
ADSL	- Assymmetric Digital Subscriber Line
ATM	- Asynchronous Transfer Mode
ATM-PON	- ATM Passive Optical Network
AON	- Active Optical Network
AWG	- Array Waveguide
BPON	- Broadband Passive Optical Network
CAPEX	- Capital Expenditure
CATV	- Cable Television
CDMA	- Code Division Multiple Access
CL	- Central Local
CMTS	- Cable Modem Termination System
CO	- Central Office
COAX	- Coaxial Cable
CPE	- Customer Premise Equipment
CS	- Circuit Switching
CU	- Central Unit
CWDM	- Coarse Wavelength Division Multiplexing
DNS	- Domain Name Server
DOCSIS	- Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	- Digital Subscriber Line
DSLAM	- Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DWDM	- Dense Wavelength Division Multiplexing
EPON	- Ethernet Passive Optical Network

FE	- Fast Ethernet
FR	- Frame Relay
FTP	- File Transfer Protocol
FTTB	- Fiber to the Building
FTTC	- Fiber to the Curb
FTTCab	- Fiber to the Cabinet
FTTH	- Fiber to the Home
FTTN	- Fiber to the Node
FTTP	- Fiber to the Premises
FTTx	- Fiber to the x
GE	- Gigabit Ethernet
GEM	- GPON Encapsulation Method
GPON	- Gigabit Passive Optical Network
GPRS	- General Packet Radio Service
GSM	- Global System for Mobile communication
GTC	- GPON Transmission Convergence
HDSL	- High bit rate Digital Subscriber Line
HDTV	- High-Definition Television
HFC	- Hybrid Fiber-Coaxial
HSPA	- High Speed Packet Access
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	- Internet Protocol
IPTV	- Internet Protocol Television
ITU	- International Telecommunication Union
JFO	- Junta de Fibra Óptica
LAN	- Local Area Network
LB	- Largura de Banda
LR-PON	- Long-Reach Passive Optical Network
LTE	- Long Term Evolution

MAC	- Media Access Control
MDU	- Multi-Dwelling Unit
MMF	- Multimode Fiber
MPLS	- Multi-Protocol Label Switching
MPLS	- Multi-Protocol Label Switching – Transport Profile
NGA	- Next Generation Access Network
ODN	- Optical Distribution Network
OLT	- Optical Line Termination
ONT	- Optical Network Terminal
ONU	- Optical Network Unit
OPEX	- Operational Expenditure
P-2-MP	- Point-to-Multipoint
P-2-P	- Point-to-Point
PC	- Personal Computer
PD	- Ponto de Distribuição
PDH	- Plesiochronous Digital Hierarchy
PDO	- Ponto de distribuição Óptica
PHY	- Physical Layer
PIEMAN	- Photonic Integrated Extended Metro And Access Network
PON	- Passive Optical Network
POTS	- Plain Old Telephone Service
PSTN	- Public Switched Telephone Network
QoS	- Quality of Service
RoF	- Radio over Fiber
SARDANA	- Scalable Advanced Ring-based passive Dense Access Network Architecture
SDH	- Synchronous Digital Hierarchy
SDSL	- Single Digital Subscriber Line
SFU	- Single Family Unit
SMF	- Single-mode Optical Fiber

SRO	-Sub-Repartidor Óptico
STM	- Synchronous Transport Module
T-CONT	- Transmission Container
TDD	- Time-Division Duplexing
TDM	- Time-Division Multiplexing
TDMA	- Time Division Multiple Access
TIR	- Taxa Interna de Rentabilidade
UA	- Unidade de Assinante
UL	- Uplink
UMTS	- Universal Mobile Telecommunication System
VAL	- Valor Actual Líquido
VDSL	- Very-high bit rate Digital Subscriber Line
VoIP	- Voice over IP
WBF	- Wavelength blocking filters
W-CDMA	- Wideband Code Division Multiple Access
WDM	- Wavelength Division Multiplexing
WDM-PON	- Wavelength Division Multiplexing - Passive Optical Network
Wi-Fi	- Wireless Fidelity
WiMAX	- World Wide Interoperability for Microwave Access
WMAN	- Wireless Metropolitan Area Network

1. Introdução

1.1 Motivação

O papel desempenhado pelas tecnologias de informação tem-se mostrado cada vez mais importante, tornando-se um factor essencial para o desenvolvimento económico e social. Este desenvolvimento implica um aumento na procura de novos serviços e aplicações de forma a dar respostas à necessidade de comunicar em tempo real.

Com o aumento da necessidade dos consumidores disporem de uma crescente largura de banda, em virtude dos serviços serem tecnologicamente mais avançados, tanto os operadores de telecomunicações como os governos estão a investir em grande escala na implementação de redes de acesso de fibra óptica. O crescimento na percentagem de adesão aos serviços de banda larga e as tendências de evolução que daí resultam suportam o desenvolvimento e implementação de uma nova geração de redes de acesso (NGA - *Next Generation Access Networks*). As NGA vão permitir a implementação de aplicações já existentes e fornecer uma maior largura de banda que será capaz de abrir novos horizontes a nível dos serviços, oferecendo uma qualidade de serviço superior e uma redução de degradações como a latência ou a taxa de contenção.

Hoje em dia, ao dimensionar redes de acesso de fibra óptica baseadas nas premissas FTTx, com tecnologias como a GPON ou a EPON, é imperativo ponderar os aspectos práticos das suas implementações: opções arquitecturais, limitações de desempenho de equipamentos (passivos ou activos) nos diferentes segmentos da rede, planos de instalação e até mesmo o comportamento dos mercados podem levar a uma capacidade limitada da rede. Sendo assim é preciso continuar o processo de evolução nas infraestruturas e tecnologias que levem a superar estas limitações. Para que isso seja possível será aqui apresentado um estudo que pretende indicar possíveis caminhos para a próxima geração de redes combatendo as limitações das arquitecturas actuais.

Cada tecnologia FTTx tem vantagens e desvantagens associadas. A decisão de escolher uma determinada tecnologia depende da rede de infraestrutura existente, do alcance, do tipo de serviço a ser prestado (simétrico ou assimétrico) e do potencial de evolução capaz de satisfazer as necessidades dos seus utilizadores.

As redes de acesso, nos últimos anos, têm sofrido um crescimento na oferta de serviços, tanto para comunicações no sentido *downstream* (IPTV) como para *upstream* (redes sociais e websites de conteúdos *user-generated*). O IPTV exige grande largura de banda devido aos diversos formatos cada vez com mais qualidade, como por exemplo a televisão em alta definição (HDTV). Com o decorrer dos anos a evolução do IPTV será afectada pelos *codecs* de vídeo para suportar HDTV, HDTV ultra e 3DTV, que exigem largura de banda que não pode ser fornecida pelas tradicionais redes de acesso.

Os conteúdos das redes sociais (*Facebook, Twitter, Google+, LinkedIn*) e *websites* como o *Youtube* incentivaram a partilha de dados pelos utilizadores, tais como fotografias e vídeos. Estes e outros serviços como: *web browsing, email, jogos online* e as chamadas VoIP também requerem largura de banda, no sentido de comunicação *upstream*.

Para lidar com a incerteza associada a todos estes factores, é imperativa uma análise técnico-económica e avaliação das soluções de engenharia que preencham os requisitos necessários à implementação de redes de nova geração.

Esta dissertação foi desenvolvida com o objectivo de analisar a organização e a estrutura das actuais redes de telecomunicações, as suas tecnologias, arquitecturas e soluções de rede, adoptando potenciais cenários de evolução que utilizam a fibra óptica como meio físico de transmissão.

1.2 Objectivos

O estudo a realizar nesta dissertação pretende informar sobre as tecnologias actuais e emergentes nas redes de acesso de fibra óptica, com especial atenção a evolução a médio e longo prazo da tecnologia GPON. Com este propósito pretende-se:

- Adquirir familiarização com o estado da arte das actuais redes de acesso;
- Compreender as limitações das actuais redes de acesso em fibra óptica e as necessidades de evolução das mesmas;
- Identificar possíveis soluções a adoptar na implementação das novas gerações de redes de acesso (NGA);
- Estudar e construir cenários de migração que possibilitem a coexistência das tecnologias actuais com as tecnologias futuras da rede de acesso;
- Estudo de curvas logísticas de adesão e abandono, associadas ao comportamento global do mercado face às tecnologias actuais e futuras;
- Com base numa ferramenta de análise tecno-económica de rede de acesso já existente, fazer a sua adaptação ao estudo das soluções de redes de nova geração aqui identificadas e processos de migração associados;
- Analisar um conjunto de casos de estudo ilustrativos de possíveis cenários de evolução das redes de acesso baseadas em fibra óptica tendo em conta as tecnologias que actualmente se prefiguram como mais promissoras (WDMPON, LRPON, 10GPON, etc) e respectiva análise tecno-económica.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é composta por 7 capítulos, estruturados da seguinte forma:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Neste capítulo é apresentado o enquadramento do projecto e os objectivos a serem cumpridos.
- **Capítulo 2 – Estruturas de Redes de Telecomunicações:** Neste capítulo são apresentados os principais segmentos que constituem as redes de telecomunicações, assim como a sua organização.
- **Capítulo 3 – Soluções Tecnológicas na Rede de Acesso:** Nesta secção pretende-se relatar o actual estado de arte das diferentes tecnologias que podem ser adoptadas aquando da implementação do segmento de acesso.
- **Capítulo 4 – Tecnologias e Soluções nas Redes de Acesso de Fibra Óptica:** Este capítulo apresenta as soluções de rede que utilizam fibra óptica como meio de transmissão.
- **Capítulo 5 – Cenários Evolutivos das Redes de Acesso de Fibra Óptica:** Nesta secção é feito um estudo sobre as soluções de rede a adoptar na implementação da nova geração de redes de acesso baseadas em fibra óptica;
- **Capítulo 6 – Análise Tecno-Económica de Soluções de Rede:** Neste capítulo é avaliada a viabilidade económica da implementação de redes de acesso de nova geração baseadas em fibra óptica, num conjunto de casos de estudo.
- **Capítulo 7 – Considerações Finais.** Neste capítulo são apresentadas as conclusões de todo o trabalho efectuado e algumas sugestões de trabalho a realizar no futuro.

1.4 Contributos da Dissertação

Os contributos desta dissertação centram-se nos quatro últimos objectivos descritos na **Secção 1.2**. Com base numa ferramenta ExcelTM existente em [4], foi adaptada, optimizada e desenvolvida uma outra ferramenta ExcelTM que implementa a tecnologia GPON numa primeira fase, a tecnologia XGPON1 numa segunda fase e numa terceira fase implementa a tecnologia XGPON2. Esta transição, para uma nova tecnologia ocorre faseadamente ao longo da duração do projecto. A escolha da tecnologia GPON deve-se à sua implementação pelo operador histórico em Portugal. Com intuito de proteger os investimentos feitos pelos operadores nesta tecnologia, é importante estudar possíveis cenários de evolução da mesma. Esta ferramenta tecnológica retorna indicadores económicos, os quais classificam o projecto, onde estão incluídos todos os investimentos necessários à implementação das tecnologias. Em cada sub-segmento de rede estão detalhados os investimentos feitos em equipamentos, mão-de-obra e construção civil. Foi

então necessário estudar toda a granularidade da rede de acesso desde o dimensionamento dos segmentos, ao custo dos equipamentos, à evolução do custo destes equipamentos, à previsão do custo de novos equipamentos, ao comportamento do mercado face às tecnologias actuais e futuras, à solução adoptada caso se trate de um cliente residencial ou empresarial até aos serviços oferecidos pelas diferentes tecnologias.

A ferramenta desenvolvida implementa um conjunto de casos de estudo de possíveis cenários de evolução da actual GPON, considerando mecanismos que permitam a coexistência desta tecnologia com as suas evoluções.

Este trabalho de investigação apresenta-se como forma de material didáctico, desde o estudo de toda a panóplia de tecnologias descritas, a tutoriais que ensinam à construção de imagens e a elaboração de imagens com detalhe granulado das tecnologias.

2. Estruturas de Redes de Telecomunicações

A infra-estrutura básica das redes de telecomunicações está representada nas figuras seguintes, onde se podem identificar os diferentes segmentos de rede, que utilizam diferentes tecnologias de transmissão, comutação e encaminhamento.

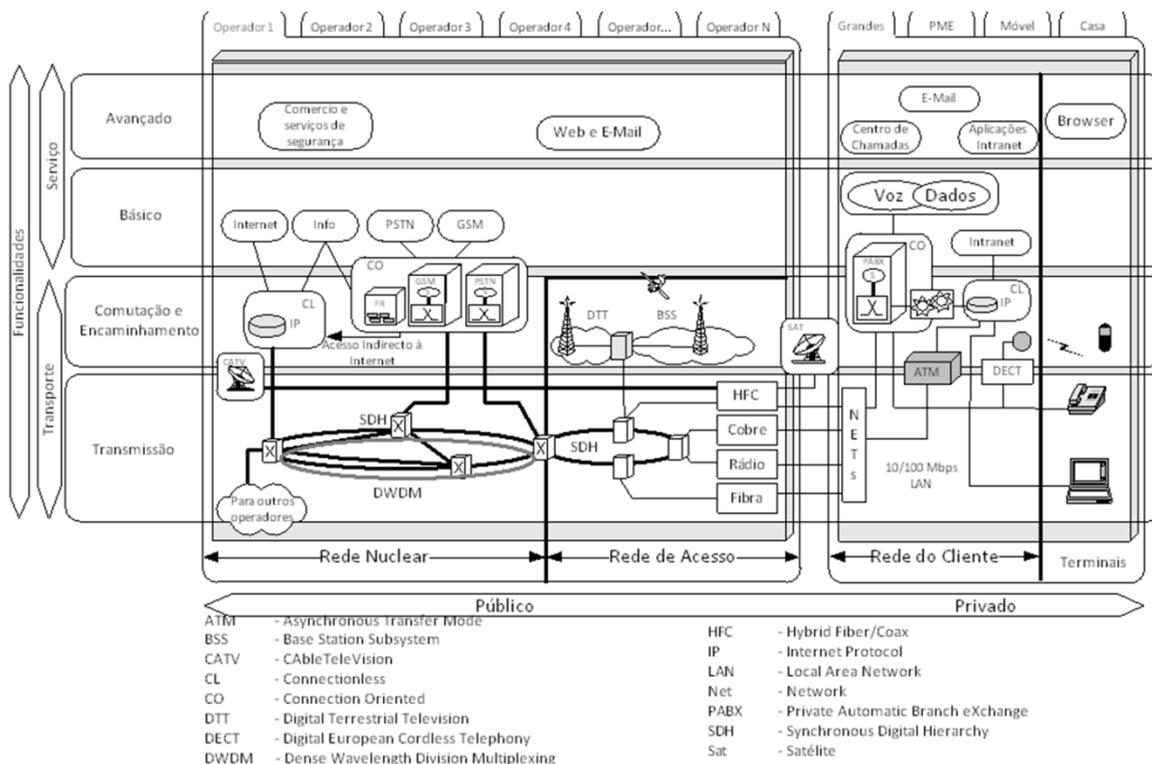


Figura 1 - Estrutura global das redes de telecomunicações [1]

As actuais redes de telecomunicações são organizadas segundo o esquema apresentado na figura seguinte, onde se evidenciam os distintos segmentos de rede: **Rede Nuclear** (ou Rede Core); **Rede de Acesso** e **Rede do Cliente**.

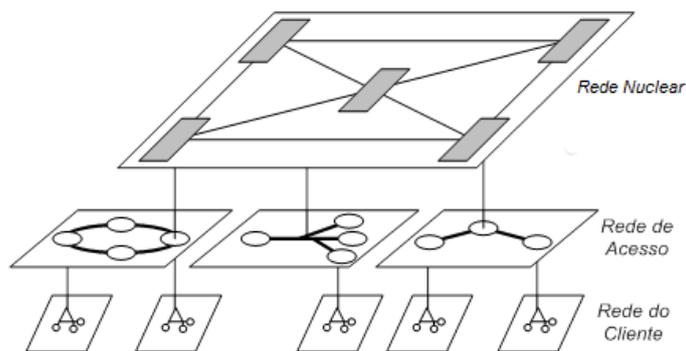


Figura 2 - Principais segmentos das redes de telecomunicações [1]

2.1 Rede Nuclear (ou Rede Core)

A rede de nuclear (ou rede *core*) é responsável pelo transporte de elevadas quantidades de tráfego agregado, a grandes distâncias.

A primeira tecnologia a surgir na rede *core* foi a PDH. A tecnologia PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) que, como o próprio nome indica, originário da língua grega, significa “quase síncrono”. Durante a década de 80, era a tecnologia prevalecente na rede *core*, utilizada para transportar grandes quantidades de dados agregados em sistemas de cabo coaxial, em sistemas de fibra óptica ou sistemas de rádio.

Considera-se, actualmente, a PDH uma tecnologia em fase de descontinuação com a evolução dos sistemas de telecomunicações e está a ser (ou já foi) substituída por sistemas síncronos SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*).

Os canais da hierarquia PDH são agrupados, formando níveis hierárquicos. Assim, 32 canais de 64 kbit/s formam um canal com 2,048 Mbit/s, compondo assim um canal de hierarquia de primeira ordem, denominado de E1. Combinações de canais de hierarquia de primeira ordem compõem canais de hierarquia de segunda ordem e assim sucessivamente (ver Figura 3). Esta tecnologia surge a par com a ISDN/RDIS implementada na rede de acesso, onde o acesso básico corresponde a 64kbit/s.

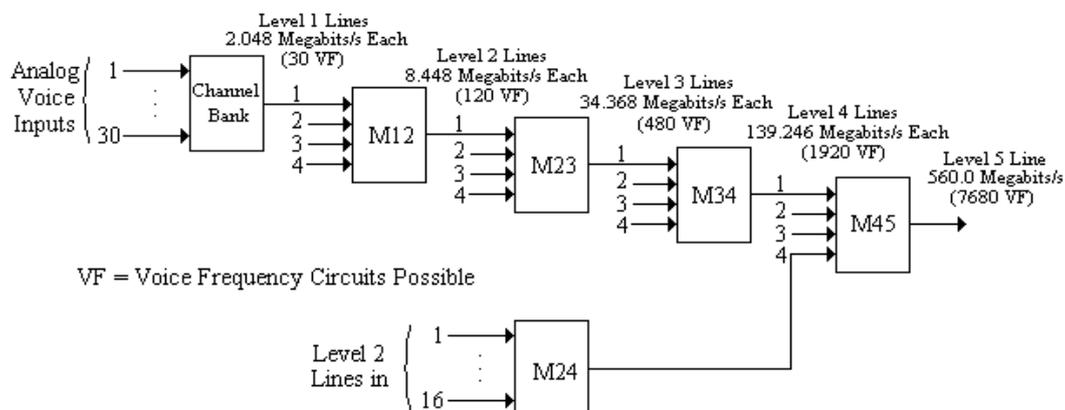


Figura 3 – Estrutura da trama PDH [52]

O SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) é a tecnologia de transporte que sucedeu ao PDH.[45]

As tramas de SDH têm dimensões variadas que permitem uma estrutura multi-granular que pode transportar também os diferentes tipos de sinais PDH. O padrão SDH utiliza tramas STM-N (*Synchronous Transport Module*) com as seguintes taxas de bits: 155.520 Mbit/s (STM-1 eléctrico ou óptico), 622.080 Mbit/s (STM-4 óptico), 2488.320 Mbit/s ou 2,5 Gbit/s (STM-16 óptico) e 9953.280 Mbit/s ou 10 Gbit/s (STM-64 óptico) (ver figura seguinte). O SDH pode também multiplexar *frames* baseadas em transmissão de pacotes, como Ethernet e PPP.

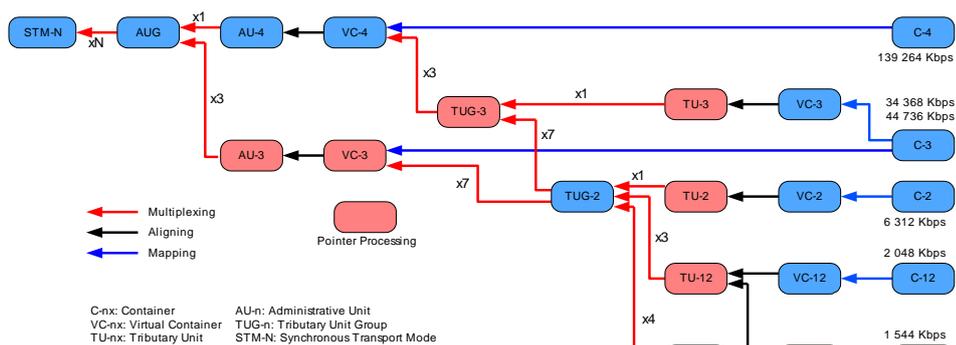


Figura 4 – Estrutura da trama SDH [4]

A tecnologia SDH está normalizada para comunicação de alto débito em meio eléctrico, óptico ou rádio. Estão também incluídos mecanismos de gestão e manutenção ao nível físico, possibilitando gestão da qualidade de transmissão e transporte com elevada fiabilidade. As redes SDH têm uma topologia em anel duplo, um anel para efectuar a transmissão num sentido e outro que é utilizado em sentido inverso. A possibilidade de redundância que daqui resulta confere a esta tecnologia características de robustez e de auto-recuperação de falhas.

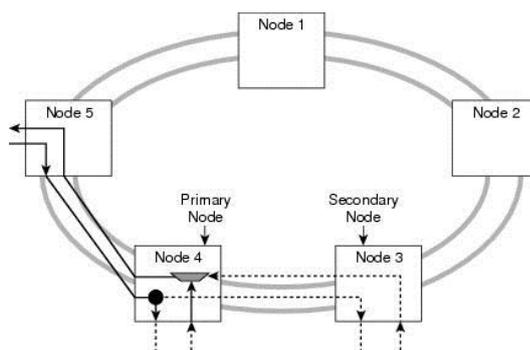


Figura 5 - Topologia em anel duplo utilizada no SDH [52]

O tráfego que se gera em muitos equipamentos terminais de um cliente usa como mecanismo de transporte a *Ethernet*. Por esta razão, nestes últimos anos começou a aparecer na rede *core* a tecnologia *Carrier Grade Gigabit Ethernet* que mantém a informação nesse mesmo formato. É um mecanismo flexível que permite ligações ponto-a-ponto dedicadas para transportar a longas distâncias essa informação sem alterar a sua estrutura básica de empacotamento, o que irá implicar um mecanismo de gestão de rede.

Nem a *Ethernet*, nem o *Carrier Grade Gigabit Ethernet*, nem o SDH implementam mecanismos de gestão de qualidade de serviço, precisando de outro mecanismo que o implemente. Entre os protocolos que implementam estes mecanismos de priorização de tráfego da rede *core* estão o MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) e o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).

O ATM funciona com comutação de pacotes e ligações conectadas (circuitos virtuais – *connection oriented*) e por isso incorpora mecanismos de gestão de qualidade de serviço. O MPLS

permite comutação de pacotes e de circuitos virtuais, possibilitando o transporte de todo o tipo de tráfego, sem se sujeitar às limitações provocadas por diferentes protocolos de encaminhamento e de comutação. O termo *multiprotocol* resulta do facto do MPLS ter sido concebido para suportar qualquer protocolo da camada 3 do Modelo OSI. Este protocolo vai carimbar com diferentes prioridades diferentes fluxos de informação que pretendem ser enviados pela rede. Vai resolver ainda problemas de Jitter.

O resultado será a relação das duas combinações possíveis:

- ATM (gestão de tráfego) sobre SDH (transporte);
- MPLS (gestão de tráfego) sobre *Gbit Ethernet* (transporte).

Os protocolos implementados em camadas diferentes vão estar directamente relacionados e vão ser dependentes uns dos outros, as denominadas pilhas protocolares (ver Anexo I). Na figura seguinte está evidenciado o papel dominante do IP nas redes de telecomunicações, relacionando este protocolo de Camada 3 do Modelo OSI com outros protocolos presentes em camadas inferiores.

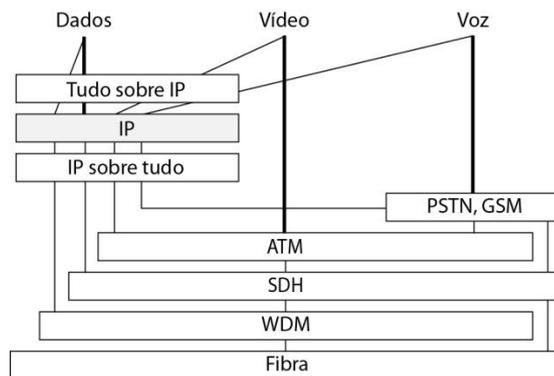


Figura 6 – Papel dominante do IP nas redes de telecomunicações [40]

Enquanto que as tecnologias de transporte mencionadas anteriormente foram desenvolvidas para canais de comunicação onde ocorre multiplexação sucessiva por divisão no tempo (TDM), existem outras tecnologias de transporte desenvolvidas para canais de comunicação onde ocorre multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM), caso da DWDM (*Dense WDM*). A DWDM é uma tecnologia de alta capacidade de transmissão por canal, com aplicações preferenciais em redes de longa distância como a rede *core*. A implementação desta tecnologia de transporte implica custos actualmente ainda muito elevados devido à complexidade dos seus equipamentos.

2.2 Rede de acesso

A Rede de Acesso é o segmento de rede que faz a interligação entre as centrais locais (CO: *Central Office*) e os equipamentos do cliente (CPE: *Customer Premises Equipment*).

Estas redes, inicialmente desenvolvidas para tráfego de voz, foram evoluindo para tráfego de dados. A rede de acesso, que era completamente analógica, sofre um processo de digitalização.

As primeiras tecnologias de transmissão de dados na rede de acesso eram tecnologias que não permitiam ao utilizador usufruir de serviços de voz e de dados em simultâneo: soluções *Dial-Up*. Surge então a xDSL (*Digital Subscriber Line*) que permite a existência simultânea de vários tipos de tráfego.

Uma tecnologia de rede de acesso muito popular é a HFC (*Hybrid Fiber-Coaxial*). Surgiu com o objectivo de difusão televisiva por cabo, mas rapidamente se tornou uma alternativa às redes xDSL focadas na rentabilização do cobre “herdado” da rede POTS (*Plain Old Telephone Network*). Actualmente a tecnologia HFC permite, para além da difusão de canais televisivos, tráfego de voz e de dados.

Recentemente, com o objectivo de aumentar a largura de banda disponível a cada cliente, é implementada a fibra óptica neste segmento. Surgem então as tecnologias FTTx (*Fiber To The x*) que, podendo ser activas ou passivas, permitem uma grande variedade de serviços com uma qualidade inatingível pelo cobre.

Este segmento pode ser composto por diferentes tipos de tecnologias que, por sua vez, possuem diferentes meios de transmissão.

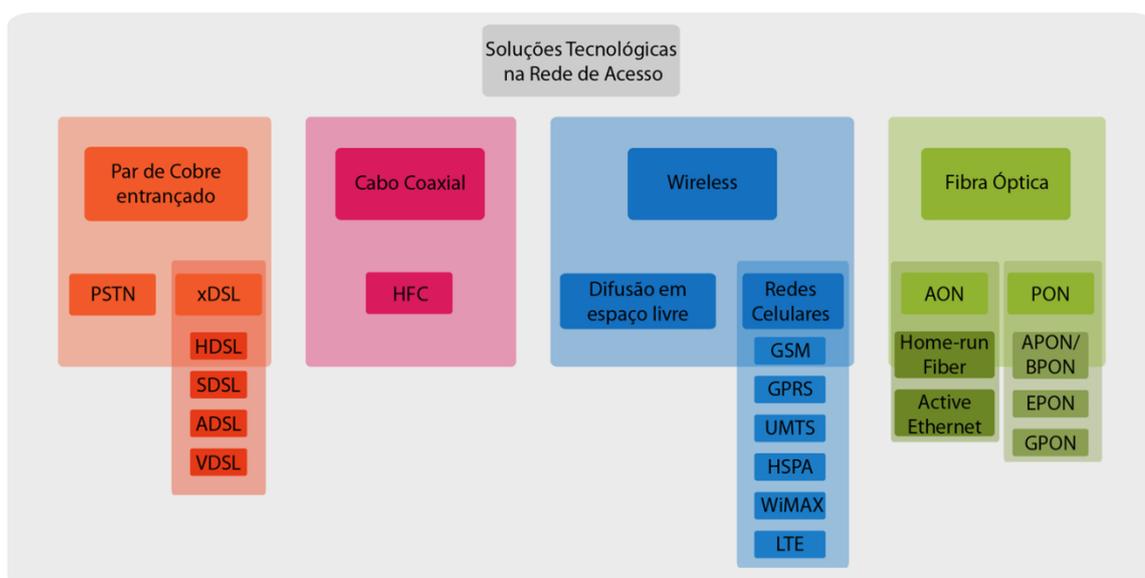


Figura 7 – Diferentes meios de transmissão na Rede de Acesso

Existem fundamentalmente quatro tipos principais de meios físicos de transmissão nas redes de acesso:

- **Par entrançado de cobre:** redes de pares de cobre entrançados, usadas como redes telefónicas (POTS *Plain Old Telephony Service*) e redes xDSL (*Digital Subscriber Line*);
- **Cabo coaxial:** inicialmente planeado para a transmissão de televisão, rapidamente evoluiu para a transmissão de dados e voz;
- **Wireless:** utiliza tecnologias rádio e é encontrada em redes telefónicas móveis;
 - **Difusão em espaço livre:** transmissões em *broadcast* de rádio ou TV;
- **Fibra óptica:** inicialmente era utilizada na rede *core*, para transmissões de alto débito. Actualmente é uma das opções escolhidas para as redes de acesso de nova geração (NGA).

2.3 Rede do cliente

As redes do cliente são, normalmente, redes de pequena dimensão, instaladas no interior de edifícios, de residências ou de urbanizações, que ligam o utilizador final à rede de acesso. Estas redes encontram-se nas instalações das empresas ou clientes residenciais e são da responsabilidade dos mesmos. Nesta rede os diversos serviços (tv, voz e dados) são separados nos CPE (*Costumer Premisses Equipments*) e encaminhados para as respectivas redes de transporte no interior das instalações do cliente.

O protocolo dominante é o IP que vai ser encapsulado em *frames Ethernet*, que comunica com a restante rede local (LAN: *Local Area Network*). Esta comunicação pode ser por cabo (LAN) ou utilizar tecnologias *wireless* (WLAN: *Wireless Local Area Network*), segundo a norma IEEE 802.11.

A dimensão destas redes é variável e depende da dimensão e tipo de cliente. Se o cliente for residencial não necessita do mesmo tipo de rede e serviços que um cliente empresarial.



Figura 8 – Rede doméstica [54]

3. Soluções Tecnológicas na Rede de Acesso

Diferentes tecnologias e meios de transmissão podem ser utilizados nos vários subsegmentos em que se pode dividir a rede de acesso, tal como se pode observar na figura seguinte:

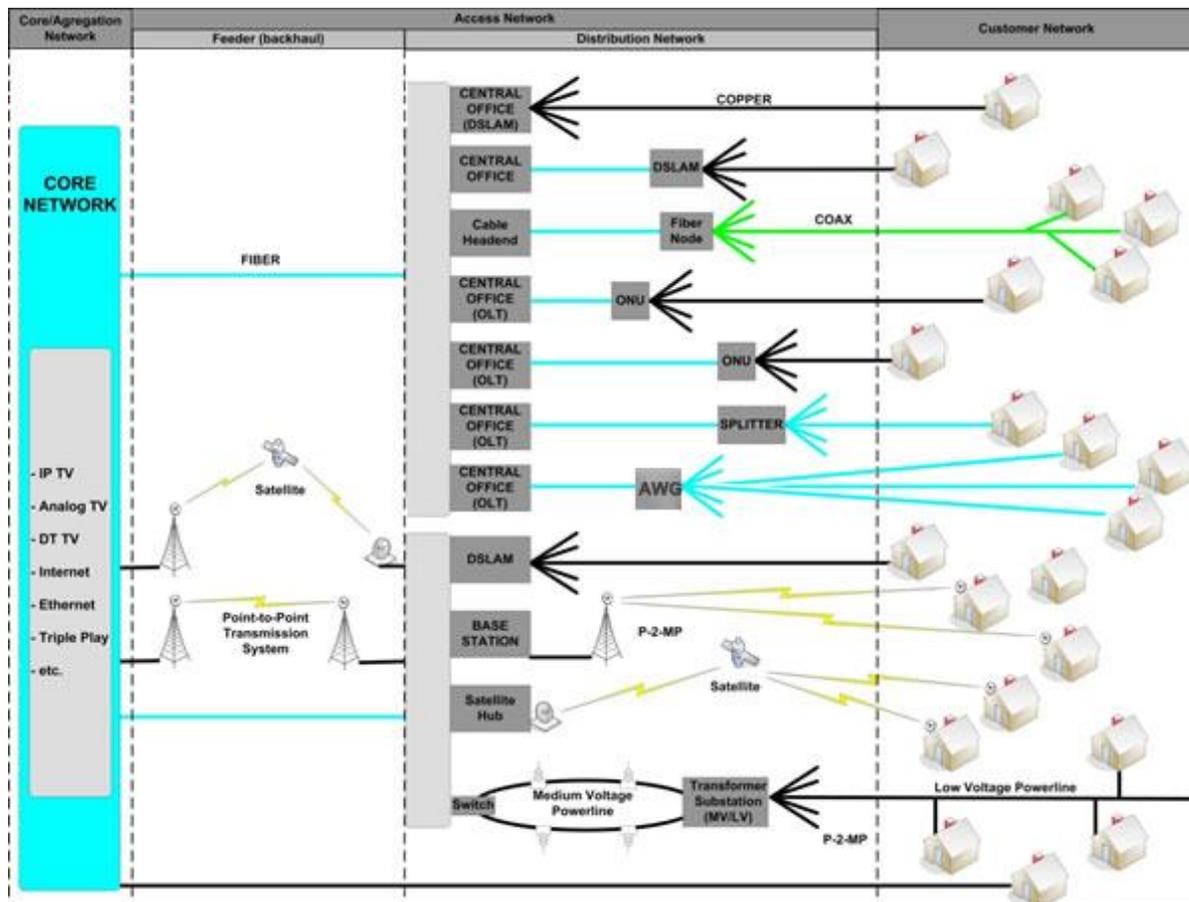


Figura 9 - Cenários tecnológicos para a Rede de Acesso [2]

Apresenta-se de seguida uma descrição das diferentes tecnologias de transmissão representadas na figura anterior.

3.1 Rede de acesso utilizando par de cobre entrançado

O par entrançado é constituído por dois fios de cobre isolados entrançados entre si, que resultam numa linha de transmissão com uma determinada impedância característica e uma função de transferência do tipo filtro passa-baixo. Normalmente será o meio de transmissão mais barato e mais comum nas redes de telecomunicações apesar das suas limitações de largura de banda.

3.1.1 Rede telefónica fixa

A rede telefónica fixa foi inicialmente criada para permitir comunicação por voz (POTS: *Plain Old Telephone Service*) e funciona sobre estrutura de pares entrançados de cobre [1], a rede pública de comutação de voz (PSTN: *Public Switched Telephone Network*).

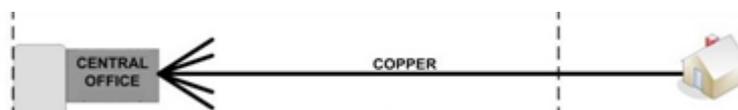


Figura 10 - Rede telefónica fixa (recorte da Figura 9)

No entanto, com a evolução das tecnologias e a crescente procura deste serviço, foi necessário introduzir elementos que permitissem estabelecer ligações de uma forma mais prática, do que a comutação manual até então utilizada. Foram assim introduzidos os comutadores automáticos, que permitem a selecção automática do destino da chamada telefónica.

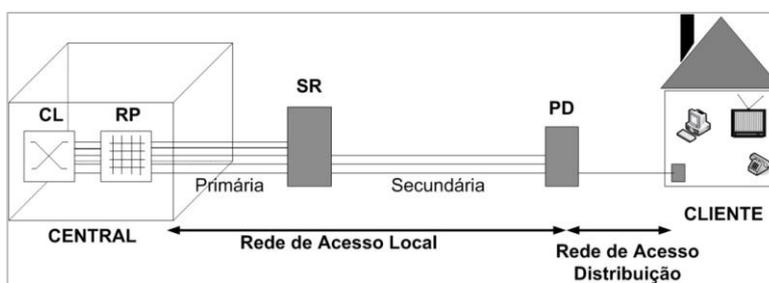


Figura 11 – Rede de acesso da rede telefónica (Fonte: [3] com base em materiais da PT)

Ao longo da rede existem pontos de flexibilidade, como é o caso do repartidor principal, onde se faz a ligação entre a rede de cabos e o equipamento de comutação. O repartidor principal (RP) também é conhecido pela sigla MDF (*Main Distribution Frame*). Partindo de um repartidor principal, os cabos do segmento primário desta rede estendem-se até um armário de um sub-repartidor (SR), de onde partem os cabos secundários até aos pontos de distribuição. O último troço é assegurado por um cabo de assinante (baixada), que sai do ponto de distribuição (PD) e estabelece ligação com as residências dos utilizadores.

Desde a década de 80 do século XX começou a ser introduzida a tecnologia digital na rede de acesso. Essa tecnologia digital é designada por rede de acesso RDIS (Rede Digital com Integração de Serviços ou ISDN (*Integrated Service Digital Network*)). A RDIS criou condições para uma maior integração da rede, passando a ser possível transmitir tráfego de voz e dados na mesma rede.

3.1.2 Rede xDSL

As redes xDSL surgiram na tentativa de tirar o máximo proveito da infra-estrutura de cobre da rede telefónica existente (rede PSTN), através do desenvolvimento de técnicas de modulação e compressão espectral, capazes de transmitir débitos superiores até aos então existentes.

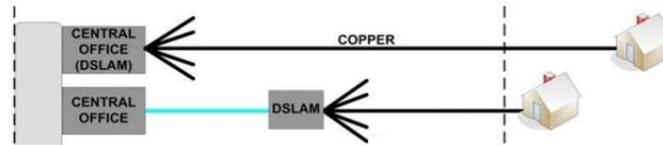


Figura 12 – Rede telefónica fixa e a sua evolução, a rede xDSL (recorte da Figura 9)

Esta tecnologia estabelece um circuito permanente entre o utilizador e o fornecedor de serviços, disponibilizando uma maior velocidade de transmissão.

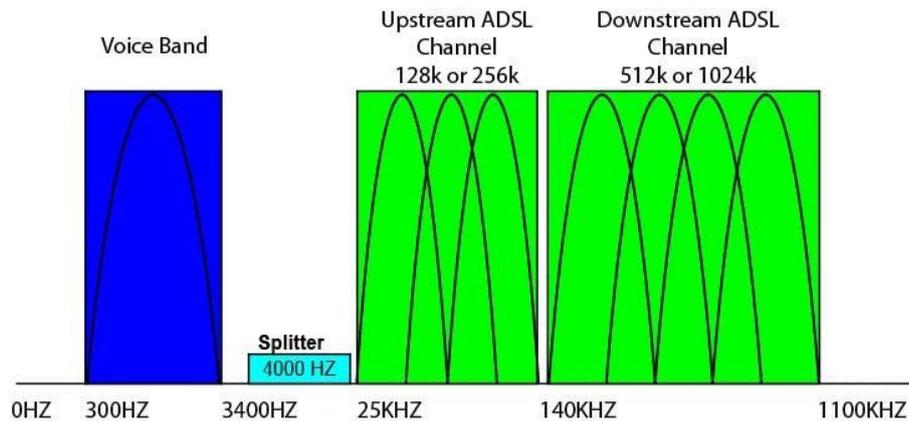


Figura 13 – Espectro de frequências ADSL (Adaptado de [1])

A rede PSTN foi otimizada para transmitir sinais na gama entre 300 Hz e os 3400 Hz (sinais de voz). Para se conseguir transmitir mais informação, removeram-se os filtros, que limitavam a largura de banda, para que se possa transmitir a frequências mais elevadas (as comunicações de dados necessitam de largura de banda superior às comunicações de voz), passando a ser possível transmitir dados, juntamente com os sinais de voz (ver **Figura 13**). Os dois sinais são separados nas residências dos utilizadores e nas centrais de comutação, e enviados para os equipamentos DSL e para os equipamentos PSTN.

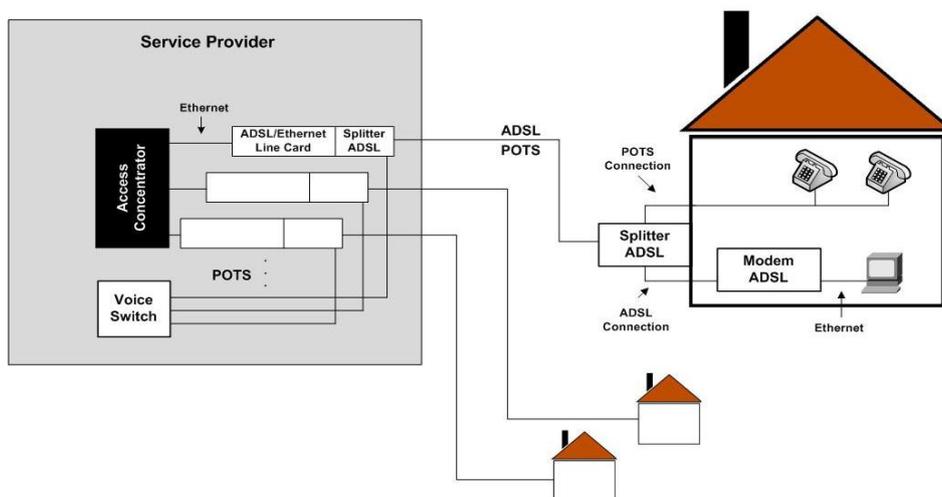


Figura 14 – Rede ADSL (Fonte: [3] com base em materiais da PT)

Existem diferentes tecnologias DSL que fornecem velocidades simétricas ou assimétricas, como por exemplo o ADSL, ADSL 2+, o SDSL, o VDSL, o HDSL, o RADSL e o IDSL.

Tabela 1 – Comparação das diferentes tecnologias xDSL[4]

	Taxa de transmissão	Tipo de conexão	Alcance	Aplicações
HDSL (High bit rate Digital Subscriber Line)	1.5 Mbit/s a 2 Mbit/s	Simétrica	4-5km	T1/E1 LAN/WAN
SDSL (Single Digital Subscriber Line)	2 Mbit/s	Simétrica	3-4km	POTS, T1/E1 LAN/WAN
ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)	down: 1.5 Mbit/s a 9 Mbit/s up: 16 Kbit/s a 640 Kbit/s	Assimétrica	3km	VoD, vídeo, LAN, multimédia interactiva.
ADSL 2+ (variante da ADSL)	down: até 24 Mbit/s up: até 3.5 Mbit/s	Assimétrica	1.5km	VoD, vídeo, LAN, multimédia interactiva.
VDSL (Very High bit rate Digital Subscriber Line)	down: 13Mbit/s a 52 Mbit/s up: 1.6Mbit/s a 2.3 Mbit/s	Assimétrica	0.3-1.5km	VoD, vídeo, LAN, multimédia interactiva, HDTV.
VDSL 2 (variante do VDSL)	até 100 Mbit/s	Assimétrica	0.3-1.5km	VoD, vídeo, LAN, multimédia interactiva, HDTV.

As velocidades neste tipo de ligações dependem da distância entre o utilizador final e o DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*), pelo que o compromisso alcance/taxa de transmissão é um dos factores mais importantes a ter em conta (ver **Figura 15**).

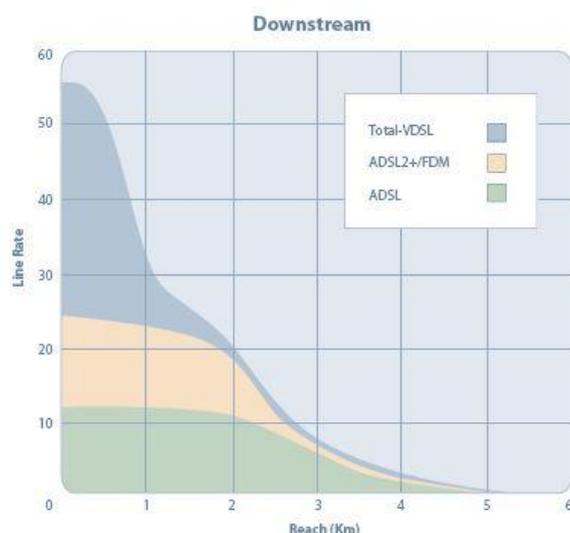


Figura 15 - Variação da taxa de transmissão (Mbps) com a distância (km) ao DSLAM [4]

A rede PSTN é uma rede ponto-a-ponto e como tal a velocidade é dedicada ao utilizador, não é partilhada por múltiplos utilizadores. As redes xDSL são vantajosas pois, como utilizam parte da infraestrutura de cobre já existente, permitem uma redução nos custos de implementação, conseguindo fornecer largura de banda que já permite utilizar serviços e aplicações tais como o VoIP e IPTV.

3.2 Rede de acesso utilizando cabo coaxial

3.2.1 Redes HFC

As Redes HFC (*Hybrid Fiber-Coax*) surgiram como evolução das redes CATV. As redes CATV (*Community Antenna Television*) inicialmente planeadas para a transmissão de sinais de vídeo, mas têm evoluído para fornecer uma grande variedade de serviços de telecomunicações, como a programação de rádio FM, Internet de alta velocidade, serviço de telefone, etc. Actualmente, são serviços que, apesar de não estarem relacionados com televisão, podem também ser fornecidos por cabo coaxial.

A arquitectura destas redes consiste na utilização mista de cabos de fibra óptica na rede principal e de cabos coaxiais na rede secundária (ou rede de distribuição) e na rede de acesso.

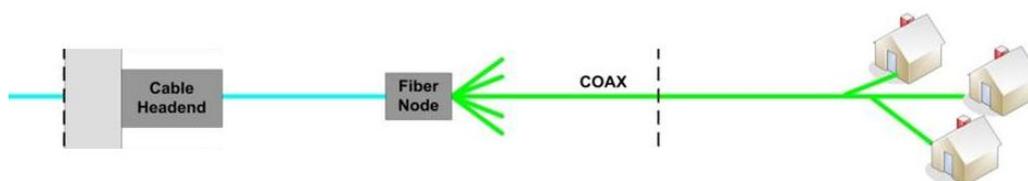


Figura 16 - Rede HFC (recorte da Figura 9)

A rede tradicional de cabo HFC usa uma topologia em árvore com transmissão analógica numa largura de banda RF (Rádio Frequência) entre 50 e 1000 MHz, servindo os clientes através de um meio físico partilhado.

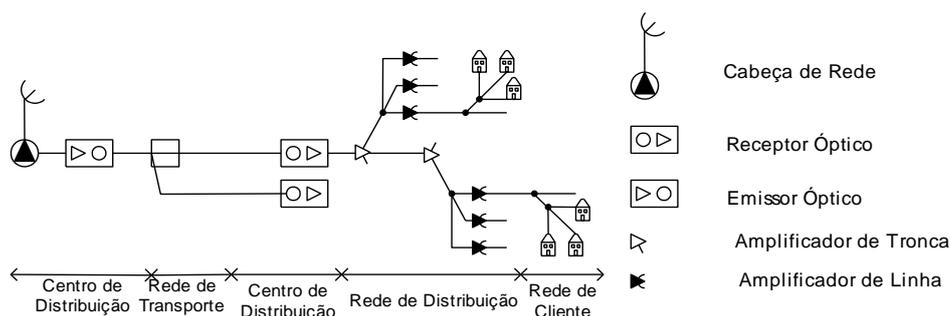


Figura 17 - Estrutura de uma rede HFC [1]

O sinal é formado na cabeça de rede, onde são recebidos e processados os diversos canais a difundir na rede. Estes canais podem ser recebidos também via satélite. O sinal composto na cabeça de rede é injectado em cabos de fibra óptica (rede de transporte) até aos centros de distribuição, onde o sinal eléctrico passa para o cabo coaxial.

A rede de distribuição é uma rede em cabo coaxial, que interliga os diversos receptores ópticos, situados nos centros de distribuição, com as saídas dos amplificadores de tronca/linha. Estes amplificadores são dispostos de forma a compensar as atenuações sofridas pelo sinal ao longo do trajecto percorrido. Como são utilizadas frequências elevadas, a atenuação também irá ser elevada, obrigando à instalação de amplificadores num intervalo na ordem das centenas de metros.

De acordo com a recomendação ITU-T J.222.1, que a define, assume as seguintes características:

- Transmissão simétrica (no sentido ascendente e descendente);
- A distância máxima óptica/eléctrica entre o sistema de terminação de *cable modem* (CMTS) e o modem de cabo mais distante (CM) é de 160km em cada sentido, embora a máxima separação típica seja de 15-24km.

A fim de adaptar as redes HFC à procura de serviços interactivos e normalizar a oferta, o ITU-T adoptou em 1998 o *Data Over Cable Service Interface Specification* (DOCSIS) como *standard* ITU-T J.112 que permite interoperabilidade e o acesso a serviços de dados. [37]

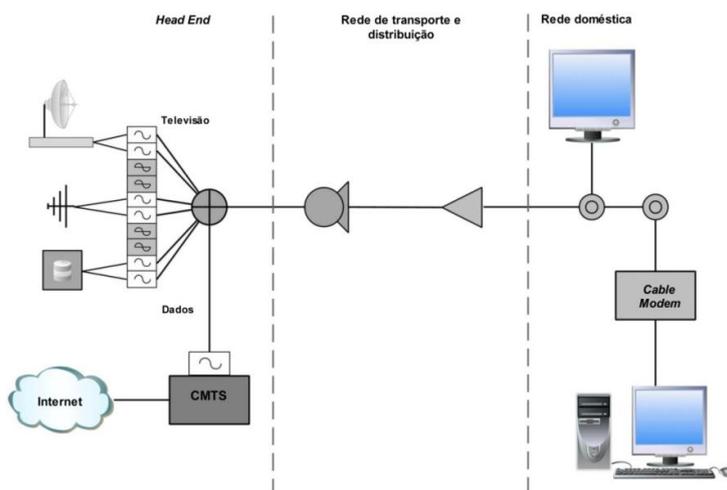


Figura 18 – Ligação DOCSIS [45]

O DOCSIS é um sistema de comunicação ponto-a-multiponto, entre o CMTS (*Cable Modem Termination System*), e os CM (*Cable Modem*) nas instalações do cliente. O sinal do cabo coaxial é injectado na fibra, de forma a conseguir atingir as distâncias necessárias desde o centro de distribuição primário ou *head-end*, onde se encontra o CMTS, até ao centro de distribuição, onde o sinal óptico é convertido em sinal eléctrico. O CM faz a interligação entre os equipamentos de cliente e a rede, realizando as operações de modulação e desmodulação, e mecanismos de autenticação e segurança. O CMTS é o equipamento que multiplexa a informação em diferentes canais e acrescenta a encriptação. A rede óptica pode atingir até algumas centenas de quilómetros com a utilização de amplificadores ópticos. Geralmente, o ponto de distribuição local fica a 10-20 km do ponto de distribuição central, sendo a distância máxima entre eles 160 km. O número de utilizadores que uma

célula pode servir é imposto pelo ruído, atenuação e distorções introduzidos nos cabos e amplificadores.[2]

3.3 Rede de acesso utilizando tecnologias *wireless*

As redes de acesso sem fio vão utilizar o espectro electromagnético como meio de transmissão, pelo que é imperativa a implementação de tecnologias de transmissão robustas e com mecanismos de detecção de erros eficazes.

A utilização de comunicações sem fios não é utilizada em todos os troços da rede de telecomunicações. As antenas utilizadas nas comunicações móveis estão, em muitos casos, interligadas por meios físicos como a fibra óptica ou pares de cobre.

3.3.1 Difusão em espaço livre

As redes de difusão em espaço livre são caracterizadas por dois tipos de difusão:

- **Difusão não endereçada:** dirigida a todos os utilizadores finais sem distinção, caso dos serviços de rádio e televisão.
- **Difusão endereçada:** dirigida a um grupo restrito de utilizadores.

Estas redes, nos serviços de rádio, vão usar como meio de transmissão o espaço livre, onde são utilizadas portadoras moduladas em frequência FM (*Frequency Modulated*) sendo transmitido um sinal rádio em cada uma destas portadoras. Estes sistemas têm evoluído de forma a apresentarem uma melhor qualidade, o que deu origem ao aparecimento da difusão digital de áudio (DAB: *Digital Audio Broadcasting*). A difusão digital suporta entre 6 a 17 estações de rádio, permitindo velocidades de transmissão na ordem dos 1,5Mbps. [4]

O sistema de difusão de televisão em espaço livre, utiliza sinais de rádio frequência nas bandas VHF (Very High Frequency) e UHF (Ultra High Frequency). Os sinais provenientes do emissor são enviados até ao utilizador através de transmissores locais que recebem o sinal, amplificam-no, retiram-lhe o ruído proveniente da amplificação e reenviam para outros transmissores. A difusão de televisão tinha inicialmente um problema quanto à sua cobertura, tendo sido resolvido através da utilização de um sistema complementar de transmissão de sinais de televisão via satélite.

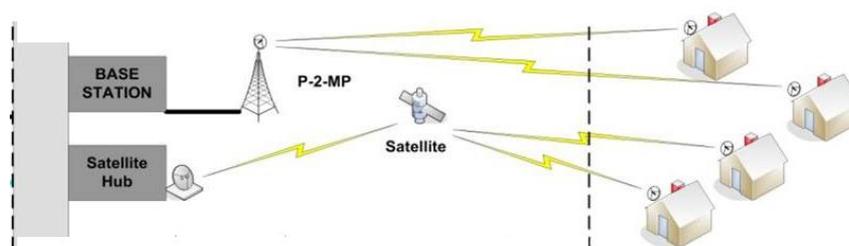


Figura 19 – Rede de difusão tradicional e rede de difusão com recurso a satélite (recorte da Figura 9)

A última evolução consistiu a digitalização da transmissão (TDT: Televisão Digital Terrestre). A passagem da radiodifusão televisiva analógica para a digital tem uma conclusão prevista para final de 2012, para Estados-Membros da União Europeia. [37] A televisão digital é transmitida recorrendo a sinais de rádio frequência, da mesma forma que a televisão tradicional, permitindo no entanto recepção de múltiplos canais numa única gama de frequências.

3.3.2 Redes celulares

Cada vez mais existe a necessidade de proporcionar serviços em qualquer lado e a qualquer hora ou circunstância. As redes móveis permitem que um utilizador possa efectuar uma operação em movimento. A importância da mobilidade levou ao grande desenvolvimento das redes telefónicas móveis e posteriormente às redes de dados móveis

3.3.2.1 GSM

A rede telefónica móvel mais usada na Europa é a rede GSM (*Global Systems for Mobile communications*). É um sistema de telecomunicações que possui capacidade para transmissão de voz, serviços de dados, serviços de mensagens e serviços suplementares como reencaminhamento de chamadas, barramento, aviso e suspensão de chamadas e serviço de mensagens curtas: SMS (*Small Messages Service*), permitindo taxas de transmissão de 14.4 kbps. O sistema GSM fez a passagem da tecnologia analógica para a tecnologia digital, trazendo melhorias na segurança, robustez e fiabilidade.

3.3.2.2 GPRS

O GPRS (*General Packet Radio Service*) é uma evolução do sistema GSM, que introduziu a transmissão de dados com comutação de pacotes. A rede GPRS, que se implementou sobre a infraestrutura do GSM, mantém a maioria dos equipamentos de rede e funciona como um complemento a esta rede proporcionando-lhe um serviços de dados melhorado. Passam a existir duas redes em paralelo: rede de GSM responsável pelo tráfego de voz (comutação de circuitos) e a rede GPRS responsável pelo tráfego de dados (comutação de pacotes). Este sistema permite obter taxas de transmissão até 171 Kbps.

3.3.2.3 UMTS

O UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) é uma das tecnologias de terceira geração (3G) das comunicações móveis que foi projectado com o intuito de continuar o sucesso global do sistema de comunicação móvel GSM (segunda geração), sendo uma continuação do GPRS, permitindo fornecer serviços multimédia de alta velocidade. O UMTS suporta serviços de dados desde 144 kbit/s (para acesso móvel) até 2 Mbps (para um acesso *wireless* fixo).[4] O UMTS utiliza modulações: W-CDMA (*Wide-Band Code-Division Multiple Access*) ou CDMA2000 (*Code Division Multiple Access*).[2] Esta tecnologia permite uma fácil interligação com outros sistemas de

telecomunicações, tais como a PSTN ou uma rede de dados, possibilitando ao utilizador deslocar-se para ambientes diferentes.

Um sistema UMTS pode ter por base um sistema de comunicações móveis já existente e, como tal, ter-se-á equipamento de rádio capaz de acomodar sistemas como GSM, GPRS, EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) e UMTS ao mesmo tempo, de modo a facilitar a transição da tecnologia GSM para UMTS.[2]

3.3.2.4 **HSPA**

O HSPA (*High Speed Packet Access*) é um sistema de transmissão de pacotes, que permite que redes baseadas no sistema UMTS obtenham taxas de transmissão mais elevadas. Esta tecnologia foi desenvolvida para cobrir uma falha existente nas redes UMTS, ou seja para fazer a ligação entre a rede móvel 3G e os serviços de Internet, permitindo sobrepor os vários protocolos que possibilitam uma comunicação por dados a alta velocidade, para vários utilizadores servidos pela mesma célula.

Estas redes permitem velocidades no sentido descendente (*downlink*) na ordem do mega bit por segundo, sendo o limite máximo 14 Mbit/s (43 Mbit/s para o mais recente standard, HSPA+ ou *Evolved HSPA – release 8*) e velocidades no sentido ascendente de 5,76 Mbit/s (11,5 Mbit/s para o HSPA+).[37] No entanto, os utilizadores raramente obtêm as larguras de banda esperadas. No HSDPA, a antena precisa de estar a uma distância de 250 metros do utilizador para que a velocidade média disponível para 20 utilizadores seja 1 Mbit/s.

3.3.2.5 **LTE**

Com a concepção de cada vez mais aplicações móveis, tais como jogos *Online*, *Mobile Tv* e *Web 2.0* surge a necessidade da tecnologia *Long-Term Evolution (LTE)*, também conhecida como *Evolved UMTS Terrestrial Radio Network (E-UTRAN)*. A taxa de débito de cada utilizador final, a capacidade de cada sector, a mobilidade de cada utilizador aumenta substancialmente e a latência fica reduzida. Com a emergência do protocolo IP como protocolo de eleição para transportar todos os tipos de tráfego, está previsto que o LTE suporte tráfego IP com QoS de ponto-a-ponto, sendo que também o tráfego de voz será suportado maioritariamente com voz sobre IP (*VoIP: Voice Over IP*) permitindo assim uma melhor integração com outros serviços multimédia. Espera-se que esta tecnologia atinja os débitos partilhados na ordem dos 100 Mbit/s no sentido ascendente e 50Mbit/s no sentido descendente, valores máximos para condições óptimas que dificilmente conseguem ser atingidas nas redes comerciais actuais. [37]

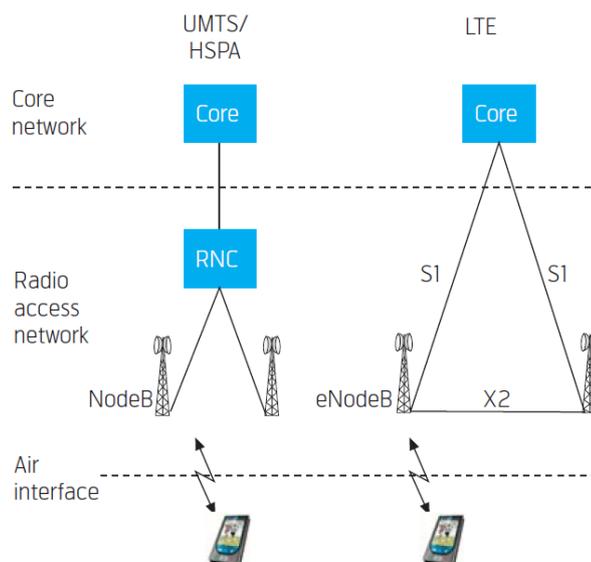


Figura 20 – Arquitecturas HSPA e LTE [2]

Na **Figura 20** está representada uma arquitectura de rede LTE que, comparativamente com a rede UMTS/HSPA que a originou, foi simplificada: RNC deixam de ser necessários e surgem ligações entre *eNodeB* vizinhos que permitem a função de *handover*. Esta função permite que dois *eNodeB* possam decidir quando comutar um cliente entre eles, no caso de um utilizador se encontrar em movimento e sair do alcance da célula que o serve poder ser servido por outra. A rede *core*, ou rede nuclear, apenas recebe uma mensagem a informar que o cliente mudou de *eNodeB*, de modo a poder reencaminhar o tráfego deste para o novo destino, sendo que os pacotes que já tiverem sido enviados para o *eNodeB* anterior são reencaminhados pela interface que os une (não existindo assim um *overload* do *Packet Core*). As ligações entre os *eNodeB* e a rede nuclear, onde se encontra o *Packet Core*, são efectuadas através de interfaces baseadas no protocolo IP. [2]

Esta tecnologia, normalizada pela versão 8 do 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) veio proporcionar melhorias, entre as quais:

- Velocidades de transmissão superiores com uma qualidade de serviço melhorada;
- Sistema optimizado para a transmissão baseada em comutação de pacotes (suporte de tráfego IP);
- Reduções no investimento inicial necessário, uma vez que a implementação da tecnologia é incremental, implicando também uma redução nos custos operacionais;
- Arquitectura de rede de baixa complexidade.

3.3.2.6 WiMAX

A tecnologia WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) sem fios, definida segundo a norma IEEE 802.16, pretende ser uma alternativa ao DSL e ao cabo, como forma de acesso à

Internet *in the last mile* (na última milha). Esta tecnologia possui um alcance muito superior ao Wi-Fi (IEEE 802.11) o que permite a utilização de potências de transmissão mais elevadas, velocidades até 40Mbit/s a distâncias até 10km. No entanto, a largura de banda disponível também é partilhada por todos os utilizadores que estiverem ligados à rede em simultâneo, pelo que quanto maior for o número de utilizadores, menor será a largura de banda disponível para cada um.

Esta tecnologia, que tem tido apoios importantes ao nível de fabricantes de equipamentos surgiu com a promessa de possibilitar a instalação de redes de acesso em banda larga com custos reduzidos, apresenta como desvantagem a necessidade de ser implementada desde o início, na sua totalidade.

3.4 Rede de acesso usando fibra óptica

Desde a década de 90 que se tem colocado uma grande expectativa em soluções de rede baseadas em fibra óptica na rede de acesso, como sendo capazes de resolver definitivamente o problema de fazer chegar a casa de cada cliente um acesso de banda larga, que permita aceder aos serviços de voz, vídeo e dados com um nível de QoS adequado.

FTTx (*Fiber to the x*) é uma expressão genérica para designar arquitecturas de redes de telecomunicações que utilizem fibra óptica. Dependendo do ponto de terminação da fibra óptica, estas arquitecturas têm várias designações e serão detalhadas na secção seguinte.

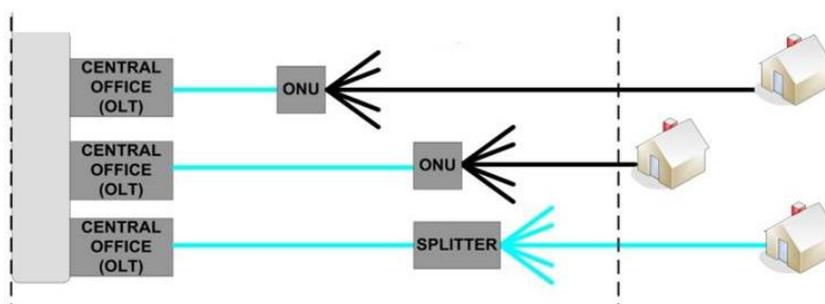


Figura 21 – Redes de acesso usando fibra óptica (recorte da Figura 9)

3.4.1 Arquitecturas FTTx

Como foi mencionado anteriormente, dependendo do ponto de terminação da fibra óptica, as arquitecturas FTTx têm diversas designações: FTTN (*Fiber To The Node*), FTTCab (*Fiber To The Cabinet*), FTTC (*Fiber To The Curb*), FTTP (*Fiber To The Premises*), FTTB (*Fiber To The Building*) e FTTH (*Fiber To The Home*).

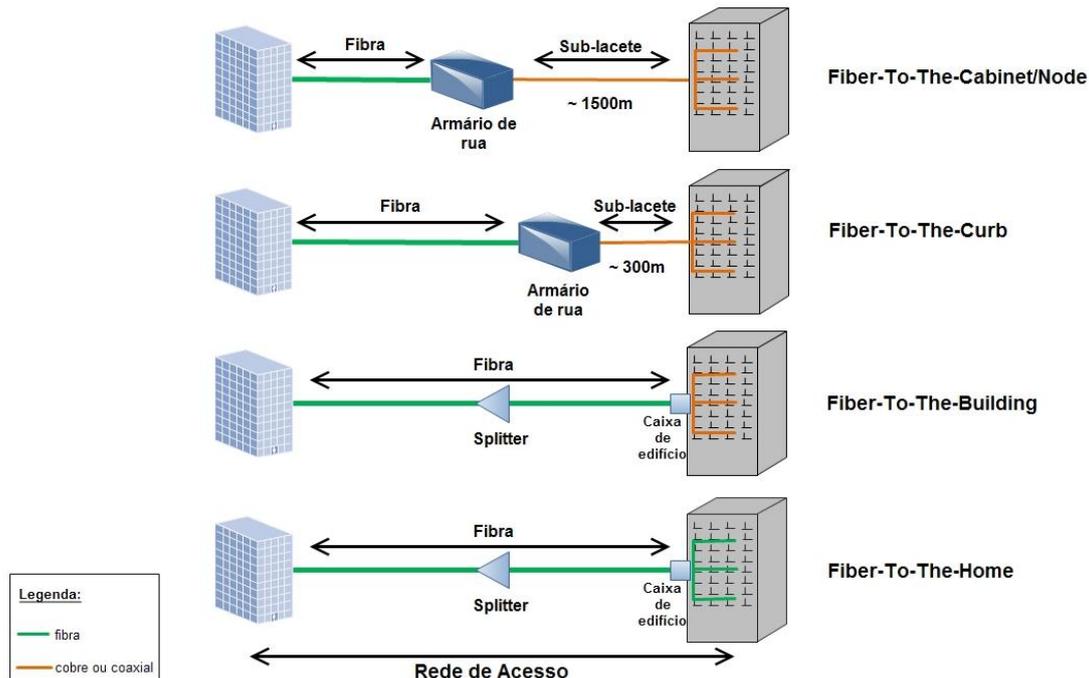


Figura 22 – Arquitecturas FTTx [4]

- **Fiber to the node** (FTTN) ou **fiber to the cabinet** (FTTCab), é a designação de arquitecturas onde os cabos de fibra óptica terminam no armário de rua. Os utilizadores vão ser servidos pela infra-estrutura em cobre existente, ou ainda pelo tradicional cabo coaxial. Estas arquitecturas são adequadas para áreas de pequena dimensão (com um raio de aproximadamente 1500 m), com pouca densidade populacional e a utilizadores que pretendam internet de alta velocidade.
- **Fiber to the curb** (FTTC), designa uma arquitectura onde os cabos de fibra óptica chegam até a um armário de rua, servindo uma área bastante reduzida (com cerca de 300 m de raio) e com baixa densidade populacional. Os utilizadores ligam-se a este armário através da infra-estrutura em cobre existente ou por intermédio de cabo coaxial. Esta arquitectura difere das arquitecturas anteriores pelo alcance da fibra, uma vez que permite que o armário de rua esteja já bastante próximo da residência do cliente, ao passo que nas arquitecturas FTTN ou FTTCab, este armário de rua encontra-se bastante afastado da residência do cliente.
- **Fiber to the building** (FTTB), designa uma arquitectura onde a fibra óptica chega até à entrada de um edifício, não chegando a fibra directamente a casa do utilizador final. A ligação final ao utilizador é feita com outro meio de transmissão diferente da fibra óptica, podendo ser utilizado cobre ou cabo coaxial.
- **Fiber to the home** (FTTH), designa uma arquitectura onde a fibra óptica chega directamente até ao utilizador final, permitindo a colocação de uma fibra dedicada até ao utilizador final. Esta arquitectura comporta um investimento bastante mais elevado do que as arquitecturas referidas anteriormente, em especial a FTTN e a FTTCab, uma vez que não se serve da infra-

estrutura existente em nenhum ponto do seu trajecto até casa do utilizador final, podendo no entanto reaproveitar a rede de condutas existente.

3.4.2 Redes Ópticas Passivas

As redes ópticas passivas ou redes PON (*Passive Optical Network*) na rede de acesso foram concebidas com base numa topologia de rede de ponto-a-multiponto, onde o meio é comum a múltiplos utilizadores que partilham a mesma largura de banda.

Estas redes estão equipadas com elementos passivos e são então designadas de redes passivas pois, com a excepção dos equipamentos terminais (*Central Office* e do equipamento terminal do utilizador), não há necessidade de recurso a energia eléctrica na rede de transporte. Este facto simplifica o planeamento da rede e reduz os custos de operação e manutenção.

3.4.3 Redes Ópticas Activas

As redes ópticas activas ou redes AON (*Active Optical Network*) apresentam uma grande diferença em relação às soluções PON: necessitam de equipamentos activos (*switches, routers* ou *multiplexers*) que requerem alimentação eléctrica para distribuir o sinal óptico.

As topologias adoptadas por estas redes de acesso podem ser topologias ponto-a-ponto, uma fibra dedicada a um utilizador final, ou topologias ponto-a-multiponto, que necessitam de equipamentos activos implementados na rede de transporte.

4. Tecnologias e Soluções nas Redes de Acesso de Fibra Óptica

4.1 Redes Ópticas Passivas

A topologia de eleição das redes PON (*Passive Optical Network*) é a ponto-a-multiponto, sendo uma topologia de rede onde o meio é partilhado por múltiplos utilizadores que partilham a mesma largura de banda. Nestas redes existem elementos passivos - *splitters* ópticos - que dividem a largura de banda de uma fibra única, numa distância máxima de 20 km, até 64 utilizadores. Um elemento é considerado passivo quando não necessita de energia eléctrica para operar. Estas redes estão equipadas com elementos passivos e são então designadas de redes passivas pois, com a excepção do *Central Office* e do equipamento terminal do utilizador, não há necessidade de recurso a energia eléctrica na rede de transporte. Este facto simplifica o planeamento da rede e reduz os custos de operação e manutenção. A configuração PON reduz a quantidade de fibra e equipamento necessário na central local, comparativamente às arquitecturas ponto-a-ponto.

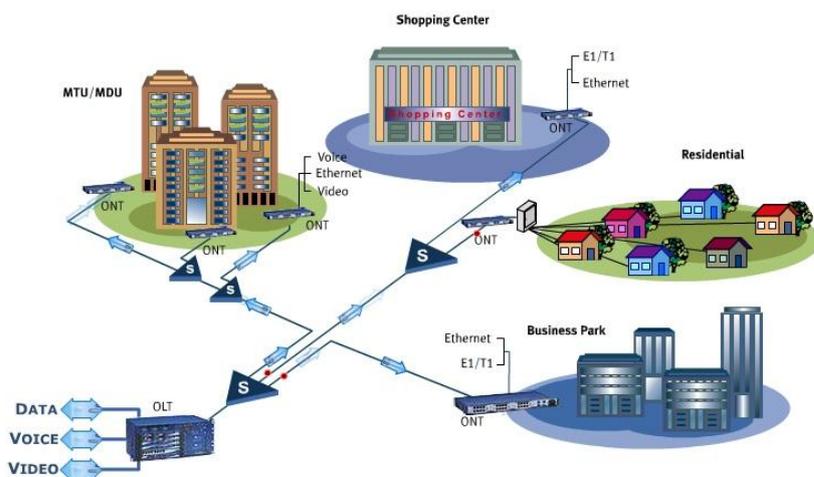


Figura 23 – Passive Optical Network [5]

Esta tecnologia adota topologias em barramento, estrela, anel ou árvore (ver **Figura 24**), de forma a permitir comunicação entre múltiplos utilizadores finais. Numa PON os fluxos descendentes e ascendentes são tratados de forma diferente. Os sinais descendentes, no sentido do cliente, são difundidos para todas as instalações, partilhando a mesma fibra. O sinal emitido pelo OLT (*Optical Line Termination*) é recebido por todos os ONU (*Optical Network Unit*) e cada um selecciona a informação que lhe é transmitida. Estes sinais são encriptados para que apenas uma instalação tenha acesso à informação transmitida. Os sinais ascendentes são combinados através de um protocolo de acesso múltiplo. Na comunicação no sentido ascendente, os ONU partilham o meio físico. Os ONU acedem ao meio físico em tempos distintos através de um protocolo TDMA (*Time Division Multiple Access*) ou

utilizando tecnologias de multiplexagem mais recentes como o WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). A informação proveniente dos utilizadores é então integrada e enviada para a fibra até ao OLT. São utilizados dois comprimentos de onda: 1310 nm para *upstream* e 1510 nm para *downstream*. O comprimento de onda de 1550 nm é normalmente reservado para *broadcast* de sinais de vídeo analógicos.

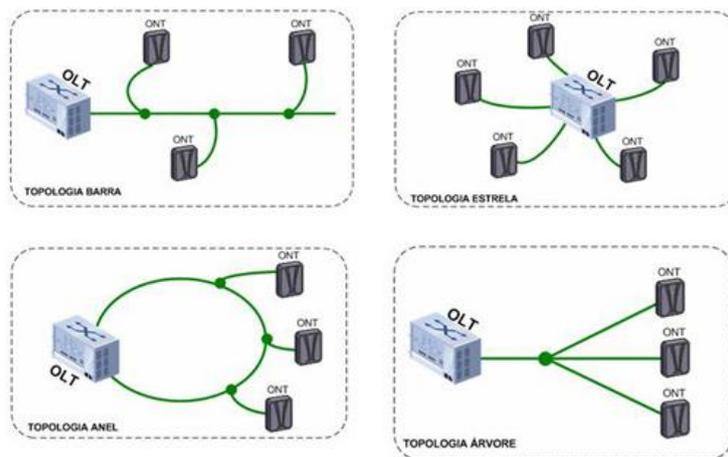


Figura 24 – Topologias das redes PON [38]

Numa PON, o OLT situado no Central Office do fornecedor de serviços liga-se ao ONT (*Optical Network Termination*) situado no extremo do utilizador. Estes elementos terminais, o OLT e o ONT são elementos activos, o que significa que necessitam de energia eléctrica para operar. A arquitectura é designada passiva pois todos os equipamentos intermédios localizados entre o CO e o ONT são passivos.

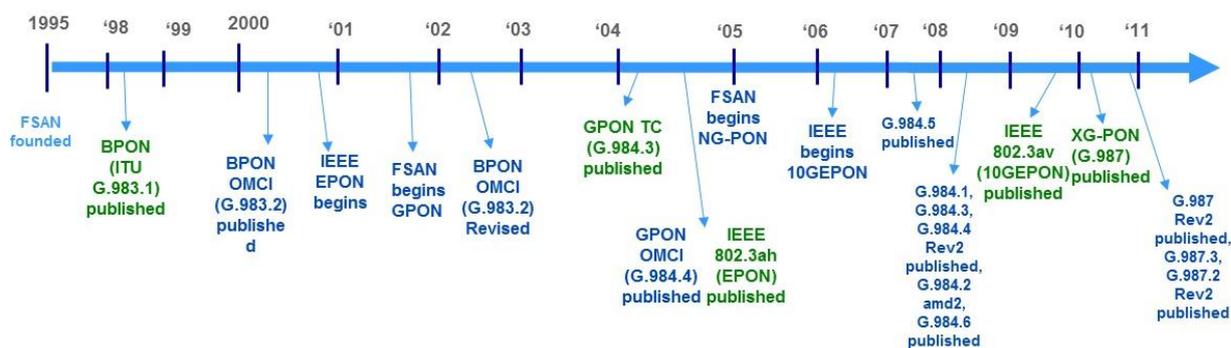


Figura 25 – Evolução das tecnologias PON (Adaptado de [8])

Alguns operadores de redes formaram a iniciativa FSAN (*Full Service Access Network*) com o objectivo de criar uma especificação unificada para redes de acesso de banda larga. O FSAN desenvolveu normas e especificações para redes de acesso ópticas baseadas na tecnologia PON que serão descritas nos subcapítulos seguintes.

4.1.1 APON

APON (*ATM Passive Optical Network*) foi a primeira tecnologia óptica passiva a aparecer, definida pelo ITU-T segundo a norma G.983. Com objectivo de ser utilizada para aplicações empresariais, permitia 622 Mbps no sentido descendente e 155 Mbps no sentido ascendente com uma divisão de 32-64. O protocolo utilizado é o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e a distância máxima de cobertura é de 20 km, com uma atenuação total entre 10 e 30 dB.

4.1.2 BPON

BPON (*Broadband Passive Optical Network*) foi uma evolução da APON, permitindo a implementação de WDM e alocação dinâmica de largura de banda para *upstream* (DBA – *Dynamic Bandwidth Allocation*). Esta tecnologia tem a capacidade de fornecer diferentes prioridades na atribuição da largura de banda aos seus utilizadores, dependendo dos serviços/aplicações desejados e suportados, uma vez que implementa DBA.

Esta arquitectura oferece serviços baseados em ATM, distribuição de vídeo, linhas alugadas e acesso Ethernet. Fornece uma largura de banda de cerca de 155 Mbps no sentido *upstream* e 622 Mbps no sentido *downstream*.

4.1.3 GPON

GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) foi uma evolução da BPON definida segundo a norma ITU-T G.984. Impulsionou o aumento da largura de banda total e largura de banda eficaz, através da transmissão de pacotes maiores e/ou de tamanho variável. A fragmentação de pacotes, permite uma utilização eficiente do meio de transporte.

Os serviços de voz e dados convergem e permite o transporte de múltiplos serviços na sua forma nativa, TDM (*Time Division Multiplexing*).

Suporta taxas de transmissão mais elevadas que as tecnologias anteriores, entre as quais, as mais comum: 1.2 Gbit/s no sentido *upstream* e 2.4 Gbit/s no sentido *downstream*. Permite a escolha do protocolo (ATM, Ethernet, GEM). O uso do GEM (*GPON Encapsulation Method*) permite um empacotamento muito eficaz do tráfego do utilizador, pois faz segmentação das frames para permitir maior qualidade de serviço (QoS) para tráfego sensível a atrasos (voz e vídeo). A segurança pode ser implementada através de várias técnicas de encriptação, entre elas AES (*Advanced Encryption Standard*). Inclui mecanismos OAM (*Operations, Administration and Maintenance*) de rede.

Esta norma define a tecnologia que oferece a largura de banda e a qualidade de serviço (QoS) adequada aos clientes residenciais e ao pequeno comércio. São ainda suportados alguns dos serviços necessários para as grandes empresas.

Na figura seguinte está representada a arquitectura da rede GPON.

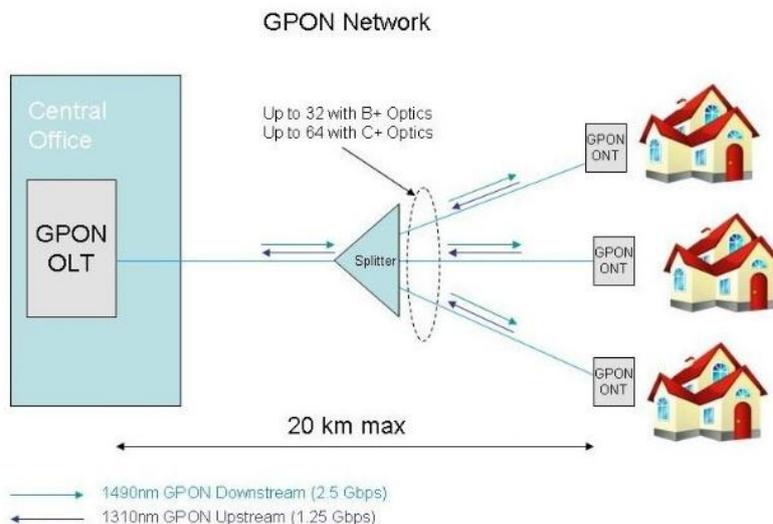


Figura 26 – Arquitectura GPON [6]

Nos sistemas GPON existem diferentes fluxos de informação e cada um corresponde a um comprimento de onda distinto. A gama de comprimentos de onda de funcionamento para o canal de comunicação *downstream* é de 1480-1510 nm e de 1260-1360 para o canal de comunicação *upstream*. Um comprimento de onda adicional, situado na gama 1550-1560 nm pode ser utilizado, no sentido descendente, para distribuição de vídeo RF. O *split ratio* pode variar de 8 a 128 (apesar do *split ratio* máximo a ser implementado na prática ser de 64) e o alcance máximo é de 20km.

4.1.3.1 ITU-T G.984

O *Gigabit Passive Optical Network* (G-PON) é definido pela ITU-T numa série de recomendações G.984.n (sendo n=1,2,3,4,5,6) que definem as características gerais de GPON, bem como as especificações da camada física, da camada de convergência de transmissão, especificação da *interface* de controlo e gestão da terminação da rede óptica (ONT, *Optical Network Termination*).

Norma ITU-T G.984.n: [10]

G.984.1 - (GPON): Características gerais.

Visão geral da tecnologia GPON onde se inclui a arquitectura da rede, interfaces, *bit rates*, alcance, *split ratio* e redundância, entre outros tópicos.

G.984.2 - (GPON): Especificação da camada *Physical Media Dependent (PMD)*.

Especificações ópticas para a implementação da GPON. *Link Budgets* associados a classes (A, B e C) estão descritos, enquanto que as classes B+ e C+ estão presentes na **G.984.2 Amendment 1 e 2** respectivamente.

G.984.3 - (G-PON): *Transmission Convergence Layer Specification*.

Especificações para a camada de transporte da tecnologia: *framing, upstream Time Division Multiple Access (TDMA), Physical Layer OAM (PLOAM), Dynamic Bandwidth Allocation (DBA)*, activação das *Optical Network Unit (ONU), Forward Error Correction (FEC)* e segurança. Essencial para fornecedores de *software e hardware*.

G.Imp.984.3, Guia do utilizador para ITU-T Rec. G.984.3.

G.984.4 - (G-PON): *ONT Management and Control Interface Specification (OMCI)*.

OMCI permite a gestão e o controlo das interfaces da ONT e permite a associação com as ONT, atribuindo a este conjunto (que é visto como entidade única) um endereço IP.

G.Imp.984.4 - Guia do utilizador para ITU-T Rec. G.984.4

G.984.5 - *Enhancement band for gigabit capable optical access networks*

Especifica a largura de banda óptica para transmissão de vídeo RF e compatibilidade com serviços de nova geração.

G.984.6 - (GPON): *Reach extension*

Especificações para *active Mid-Span extenders* que permitem um alcance adicional nas redes GPON. Sem qualquer alteração nas implementações das ONT, pela adição de novos equipamentos (regeneradores óptico-eléctrico-óptico ou amplificadores ópticos), é oferecido um alcance de 60km numa rede GPON.

G.984.7 - (GPON): *Long reach*

4.1.3.2 Mecanismos de Transmissão

Na GPON existem três fluxos de informação transmitidos e cada um corresponde a um comprimento de onda distinto. A gama de comprimentos de onda de funcionamento é: 1480-1510 nm para o sentido descendente e 1260-1360 para o ascendente. Caso seja transmitido sinal de vídeo, este é transmitido num comprimento de onda adicional, na gama 1550-1560 nm em sentido descendente.[39]

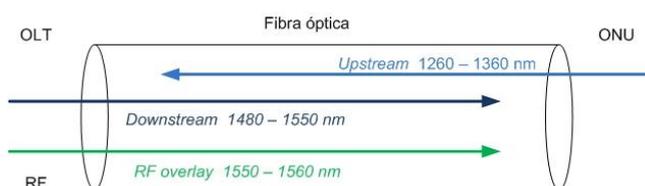


Figura 27 - Comprimentos de onda numa rede GPON [39]

4.1.3.2.1 Canal de Comunicação no Sentido Descendente

O sistema de transmissão no canal de sentido descendente desta tecnologia é baseado em TDM. O sinal enviado a partir da OLT, vai ter um *time slot* dedicado, um período de tempo no qual a informação pode ser transmitida para o canal. Este sinal entra na rede e é enviado em *broadcast*. Depois de percorrer a rede de distribuição, o sinal chega à ONT instalada no terminal do utilizador. Cada ONT, de cada utilizador diferente, identifica e separa o tráfego que lhe é destinado. Os dados, que são encriptados para conferir segurança na informação enviada, são apenas entregues aos clientes que os requerem.

Existe QoS, o que quer dizer que os clientes podem ser separados por classes, podendo efectivamente ser fornecida uma maior percentagem da LB aos clientes prioritários.

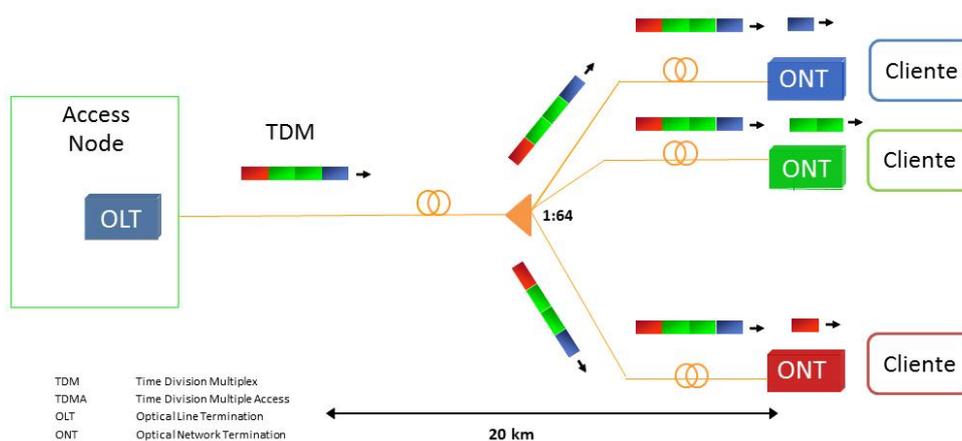


Figura 28 – Canal de comunicação *downstream* baseado em TDM [8]

4.1.3.2 Canal de Comunicação no Sentido Ascendente

A comunicação no sentido ascendente baseia-se no mecanismo de acesso múltiplo ao meio: TDMA (Time Division Multiple Access). Neste sentido o tráfego vai ser enviado a partir de cada ONT (terminal do utilizador) e recebido na OLT.

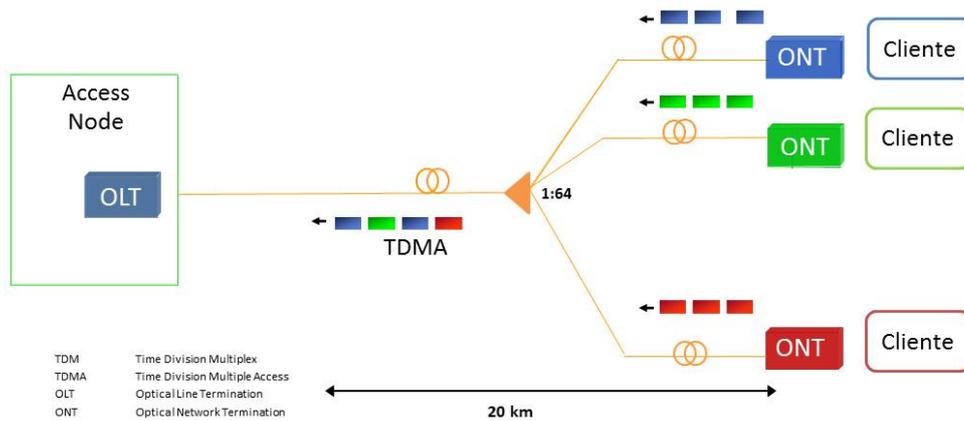


Figura 29 – Canal de comunicação *upstream* baseado em TDMA [8]

4.1.3.3 Arquitectura de rede da tecnologia GPON

Segue-se uma análise detalhada dos protocolos implementados nos diferentes segmentos de rede da tecnologia GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) que actuam em diferentes camadas. A comparação com o Modelo OSI, descrito em anexo, ajuda na compreensão da localização destas camadas. Este estudo ajuda na compreensão dos pontos de “estrangulamento” da tecnologia.

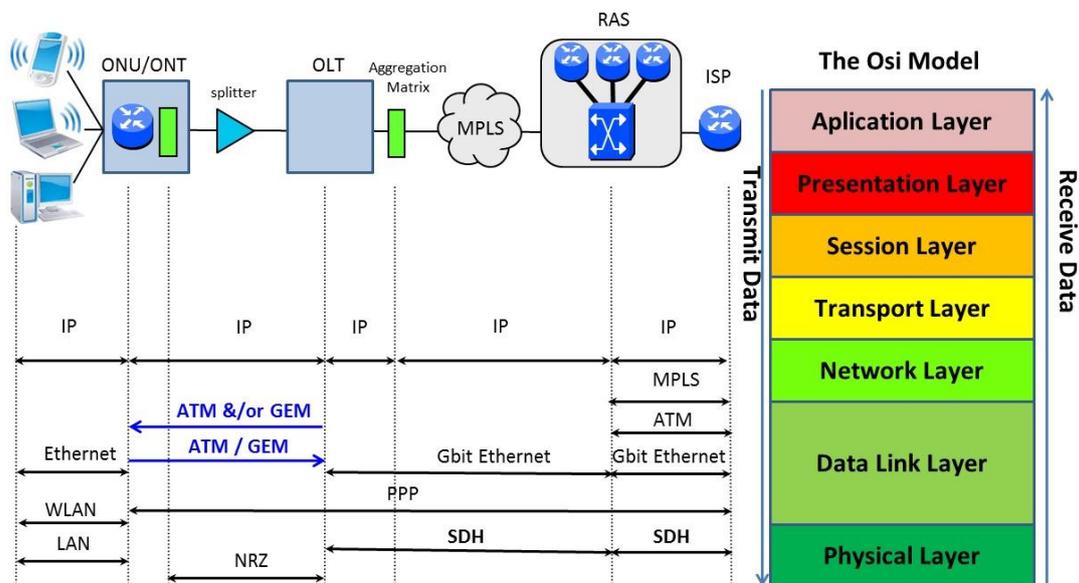


Figura 30 – Exemplo de uma arquitectura de rede GPON e rede de Agregação

4.1.3.3.1 Protocolos implementados na tecnologia GPON

Na rede de acesso da tecnologia GPON, a informação vai ser enviada por meio de fibra óptica. Além dos serviços tradicionalmente fornecidos com tecnologias anteriores, como canais televisivos, tráfego de voz e de dados, surgem novos serviços como o VoIP, IPTV, VoD ou TDT. Todo este tráfego vai ser encapsulado em *frames Ethernet*, ATM ou GEM (*GPON Encapsulation Method*). O mecanismo GEM permite um empacotamento muito eficaz do tráfego do utilizador, pois faz segmentação das *frames* para permitir maior qualidade de serviço (QoS) para tráfego sensível a atrasos (voz e vídeo). O código de linha utilizado, quer para comunicações no sentido ascendente ou descendente é o código NRZ (*non return to zero*).

Na rede do cliente, o protocolo de rede dominante é o IP que vai ser encapsulado em *frames Ethernet*, que comunica com a restante rede local (LAN: *Local Area Network*). Esta comunicação pode ser por cabo (LAN) ou utilizar tecnologias *wireless* (WLAN: *Wireless Local Area Network*), segundo a norma IEEE 802.11.

4.1.3.3.2 Mecanismos implementados na tecnologia GPON

Existem pressupostos relativamente à arquitectura de uma rede GPON que merecem atenção, como taxa de contenção e mecanismos de implementação da DBA. Nesta secção, estes pressupostos serão descritos e detalhados.

4.1.3.3.2.1 Taxa de Contenção

De uma forma simples, a taxa de contenção define-se como a percentagem mínima de largura de banda para acesso à internet que o operador reserva a um dado cliente, caso todos os utilizadores nas proximidades da ligação deste, estejam também ligados à internet. A taxa de contenção serve assim para poder balancear a largura de banda por cada cliente no servidor. Clientes diferentes podem ter a mesma taxa de contenção, tendo no entanto diferentes prioridades de atendimento, o que originará uma maior latência.

Numa arquitectura de rede GPON, ilustrada na figura anterior, a taxa de contenção terá diferentes significados quando se trata da troca de informação no sentido descendente (desde o *Home Gateway Router* até ao equipamento terminal dos utilizadores finais) ou no sentido ascendente (desde o equipamento terminal dos utilizadores finais até à rede *core*).

Em relação ao sentido descendente, a taxa de contenção existirá e será de acordo com o número e nível de andares de *splitagem* existentes. No *Central Office* estarão várias OLT e em cada OLT existirão portas associadas a uma largura de banda disponível para partilha. Esta partilha é feita com *splitters* numa relação que varia desde 1:1 até 1:64 e podem existir vários níveis de *splitagem*. No *Central Office* pode estar o primeiro nível de *splitagem* e os outros níveis existentes estarão localizados no ODN (*Optical Distribution Network*). Nos equipamentos anteriores ao splitter não existirá qualquer

tipo de taxa de contenção, uma vez que estes correspondem a equipamentos terminais do cliente. Por outro lado, as OLT estarão localizadas nos C.O. que por sua vez estão ligados à rede nuclear.

Se existir apenas um nível de *splitagem*, de 1:64, a largura de banda disponível vai ser partilhada por todos os clientes ligados ao mesmo tempo nesse ramo da PON, significa que podem existir mais 63 clientes ligados ao mesmo tempo.

No caso do sentido ascendente, está implementada a DBA (*Dynamic Bandwidth Assignment*) que é controlada pela OLT. A alocação dinâmica da largura de banda é a capacidade de fornecer diferentes prioridades na atribuição da largura de banda aos assinantes, para que os requisitos dos diferentes serviços e aplicações sejam suportados.

4.1.3.3.2 Atribuição Dinâmica da Largura de Banda

A atribuição dinâmica de largura de banda (DBA) é um processo pelo qual o OLT re-aloca as possibilidades de transmissão de *upstream* para o tráfego rumo a entidades dentro das unidades de rede óptica, com base em indicações de estado das actividades e dos seus contratos de tráfego configurados.

Para saber qual a percentagem de largura de banda que deve associar a uma ONU, a OLT precisa de saber qual o “*status report*” do T-CONT (*Transmission Container*) actualmente associado a essa ONU. Este irá indicar qual a quantidade de tráfego que está no *buffer* à espera para ser enviado. O *status* de cada T-CONT não só influencia a atribuição de largura de banda, como a prioridade do serviço, a qualidade de serviço (QoS) e o número de *timeslots* atribuídos a cada ONU. Assim que a OLT recebe estas informações consegue alocar individualmente a largura de banda suficiente e necessária, respeitando as limitações existentes.

Quando uma ONU não tem informação à espera de ser enviada, envia um sinal de IDLE para informar a OLT de que o seu *buffer* está vazio. Isto permite a OLT associar este T-CONT a outras ONU. Se uma ONU tem uma longa fila de espera de informação para ser enviada, a OLT pode associar múltiplos T-CONT a essa ONU. Através da DBA, os *timeslots* de utilizadores pouco activos podem ser atribuídos a utilizadores com grandes necessidades de largura de banda.

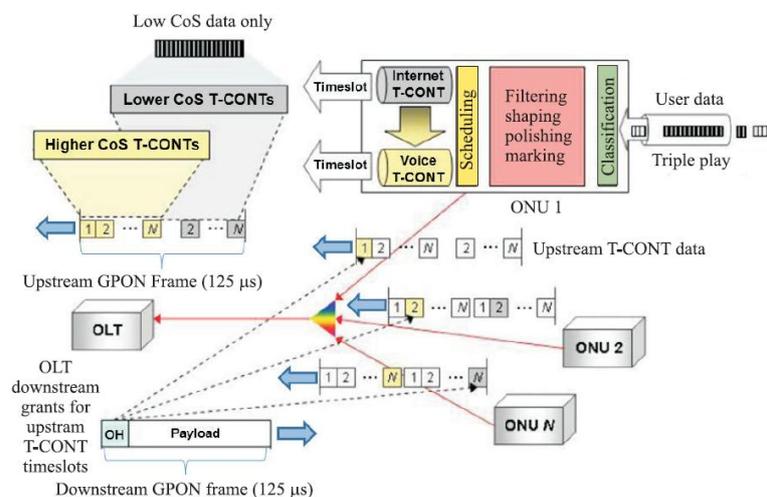


Figura 31 – GPON CoS/QoS [55]

4.1.3.3.2.3 GTC layer framing

A figura seguinte mostra a estrutura do GTC (GPON *Transmission Convergence*) para direcções *upstream* e *downstream*. A *frame upstream* do GTC contém múltiplas rajadas de transmissão. Cada rajada *upstream* consiste numa secção PLOU e num ou mais intervalos de alocações de largura de banda associados a *Alloc-ID* específicos. A *frame* GTC para *downstream* consiste no bloco físico de controlo *downstream* (PCBd) e na secção de carga do GTC. Esta *frame* de *downstream* do GTC fornece uma referência de tempo comum para o PON e uma sinalização de controlo comum para o *upstream*.

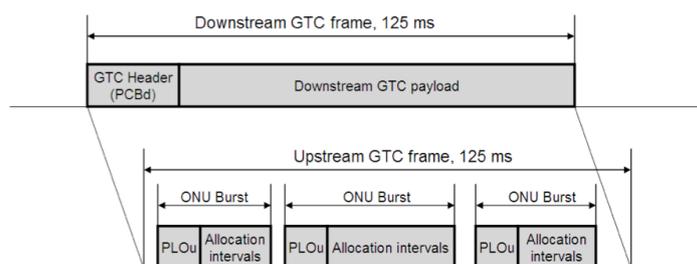


Figura 32 – GTC layer framing [10]

4.1.3.4 Necessidade de Evolução da Tecnologia GPON

4.1.3.4.1 Motivações

Existem várias questões que se devem colocar quando se pretende evoluir de uma tecnologia já implementada, mas que já não é suficiente para servir com qualidade as exigências requeridas, para uma nova tecnologia. Estas questões dependem de vários factores que devem ser estudados e analisados, e são as seguintes:

- Enquadramento geográfico:

Onde se pretende a evolução da rede? A zona em questão é uma zona urbana, suburbana ou rural?

É necessário saber se a tecnologia futura pretende servir um maior número de utilizadores, no caso de uma zona urbana densa, ou se é pretendida uma melhoria dos serviços, com o mesmo número de utilizadores.

- Enquadramento demográfico e socioeconómico:

Qual o tipo de mercado alvo? Residencial, empresarial ou misto? Quais as perspectivas de evolução do volume de mercado?

É importante saber quais as condições económicas da região em causa e o tipo de actividades aí existentes, uma vez que os serviços necessários variam de acordo com o mercado que pretende servir.

- Enquadramento tecnológico:

Qual a tecnologia implementada? Existem infraestruturas que possibilitam a evolução da tecnologia actual? Que soluções tecnológicas seriam as mais adequadas a implementar? Qual o possível cenário de coexistência com a tecnologia futura? Do ponto de vista económico, é viável implementar a solução desejada?

- Modelo de negócio:

Qual a verba monetária disponível? Qual a viabilidade do projecto? Qual o período de recuperação do investimento?

Existem dois motivos pelo qual é necessária uma evolução das tecnologias existentes: as necessidades e a procura do mercado aumentar, ou o crescimento do território abrangente.

No caso de as necessidades e da procura do mercado aumentarem, significa que a largura de banda disponível já não é suficiente e que é necessária uma mudança de tecnologia, ou significa que existe uma necessidade de servir mais clientes e que para isso também é preciso aumentar a capacidade total da rede.

No caso do crescimento do território: se for em meios urbanos densos, significa que é necessária uma tecnologia que seja capaz de servir um grande número de utilizadores, se se pretende alcançar zonas periféricas onde existem grandes distâncias entre o CO e o utilizador, deve ser implementada uma tecnologia de longo-alcance.

Aumento do alcance, aumento da largura de banda disponível, aumento do número de clientes finais servidos e o aproveitamento da fibra escura são necessidades de evolução das actuais redes de acesso. Nos subcapítulos seguintes são apresentadas algumas soluções.

4.1.3.4.2 **GPON: Aumento do Alcance**

Quando se pretendem alcançar zonas periféricas, onde existem grandes distâncias entre o CO e o utilizador, a tecnologia a implementar será a LR-PON, que pode ser uma solução a adoptar para áreas que ainda não possuem infraestruturas.

Se a tecnologia em vigor for a GPON, existem duas soluções que permitem aumentar o raio de alcance de 20km a curto prazo. Uma delas baseia-se na remotização dos CO, que consiste na implementação das OLT fora dos CO oferecendo distâncias a partir de 100km; a outra opção baseia-se na norma ITU-T G.984.6: *mid-span extenders* que oferece um aumento no alcance da rede GPON até 60km. [14]

4.1.3.4.2.1 Remote GPON OLT

Uma opção robusta para aumentar o alcance das redes GPON é instalar GPON OLT remotas. Envolve um processo de implementação complexa, uma vez que posiciona as OLT fora do ambiente dos CO. Esta solução oferece flexibilidade, pois pode ser implementada em armários OSP (*OutSide Plant*) ou em caixas-cofre de ambiente controlado (*Controlled Environment Vault - CEV*) a distâncias a partir de 100km do CO. [14]

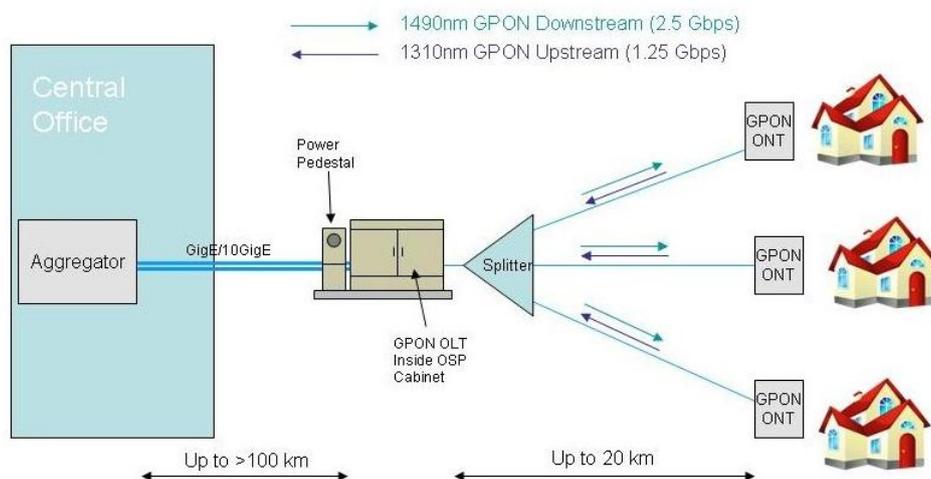


Figura 33 – Remote GPON OLT [6]

4.1.3.4.2.2 Mid-Span Extenders

Outra solução para o aumento do alcance da rede GPON é a adição de *mid-span extenders*. Aumenta o alcance da rede até 60km, que é o limite lógico da transmissão da tecnologia GPON relacionada com o atraso máximo entre as OLT e ONT. A norma G.984.6 pretende oferecer compatibilidade entre as ONT e as OLT existentes, tanto quanto possível. A figura seguinte mostra o posicionamento destes dispositivos na rede de acesso GPON.

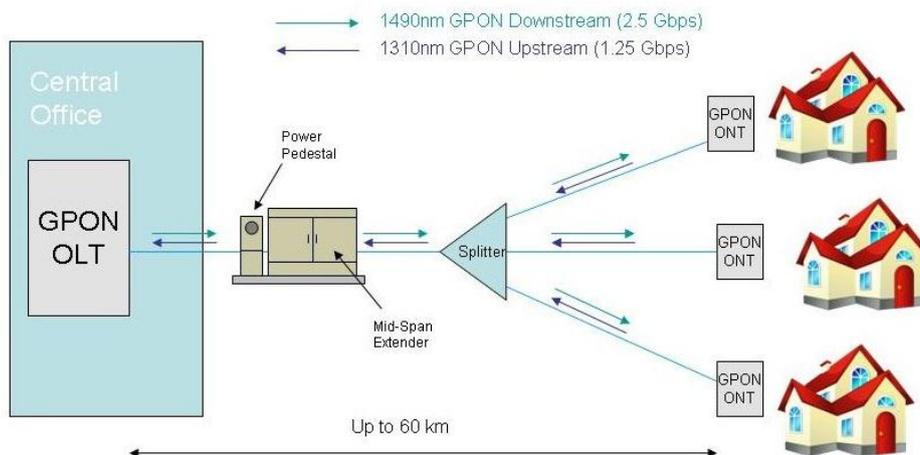


Figura 34 - *Mid-Span Extenders* [6]

A norma G.984.6 especifica duas tecnologias para os *mid-span extenders*, uma propõe a implementação de amplificadores ópticos (AO), ou regeneradores óptico-eléctrico-óptico (OEO). No caso da introdução de amplificadores ópticos, estes aumentam o ganho óptico. No caso da introdução dos regeneradores OEO, a função destes é receber o sinal óptico, converter para eléctrico, modelar o sinal no tempo e a sua forma, para depois converter o sinal novamente ao domínio óptico para a sua transmissão.

Mid-span extenders são dispositivos bidireccionais onde as duas tecnologias anteriores são utilizadas, OEO no canal de transmissão ascendente e AO no canal de transmissão descendente.

A solução apresentada para o aumento do alcance da rede GPON apresenta algumas desvantagens. O recurso a equipamentos electrónicos requer uma manutenção periódica que invalida o termo 'passivo' nas redes ópticas passivas. Os *mid-span extenders* são incompatíveis com a implementação actual das OLT, que pode ser corrigida com alterações simples de valores de parâmetros. Estes dispositivos podem ainda limitar as redes da próxima geração excepto se lhes interessar o *design* destes equipamentos. Não é possível uma visão geral da rede pelo uso do OTDR nesta implementação, assim como também não é possível a medição da atenuação depois do sinal atravessar o *splitter*. [6]

4.1.3.4.3 GPON: Aumento da Largura de Banda

Na figura seguinte está representado um gráfico que relaciona a largura de banda dedicada por utilizador com as tecnologias PON que existiram, que existem e que estão a ser estudadas para possível implementação. A necessidade de acesso a maior largura de banda, por utilizador, cresce diariamente e é preciso encontrar soluções viáveis.

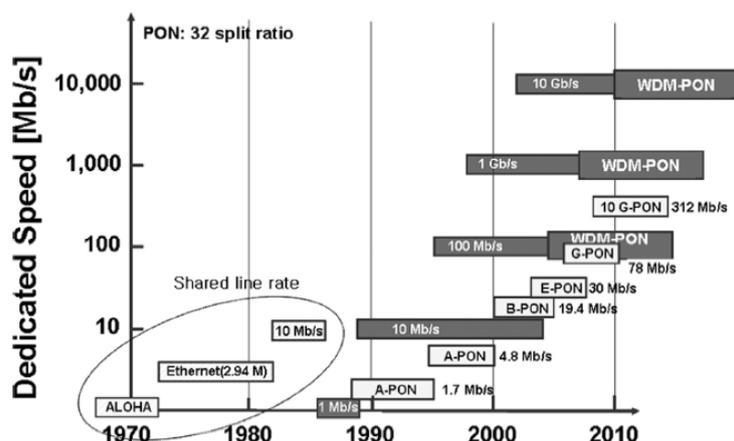


Figura 35 – Largura de Banda dedicada nas tecnologias PON [11]

Se a tecnologia em vigor for a GPON, o primeiro passo de evolução, para aumentar a capacidade da rede, é a tecnologia XG-PON. A velocidade de transmissão da tecnologia actual GPON é de 1.2Gbit/s ou 2.4Gbit/s no sentido *upstream* e de 2.4Gbit/s no sentido de *downstream*. A NG-PON1 é uma solução PON, que se subdivide em duas etapas para que seja possível a coexistência do cenário actual com o cenário futuro num mesmo ODN. Oferece capacidades de 10 Gbit/s no sentido *downstream* e, dependendo da fase de transição, as capacidades oferecidas no sentido *upstream* são de 2,5 Gbit/s (XG-PON1) ou de 10Gbit/s (XG-PON2).

4.1.3.4.4 GPON: Aumento do Número de Utilizadores

A necessidade de servir mais clientes obriga a optar por uma tecnologia futura com um elevado nível de *splitagem*, onde existem um maior número de utilizadores a serem servidos por cada OLT.

4.1.3.4.5 GPON: Aproveitamento da Fibra Escura

É prática comum instalar fibra óptica em excesso. Os valores tradicionais sugerem que um operador instala, em média, 20% de fibra em excesso e cujo a denominação comum é *fibra escura*, devido ao facto de, como não transporta informação, nunca estar iluminada. Esta fibra escura pode ser aproveitada para a concretização de uma evolução faseada da tecnologia existente.

Uma primeira fase da transição da tecnologia GPON para 10GPON pode passar pelo aproveitamento desta *fibra escura*, permitindo uma mudança gradual, sem que para isso exista uma interrupção de serviços.

No caso da GPON, pode-se recorrer a esta fibra para aumentar o alcance da tecnologia, podendo servir novos clientes a longas distâncias, pela remotização dos CO ou adição de *mid-span extenders*, ou pela implementação de tecnologias LR-PON.

Na figura seguinte está representado um exemplo de uma rede de acesso onde várias tecnologias coexistem. Os recursos existentes são aproveitados, como por exemplo a *fibra escura*, que

permite a oferta de múltiplos serviços, podendo até ser definida uma estratégia de partilha de infraestruturas multi-operador.

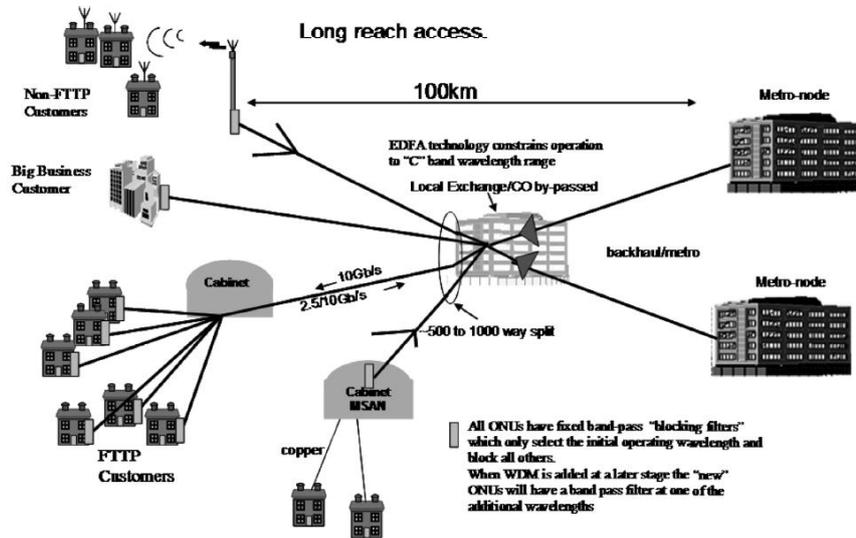


Figura 36 - Long reach access network architecture [12]

4.1.4 EPON

EPON (*Ethernet-based Passive Optical Network*) é uma tecnologia que foi definida segundo a norma IEEE 802.3ah e desenvolvida na Ásia. Conhecida como *Ethernet in the first mile*, apresenta uma topologia ponto-a-multiponto que suporta taxas de transmissão simétricas de 1 Gbit/s e um alcance de 20km.

É uma tecnologia baseada em protocolos Ethernet e IP, em vez de ATM e SONET, e por isso tem menor custo de implementação. O processamento de tramas Ethernet é muito mais simples e barato que o processamento dos pacotes ATM e SONET. O processamento de pacotes ATM e SONET requer um controlo de tempo preciso e sincronizado, elevando o custo dos circuitos a implementar. No caso dos pacotes Ethernet, permite utilizar equipamento IP, tanto na residência do assinante como no *Central Office*, tornando as redes EPON adequadas ao transporte de qualquer tipo de tráfego, desde dados (pacotes) a transporte de voz e vídeo (sensíveis a atrasos temporais).

Uma rede EPON é constituída por um OLT (*Optical Line Termination*), uma rede de fibras ópticas (ODN – *Optical Distribution Network*) e um ONU (*Optical Network Unit*). O OLT encontra-se no *Central Office* (POP – *Point Of Presence*). Este equipamento será um *switch Ethernet* ou uma plataforma *Media Converter*. O ONU pode estar instalado nas residências dos assinantes, num edifício ou num armário de rua. A rede de fibra entre o OLT e o *splitter* é partilhada, enquanto a rede que liga o *splitter* ao ONU é dedicada a cada assinante.

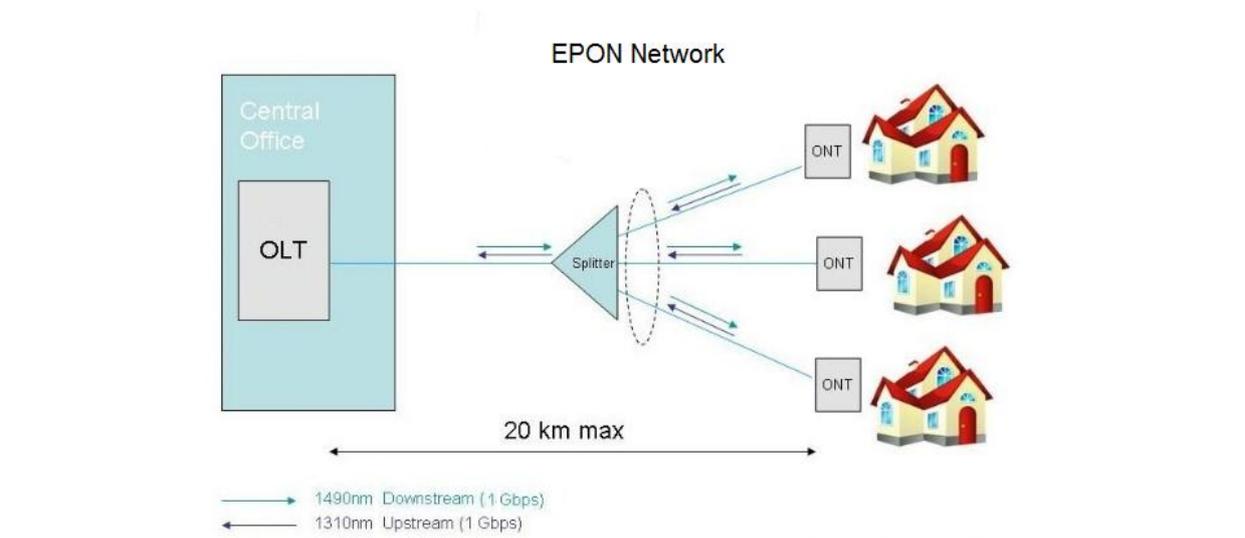


Figura 37 - Arquitectura EPON [48]

Os sistemas EPON multiplexam os sinais com diferentes comprimentos de onda em transmissões nos dois sentidos. A gama de comprimentos de onda de funcionamento para *downstream* é de 1480nm a 1510 nm (*link budget* de 29 ou 26 dB e taxa de transmissão de 1 Gbit/s) e para *upstream* é de 1260 nm a 1360 nm (*link budget* de 29 ou 26 dB e taxa de transmissão de 1 Gbit/s). A gama de 1550nm a 1560 nm é reservada e é utilizada para transmissão de vídeo RF. O *split ratio* é de 16 ou 32 ou mais.

Inclui mecanismos de rede OAM (*Operations, Administration and Maintenance*). Suporta CoS (*Class of Service*) para transporte de cargas pagas, sensíveis a operações de tempo onde as frames de vídeo devem ser entregues em sequência e a tempo de prevenir eventuais *glitches*. Suporta TDM e serviços de voz VoIP (*Voice over IP*).

4.1.4.1 Mecanismos de Transmissão

4.1.4.1.1 Canal de comunicação no sentido Descendente

A comunicação no sentido descendente da tecnologia EPON, baseada na topologia ponto-a-multiponto, é feita em *broadcast* e pacotes com tamanho variável que podem ir até 1518 bytes, na gama de 1480nm a 1510nm. As *frames* 802.3 são extraídas localmente pelo ONU, que encaminham a informação até aos respectivos utilizadores. [13]

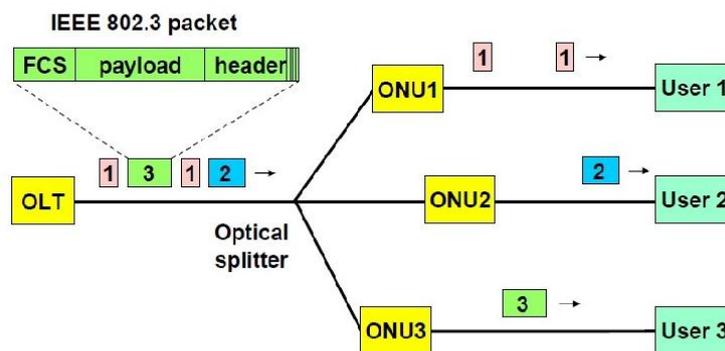


Figura 38 - EPON: Canal de comunicação *Downstream* [13]

4.1.4.1.2 Canal de comunicação no sentido Ascendente

A comunicação no sentido ascendente é feita na gama de 1260nm a 1360nm e é baseada no mecanismo de acesso múltiplo TDMA (*Time Division Multiple Access*), onde apenas é permitido o acesso a cada ONU individualmente no timeslot que lhe é dedicado. [13]

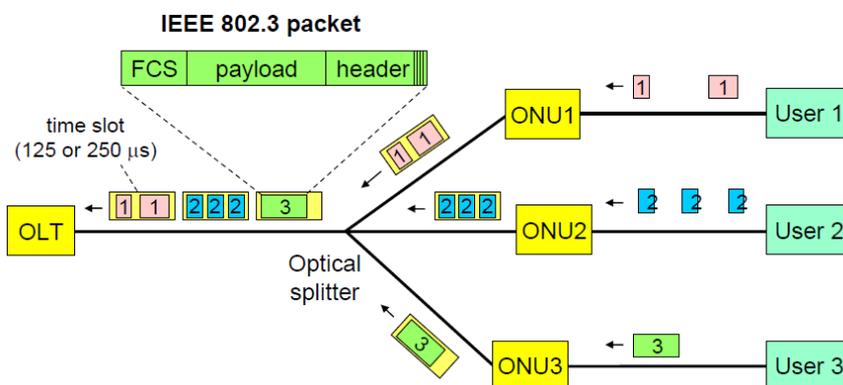


Figura 39 - EPON: Canal de comunicação *Upstream* [13]

4.1.5 GPON vs EPON

As variantes da TDM-PON mais usadas são a GPON, normalizada em ITU-T G.984.1, e a EPON, normalizada em IEEE 802.3ah. A GPON funciona a um débito de linha agregado de 2,4/1,2 GBit/s e a EPON a um débito simétrico de 1 GBit/s. As redes EPON foram as primeiras a ser desenvolvidas e têm uma maior prevalência no Japão e na Coreia do Sul, países que primeiro desenvolveram redes em fibra óptica até aos consumidores. As redes GPON, desenvolvidas mais tarde, são mais utilizadas na Europa e nos Estados Unidos da América.

Ao nível tecnológico a diferença mais evidente entre estas duas tecnologias reside na abordagem arquitectónica ao nível da Camada 2 (ver figura seguinte). [37]

A GPON, com três sub-camadas na Camada 2, necessita de dois métodos de encapsulamento. O primeiro acontece quando as *frames* TDM e *ethernet* são encapsuladas em *frames* GEM. O segundo método acontece quando as *frames* ATM e GEM são encapsuladas em *frames* GTC e enviadas para a camada física. [50] O principal objectivo do encapsulamento GEM é fornecer um serviço *frame-oriented* em alternativa ao ATM, a fim de acomodar de forma eficiente as *frames ethernet* e TDM.

Na EPON as *frames ethernet* são transportadas no seu formato nativo. Isto simplifica muito o modelo de camadas e a sua gestão. Todos os serviços são mapeados sobre *ethernet*, directamente ou via IP (ver figura seguinte).[50] A EPON oferece claramente uma solução muito mais simples do que a GPON. A capacidade de suportar tramas ATM ou o duplo encapsulamento da GPON não oferecem vantagens reais em relação à transmissão de *frames ethernet* puras.

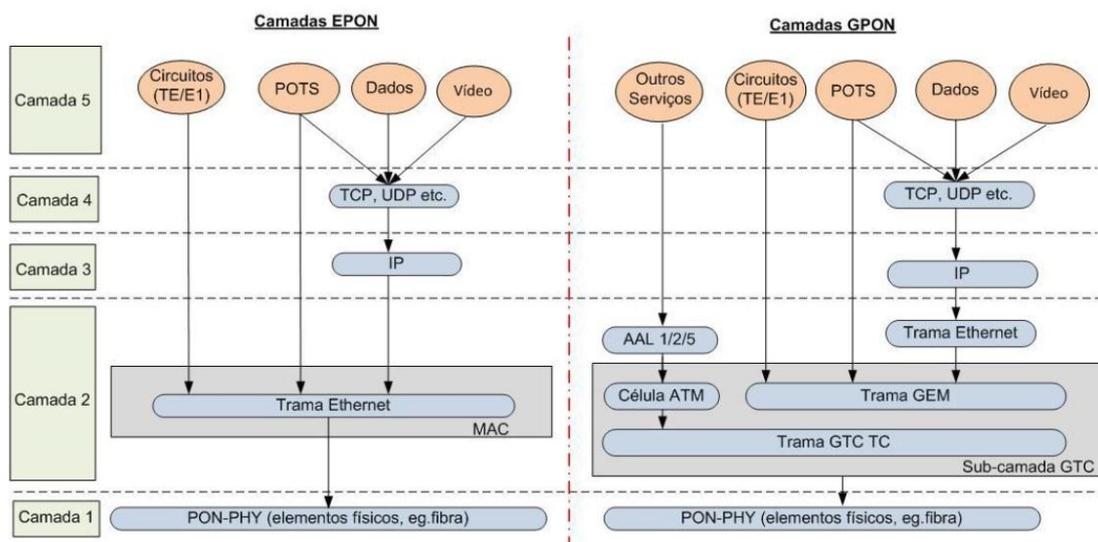


Figura 40 – Camadas: EPON vs GPON [37]

O código de linha utilizado em ambos os sentidos de transmissão na GPON é o código NRZ (*Non Return to zero*). Já a EPON utiliza uma codificação de linha 8b/10b que assegura que há suficientes transições de bit de forma a manter o balanceamento DC. Por cada grupo de 8 bits é codificado um sinal de 10 bits, permitindo assegurar uma extração do relógio mais fácil. Devido à utilização desta

codificação, implica 20% de *overhead*, o que significa que apesar da EPON suportar uma taxa de transmissão de linha de 1.25 GBit/s, a sua capacidade máxima será de 1 GBit/s, tanto no canal de comunicação ascendente como no canal de comunicação descendente. [50]

Relativamente à eficiência dos sistemas, as características da GPON levam a que este tenha *performances* superiores às da EPON. Além da ineficiência introduzida pela codificação 8b/10b utilizada no standard EPON, que limita em 20% a capacidade máxima da linha, a eficiência da GPON em transporte de tráfego *ethernet* é também melhor em termos de utilização dos *slots* atribuídos devido ao encapsulamento GEM. Embora este encapsulamento, introduza um cabeçalho de 5 bytes em cada trama *upstream*, ele permite segmentação e reassemblagem de tramas Ethernet atingindo um quase perfeito ajuste. Assim, enquanto na GPON a ineficiência decorre na introdução de um cabeçalho GEM, na EPON esta é introduzida pelo longo *overhead* da camada física e longas mensagens de relatório (3 bytes por fila no standard GPON *versus* 64 bytes por todas as oito filas no standard EPON). [50]

As tecnologias GPON e EPON possuem características diferentes em relação à taxa de linha agregada e eficiência do protocolo TDMA, ou seja, a parcela do débito total que pode ser usado para a carga útil. Estas duas tecnologias, também diferem quanto ao balanço de potência (*power budget*) e *splitter ratio*. A GPON apresenta um conjunto de vantagens devido à maior eficiência do protocolo. A Tabela seguinte exemplifica as características destas duas tecnologias. [37]

Tabela 2 – EPON vs GPON

Standard		EPON	GPON
Classes		IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Camada MAC	Frame	Ethernet	GEM
	Alcance	10km ou 20km	20km (60km a nível lógico)
Camada Física	Split ratio	1:16 ou mais	1:64 (até 1:128 a nível lógico)
	Velocidade de transmissão	Upstream: 1.25Gbit/s	Upstream:1.2Gbit/s
		Downstream: 1.25Gbit/s	Downstream:2,4Gbit/s
	Bandwidth efficiency	Superior a 90%	Inferior a 75%
	Coding	8b/10b	NRZ (+scrambling)
	Comprimento de Onda	Upstream:1260nm - 1360nm	Upstream:1260nm - 1360nm
		Downstream:1480nm - 1500nm	Downstream: 1480nm - 1500nm
	FEC	Opcional	Opcional
Encryption	AES-128 on <i>ethernet payload</i> (opcional)	AES-128 on ATM and GEM <i>frame payload</i> (opcional)	
Coexistência		RF Vídeo	RF Vídeo

4.2 Redes Ópticas Activas

As soluções *Active Optical Network* (AON) têm uma grande diferença em relação às soluções PON: necessitam de equipamentos (*switches*, *routers* ou *multiplexers*) que requerem alimentação eléctrica para distribuir o sinal óptico.

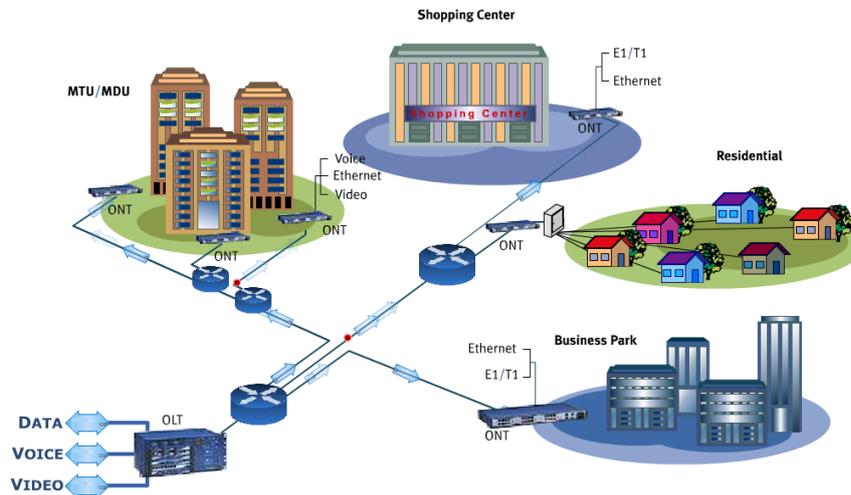


Figura 41 – Active Optical Network [5]

Neste tipo de redes os sinais são enviados apenas para os utilizadores a que se destinam, sendo que os equipamentos de distribuição necessitam de *buffers* nas entradas das intersecções, de modo a que os sinais provenientes dos utilizadores não sofram colisões. Seguem-se agora duas arquitecturas deste tipo de solução.

4.2.1 Home-Run Fiber

A arquitectura *Home Run Fiber* apresenta uma topologia ponto-a-ponto, isto é, uma fibra dedicada liga um OLT (*Optical Line Termination*), que se encontra no *Central Office*, a um ONT (*Optical Network Termination*), que se encontra no lado do utilizador. Tanto o OLT como os ONT são equipamentos activos e estão equipados com um laser óptico. O protocolo utilizado é a Ethernet.

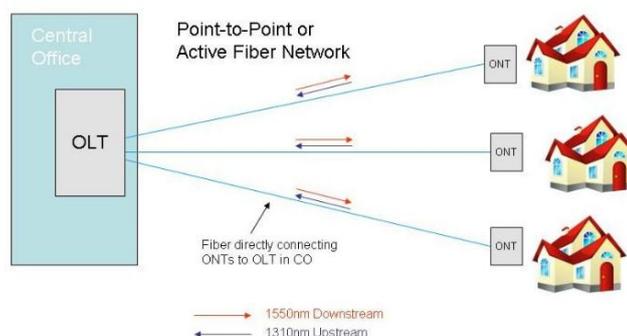


Figura 42 - AON: Home-Run Fiber [14]

Os assinantes podem estar localizados a uma distância de, no máximo, 80 km do OLT, e cada um tem uma fibra dedicada que lhe garante largura de banda completa e bi-direccional. A *Home Run Fiber* é, a longo prazo, a arquitectura mais flexível mas parece menos atractiva devido aos elevados custos associados à camada física. Como cada utilizador tem uma fibra dedicada, esta arquitectura requer a instalação de muito mais fibra que as outras opções. Os custos da fibra e a quantidade de fibra associada a esta arquitectura tornam esta rede demasiado cara e inconveniente para muitos cenários. Outro inconveniente é a necessidade de um porto por utilizador, aumentando assim o investimento em OLT. Por outro lado, quando um utilizador pretende fazer um *upgrade* do sistema, este pode ser realizado individualmente.

Os sistemas disponíveis não permitem a integração da televisão analógica na mesma fibra. Nestes casos, é necessário implementar uma fibra dedicada para a televisão analógica o que leva, mais uma vez, a um aumento dos custos por assinante.

4.2.1.1 Redes P2P vs PON

As redes ponto-a-ponto têm a vantagem de oferecer uma ligação dedicada para cada utilizador, que pode ser actualizada alterando os lasers nas duas extremidades de acordo com o requisitado individualmente. Os *switches* são simples e baratos, pois não necessitam de encriptação de alta velocidade para dividir o tráfego pelos diferentes utilizadores. Por outro lado, apresentam a desvantagem de ser necessário implementar na rede mais fibra, aumentando os custos operacionais. Dedicando uma fibra por utilizador também exige *switches* centrais, com portos dedicados, que leva a um aumento dos custos. Na tabela seguinte é feita uma comparação, por tópicos, desta arquitectura ponto a ponto relativamente a uma arquitectura ponto a multiponto PON.

Tabela 3 - Comparação das redes ponto-a-ponto e redes ponto-a-multiponto PON [15]

	P2P	PON
Planeamento e engenharia	Simples: Uma fibra dedicada por ONU	Complexo: meio partilhado com interdependência entre ONU
Encriptação da informação	Não é requerida	É requerida
Deteção de cortes na fibra	Simples: Uso do OTDR	Normalmente é complexa após o 1º ponto de agregação, à excepção de quando existem ONU com reflectores ópticos.
Velocidade electrónica e óptica da ONU	Opera ao débito oferecido ao utilizador final (ex: 100Mbit/s)	Opera ao débito agregado (ex: 2.5 Gbit/s)
Redes de Acesso Abertas	Suporta facilmente	De suporte difícil , é necessário actuar ao nível lógico
Ligação de um novo cliente	Complexo: é necessário ligar uma nova fibra e configurar o switch	Simples: configuração da OLT
Número de fibras na alimentação e dimensão das condutas	Número de fibras elevado e condutas de dimensões elevadas	Número de fibras reduzido e condutas com áreas menores

4.2.2 Active Ethernet

A solução *Active Ethernet*, também designada por *Ethernet Switched Optical Network* (ESON) é uma arquitectura ponto-a-multiponto onde múltiplos utilizadores partilham uma fibra óptica até a um nó remoto, situado entre o *Central Office* e o utilizador final. No nó remoto são instalados equipamentos electrónicos, como por exemplo *switches* ou *multiplexers*, para realizar a agregação da fibra de acesso. No nó remoto o sinal eléctrico é comutado para o respectivo destino e, por esta razão, é necessário realizar conversões óptico-eléctrico-óptico. O nó remoto pode ser partilhado por múltiplos assinantes através de ligações dedicadas. Tal como na arquitectura *Home Run Fiber*, os assinantes podem estar afastados do CO no máximo 80 km e cada utilizador tem uma fibra dedicada que fornece total largura de banda bi-direccional.

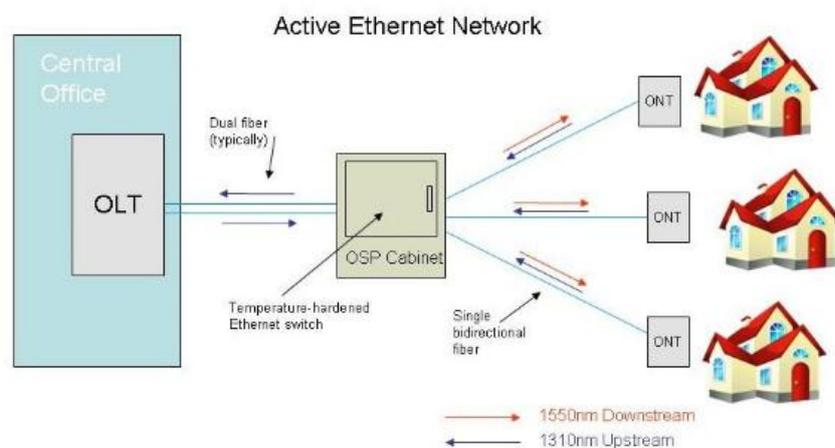


Figura 43 - AON: Active Ethernet [14]

Como entre o CO e o nó remoto a fibra, e a largura de banda, é partilhada por múltiplos utilizadores, a capacidade disponível para cada utilizador é inferior à oferecida pela arquitectura anterior. A arquitectura *Active Ethernet* reduz a quantidade de fibra que é necessário implementar, reduzindo os custos através da partilha de fibra. Esta arquitectura oferece os benefícios das tecnologias ópticas *Ethernet*, topologia de rede muito simples e fornece uma grande flexibilidade para crescimentos futuros.

4.3 Redes Ópticas Passivas Vs Activas

A grande diferença entre as redes ópticas passivas e as redes ópticas activas é efectivamente a necessidade de energia eléctrica na rede de distribuição de acesso, constituída por infraestruturas e equipamentos que distribuem o sinal óptico no segmento de acesso. Enquanto as redes ópticas activas utilizam elementos activos na sua rede de distribuição de acesso, entre o CO e as instalações dos utilizadores, as redes ópticas utilizam elementos passivos que não necessitam de energia eléctrica. Face ao custo e manutenção dos equipamentos activos, é possível concluir que uma rede PON é financeiramente mais atractiva que uma rede AON.

Existe latência nas tecnologias AON comparativamente às redes PON, devido à necessidade da conversão óptico-eléctrico-óptico. A informação recebida nos *switches* das redes AON não é reenviada para todas os utilizadores em broadcast, ao contrário das redes PON. A informação é enviada apenas para o utilizador que a solicitou.

Os equipamentos das redes ópticas activas são mais susceptíveis de avariar, requerendo uma manutenção mais frequente e cuidada, aumentando as despesas necessárias.

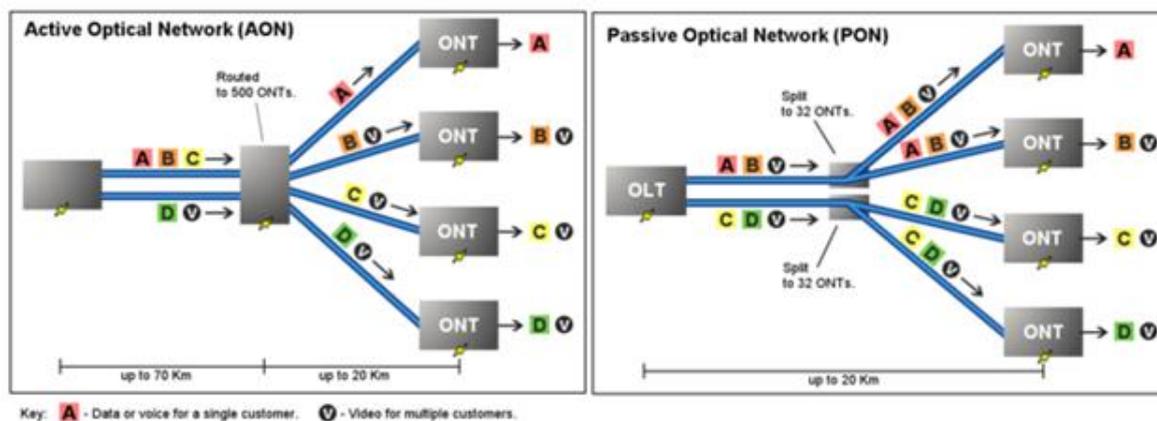


Figura 44 - APON vs PON [16]

5. Cenários Evolutivos das Redes de Acesso de Fibra Óptica

Na figura seguinte está um diagrama temporal que representa a evolução das tecnologias PON ao longo dos anos, em função da velocidade de transmissão de dados oferecida pelos diferentes sistemas, em Bit/s.

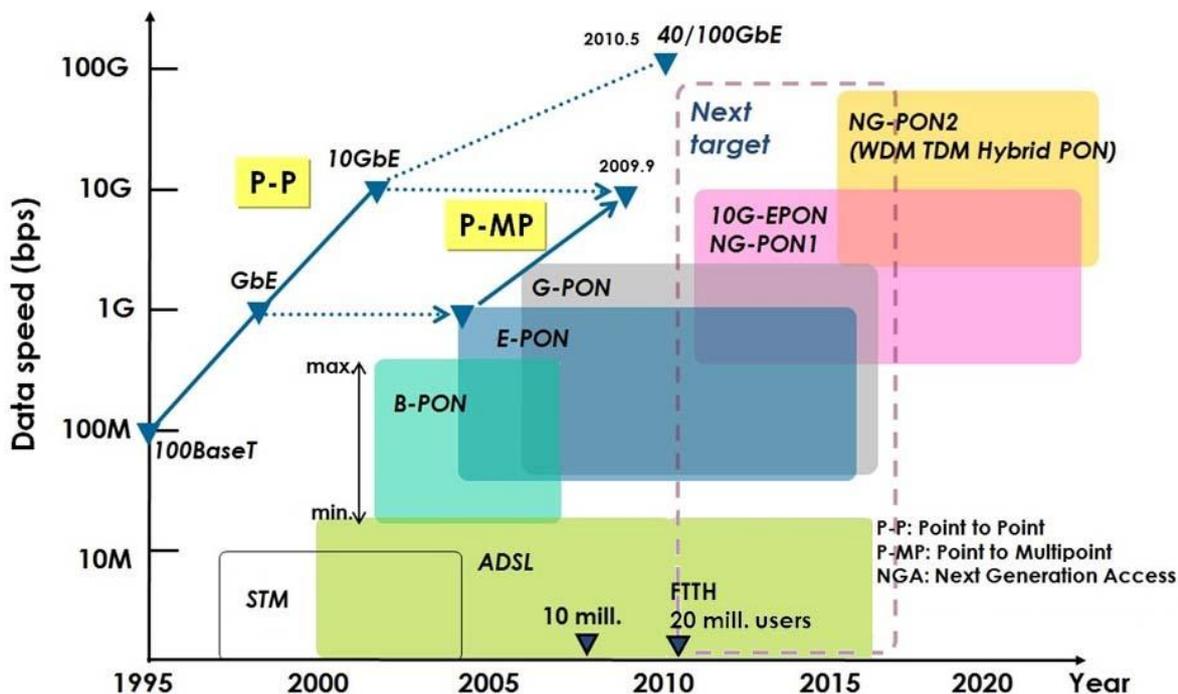


Figura 45 - Cenário de Evolução PON [17]

No diagrama temporal anteriormente representado identificam-se as diferentes tecnologias, o seu ano de surgimento e a duração das mesmas. Verifica-se que a ADSL ainda está enraizada nas nossas redes de acesso. Surgem as tecnologias PON, primeiro a BPON, depois a EPON e a GPON. Com a necessidade de cada vez mais se disponibilizar uma maior largura de banda por utilizador, surgem as tecnologias de nova geração (NG-PON1 e 10G EPON). Estão a ser estudadas e pesquisadas soluções e equipamentos que permitam a implementação das tecnologias NG-PON2, pensa-se que estas poderão ser soluções híbridas WDM e TDM.

5.1 NG-PON

A discussão para os possíveis cenários de migração rumo à *Next-Generation PON (NG-PON)* é aqui apresentada. Por um lado está a evolução de crescimento, determinada pela tecnologia NGPON1, por outro lado está a ser proposta uma mudança revolucionária, NG-PON2.

A tecnologia NG-PON está então dividida em duas categorias: NG-PON1 e NG-PON2. NG-PON1 é uma evolução da GPON que permite que ambas as tecnologias coexistam no mesmo ODN (*Optical Distribution Network*), facilitando a transição gradual entre tecnologias. Desta forma, os clientes individuais podem ser actualizados para NG-PON no mesmo ODN e viver em comunidade com os clientes de G-PON, sem interromper os serviços para outros clientes. No caso da NG-PON2, é proposta uma mudança completamente disruptiva de NG-PON, pelo que não tem qualquer possibilidade de convivência com G-PON no mesmo ODN. Estudos estão a ser realizados, investigações estão a ser feitas e equipamentos novos estão a ser implementados para definir esta nova tecnologia.

Tabela 4 – Comparação de *bit rates* para os canais de comunicação das NG PON.

Canal de comunicação	NG - PON1		NG - PON2
	XG-PON1	XG-PON2	
Ascendente	2.5G Bit/s	10G Bit/s	40G Bit/s
Descendente	10G Bit/s		40G Bit/s

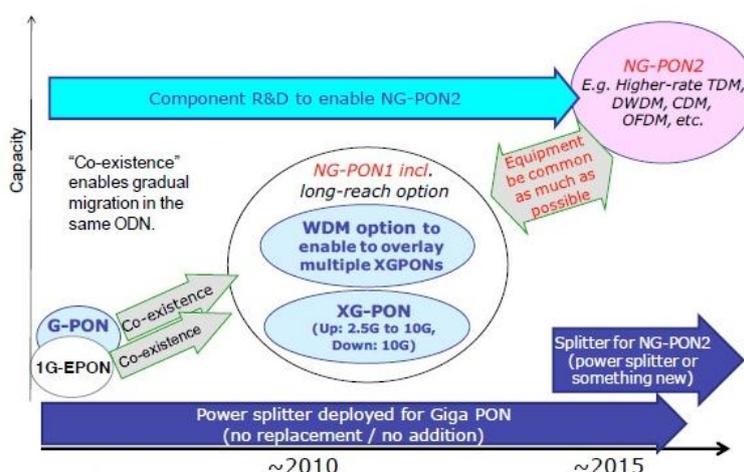


Figura 46 - Representação de uma estimativa da Evolução para NG-PON1 e NG-PON2 [18]

5.1.1 Tecnologias de NG-PON1

Como se verifica na figura anterior, a NG-PON1 possui várias opções de tecnologias, ou seja, existe sobreposição de múltiplos XG-PON ao longo de uma fibra alimentada com múltiplos canais de comprimento de onda. XG-PON representa um sistema PON, com capacidade de pelo menos 10 Gbit/s no sentido *downstream*. Já para *upstream* dependendo das aplicações-alvo, pode ser de 2,5 Gbit/s (XG-PON1) ou simétrica de 10Gbit/s *line rate* (XG-PON2).

5.1.2 Tecnologias de NG-PON2

Como é ilustrado na figura anterior, a tecnologia NG-PON2 é uma solução proposta após NG-PON1 e apresenta-se como sendo uma solução a longo prazo com custo eficaz. NG-PON2 não é restringida por requisitos de coexistência. Existem várias tecnologias candidatas, exemplo dessa tecnologia é a *Dense WDM* (DWDM).

A primeira geração de *splitters* e fibra podem ser partilhados tanto pela G-PON, como pela NGPON1, dada a alocação do espectro óptico. Relativamente a NG-PON2, esta tecnologia pode usar *splitters* e fibras diferentes e futuramente poderá usar diferentes dispositivos no lugar dos actuais *splitters*, como por exemplo os AWG (*Array Waveguide Grating*).

5.2 10GPON

O próximo objectivo dos grupos que estudam as tecnologias nas redes de acesso é aumentar a velocidade de transmissão, sendo este o próximo passo na evolução das PON. Sinergias dos grupos FSAN e ITU-T resultam na especificação de uma nova tecnologia NG-PON1, que visa proteger os investimentos dos operadores na tecnologia GPON. Este novo sistema é implementado em duas fases, permitindo uma migração da tecnologia actual para a XGPON1 e depois para a XGPON2.

A XG-PON1, mais conhecida como 10GPON, é uma tecnologia definida pela norma ITU-T G.987. Oferece novos serviços e é baseada na tecnologia GPON já desenvolvida e implementada. De maneira a facilitar a sua implementação, evitando custos muito elevados, pretende-se reutilizar estruturas e dispositivos. Surge na necessidade de aumentar a capacidade, o alcance e o *split ratio* existente, assim como corrigir *optical troubleshooting*. [18]

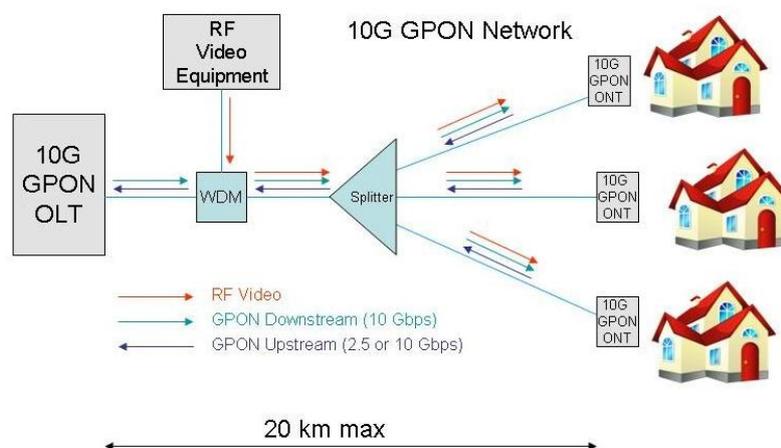


Figura 47 - Arquitectura 10G GPON [19]

São definidos dois modelos na camada física de acordo com esta norma:

- **XG-PON1: Asymmetric-rate 10G/2.5G PON:** o canal de comunicação ascendente tem por base a norma ITU-T G.984 (*Gigabit PON*) já implementada que oferece interfaces de 2,5Gbit/s. O canal de comunicação descendente oferece até 10Gbit/s de ritmo de transmissão.
- **XG-PON2: Symmetric-rate 10G/10G PON** suporta recepção e transmissão de dados a operar a 10Gbit/s.

Taxas de transmissão de 10 Gbps envolvem vários desafios técnicos como o controlo da dispersão, sensibilidade dos receptores e questões relacionadas com a potência necessária para taxas tão elevadas.

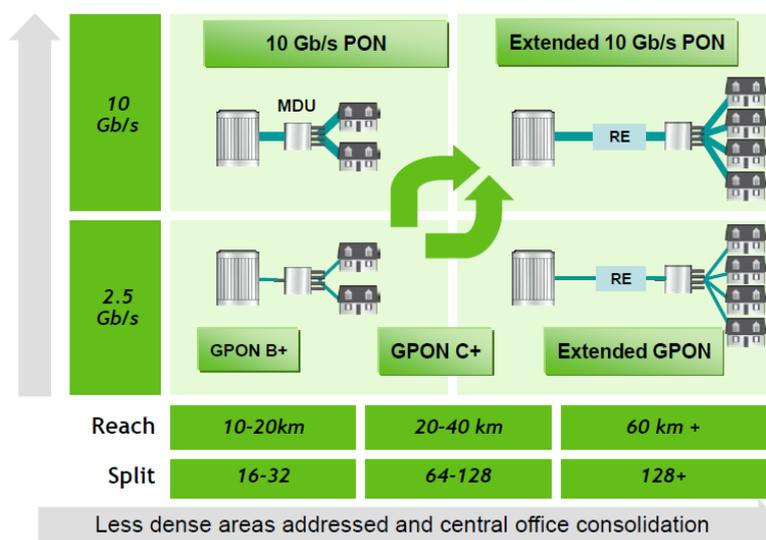


Figura 48 - – Evolução da GPON [18]

Neste cenário de evolução (apresentado na figura anterior) é oferecida, a longas distâncias, uma maior largura de banda e simetria por utilizador, aumentando também o *split ratio*.

Existem dois cenários de migração possíveis, ou evoluir primeiro a capacidade da rede, mantendo o *split ratio* e o alcance, e só depois evoluir para uma arquitectura de longa distancia e de *split ratio* superior; ou evoluir para uma arquitectura de longo alcance e de *split ratio* elevado e só depois aumentar a capacidade da rede.

5.2.1 XG-PON Architecture

As redes de acesso ópticas podem ser activas ou passivas e as suas arquitecturas podem ser ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto. A tecnologia XGPON1, evolução da tecnologia GPON, suporta diferentes cenários que são apresentados na figura seguinte. Desde aplicações como a FTTH (*Fiber to the home*), FTTCcell (*Fiber to the cell*), FTTB (*Fiber to the Building*), FTTCurb/Cab (*Fiber to the Curb/Cabinet*) e FTTO (*Fiber to the Office*).

Na figura seguinte, a rede de distribuição óptica (ODN) é comum a todas as arquitecturas.

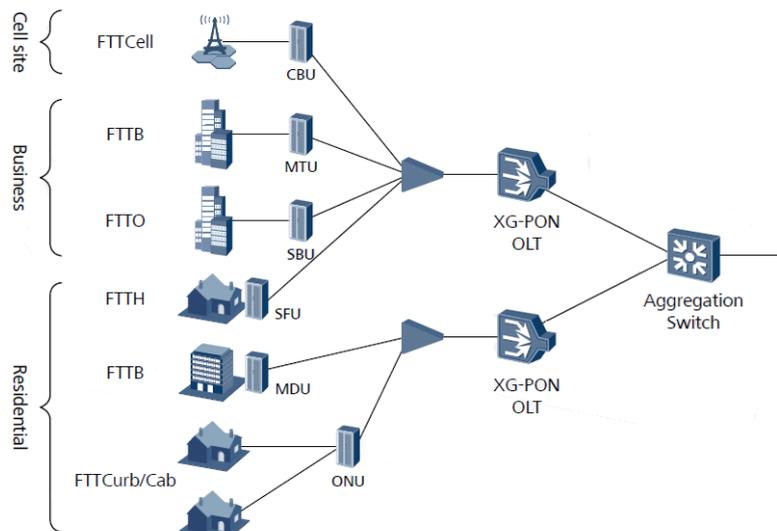


Figura 49 – Cenários de aplicação da XG-PON1 [42]

Actualmente estão a ser implementadas em todo o mundo as tecnologias GPON e EPON. Com a necessidade cada vez maior de largura de banda por parte de consumidores e aplicações de negócio, este é um requisito geral para uma próxima geração de redes de acesso. Além disso, devido ao grande investimento gasto em tempo e dinheiro na implementação da GPON, as NG-PON devem ter como requisito, nesta primeira fase, a coexistência de G-PON com XG-PON e promover uma migração suave dos clientes.

Existem dois cenários de migração possíveis para atender às necessidades dos operadores de serviços:

- Cenário de migração PON *brown field*;
- Cenário de migração PON *green field*.

5.2.1.1 **Cenário de migração PON brown field**

O cenário de migração PON *brown field* refere-se a um cenário onde um sistema PON já foi implementado e os operadores de rede decidem aproveitar todas as infraestruturas existentes para fazer um *upgrade* da tecnologia actual para a sua evolução. Neste caso concreto, a tecnologia implementada é a GPON e a sua primeira evolução será a XGPON. Alguns clientes da GPON podem exigir uma actualização do ritmo de transmissão, passando assim para o sistema XG-PON, enquanto outros clientes permanecem no sistema GPON. Em determinada altura, alguns operadores de rede podem, eventualmente, executar uma migração “forçada” da GPON para a XG-PON quando esta for extinta.

Os requisitos gerais para este cenário são:

- A coexistência entre a GPON e a XG-PON na mesma fibra, no mesmo ODN;
- A interrupção de serviços para os clientes que ainda não migraram deve ser minimizada;
- O XG-PON deve suportar/emular todos os serviços da GPON no caso de uma migração completa.

5.2.1.2 **Cenário de migração PON green field**

Este cenário propõe a renovação da rede de acesso à infra-estrutura FTTx; é o maior investimento dos operadores de redes de telecomunicações e pode levar muito tempo até que seja implementado. Neste cenário, a exigência de coexistência com a GPON não é necessária.

5.2.2 XG-PON/GPON Co-existence

A coexistência da tecnologia GPON, actualmente em vigor, com a sua evolução 10GPON é necessária para que se dê uma migração suave e de baixo custo. A reutilização de infraestruturas, de equipamentos é imperativa para proteger os investimentos dos operadores feitos na tecnologia GPON.

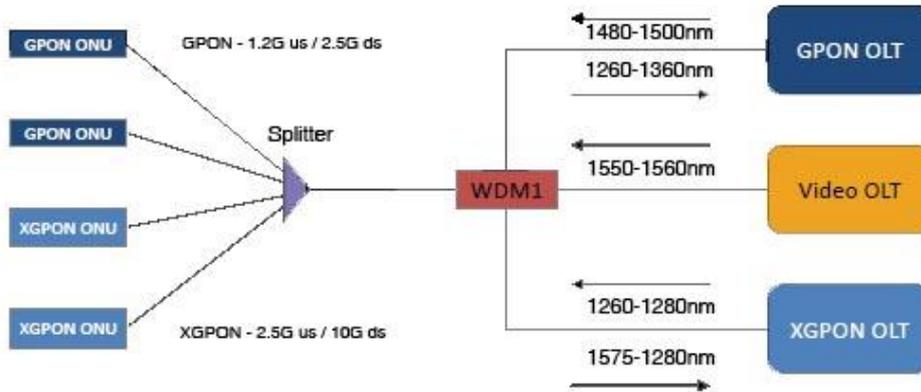


Figura 50 - – GPON and XG-PON Co-existence [43]

Podem existir diferentes arquitecturas para que a coexistência entre as tecnologias: GPON, XGPON (1 ou 2) seja possível, até mesmo para que os serviços de vídeo continuem activos num mesmo ODN. As figuras seguintes são diagramas de referência de arquitecturas de uma rede óptica de acesso.

São usados *wavelength blocking filters* (WBF) e *wavelength division multiplexers* (WDM) para que a GPON, XGPON1 ou XGPON2 e vídeo partilhem o mesmo ODN. Os equipamentos WDM têm a função de combinar/isolar os comprimentos de onda das diferentes tecnologias (GPON, XGPON1 ou XGPON2) assim como os comprimentos de onda para *video broadcasting* tanto no sentido ascendente como no sentido descendente, estando por isso situados quer nas OLT (no *central office*) como nos equipamentos terminais dos utilizadores (CPE), exactamente nas ONU. Existem nas ONU os WBF que são filtros de comprimentos de onda que interferem com os sinais enviados para o receptor (Rx) que também podem ser sinais de vídeo (V-Rx).

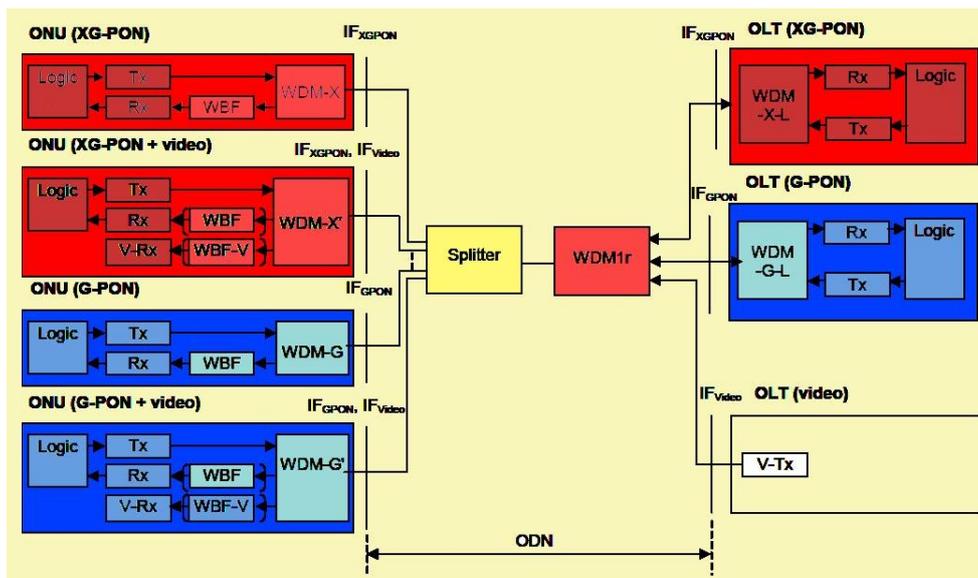


Figura 51 – Configuração óptica de referência para a coexistência da XGPON com a GPON através do WDM1r [10]

Na figura anterior está uma configuração óptica de referência para a coexistência da XGPON com a GPON através do recurso aos equipamentos anteriormente mencionados (WBF e WDM) e ainda a um *wavelength division multiplexer* denominado de WDM1r. O equipamento WDM1r, com a mesma função que os outros WDM, pode estar localizado na *Central Office*.

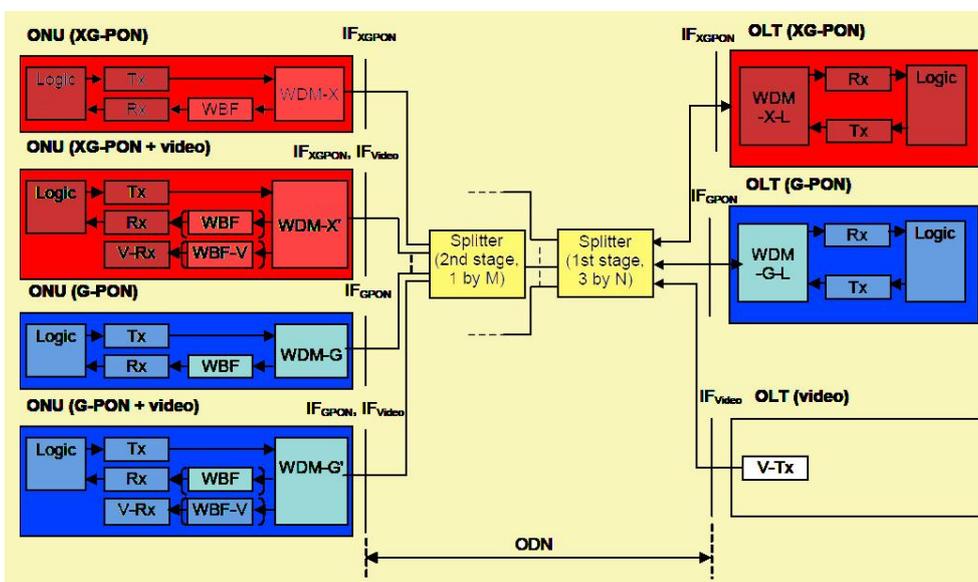


Figura 52 – Configuração óptica de referência para a coexistência da XGPON com a GPON através de *splitters* [10]

Na figura anterior está uma configuração óptica de referência para a coexistência da XGPON com a GPON através do recurso aos equipamentos anteriormente mencionados (WBF e WDM) e ainda vários níveis de *splitagem*. O primeiro ponto de agregação (equivalente ao primeiro nível de *splitagem*) vai ser de 3:N, onde os sinais das OLT (GPON, XGPON e Vídeo) vão ser divididos por N. O segundo ponto de agregação (equivalente ao segundo nível de *splitagem*) vai ser de 1:M utilizadores finais.

5.2.3 10GPON/GPON Mecanismos de Transmissão

Os mecanismos implementados vão ser baseados na multiplexagem no tempo, TDM no sentido de *downstream*. No sentido de *upstream* são implementados mecanismos de acesso múltiplo (TDMA) ao meio partilhado por todos os utilizadores, independentemente da tecnologia que está implementada.

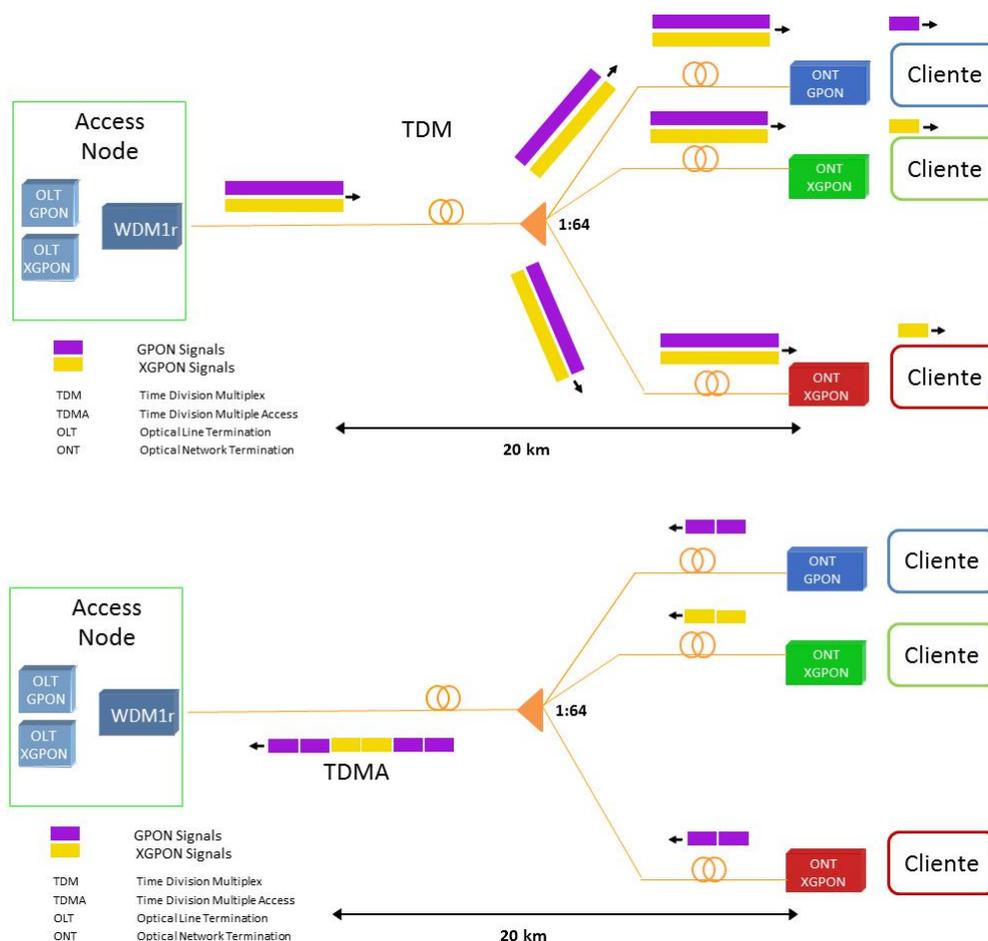


Figura 53 – Canais de Comunicação GPON/10GPON [47]

Os sinais de cor roza são os sinais GPON e de cor amarela são os sinais XGPON. No caso de se tratar de um cliente GPON, este recebe e envia sinais GPON (cliente de cor azul). No caso de se tratar de um cliente XGPON1, recebe sinais XGPON e envia sinais GPON (cliente de cor vermelha). No caso de se tratar de um cliente XGPON2, este recebe e envia sinais XGPON (cliente de cor verde). Trata-se então da coexistência de várias tecnologias na mesma rede de distribuição de acesso, que só é possível uma vez que as diferentes tecnologias operam a frequências diferentes. No canal de comunicação no sentido descende, vai estar implementado um *WDM Combiner* (WDM1r) que combina os sinais emitidos a frequências diferentes, provenientes de diferentes OLT que correspondem a diferentes tecnologias.

5.2.4 10GPON/GPON Wavelength allocation

No caso da tecnologia GPON, a transmissão no sentido descendente de 2,5Gbit/s é limitada à banda de 1480nm-1500nm e a transmissão no sentido ascendente é limitada à banda de 1260nm a 1360nm.

No caso da tecnologia 10GPON, a transmissão no sentido descendente de 10Gbit/s é limitada à banda de 1575nm-1580nm e a transmissão no sentido ascendente é limitada à banda de 1260nm a 1280nm. No sentido ascendente as bandas que delimitam as respectivas transmissões sobrepõem-se permitindo a partilha desta região do espectro caracterizada por uma baixa dispersão cromática. Esta partilha requer uma separação no domínio do tempo para os dois canais (TDMA).

A gama de 1550nm a 1560nm é reservada para vídeo.

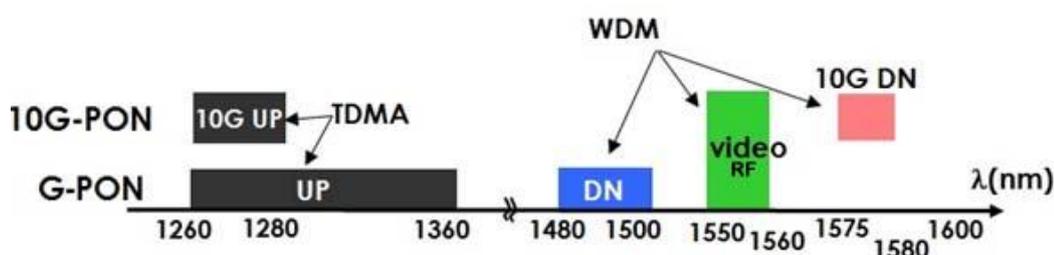


Figura 54 - 10G-PON/G-PON Wavelength Allocation G-PON and 10G-PON [17]

5.2.5 10GPON/GPON Dual Mode Operation

Num cenário de evolução que permita a coexistência entre a tecnologia actual GPON e a sua evolução 10GPON existem vantagens significativas:

- Reduz custos de OpEx e CapEx associados, reutilizando infraestruturas e componentes;
- Processo de migração gradual, *upgrade* do OLT e só depois o *upgrade* do ONU de acordo com o solicitado, mantendo o mesmo ODN;
- Uso de ONU com relação custo/eficiência requerido para a tecnologia desejada individualmente;
- Os serviços não são interrompidos durante o processo de migração para a nova tecnologia;
- Uso do mesmo OAM para uma monitorização intensa da rede;
- Inovação dos serviços, aumento da capacidade de rede, aumento do número de clientes servidos e optimização de sinergias.

5.2.6 Split ratio

Os ODN onde actualmente está implementada a tecnologia GPON foram dimensionados com *split ratio* entre 1:32 até 1:64, *link budget* associado à tecnologia. Este será um requisito mínimo para a XGPON que permitirá a coexistência de ambas no mesmo ODN. Na **Figura 55**, uma arquitectura genérica deste tipo é representada.

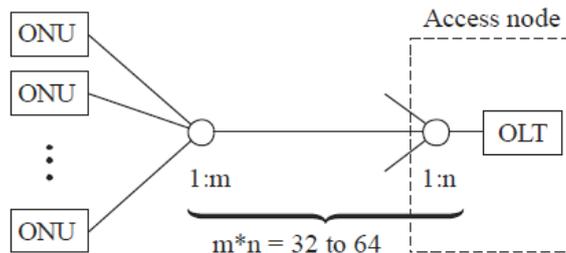


Figura 55 – Arquitectura genérica [10]

Neste modelo existem dois níveis de *splitagem* que aceita qualquer valor inteiro para m ou n , desde que a condição de $m*n = 32$ até 64 se verifique. É preciso especial atenção para quando $m=64$ e $n=1$, uma vez que não é necessário nenhum splitter no *access node*.

Os estudos que estão a ser realizados têm como objectivo aumentar a capacidade de *splitagem* actual da GPON de 1:64 para 1:128 até 1:256 na XGPON.

Um maior nível de *splitagem* permite aumentar a rede óptica passiva até ao *backhaul*, como na arquitectura adoptada na **Figura 56**, e/ou alcançar utilizadores finais a maiores distâncias, visível na arquitectura da **Figura 57**.

Considerando estas topologias, a função de controlo da XGPON TDMA deve ser capaz de suportar 256 ou possivelmente mais utilizadores a nível de *splitagem* lógica. O nível de *splitagem* física deve ser escolhido de acordo com a maturidade e a relação custo-eficiência dos equipamentos ópticos. Para aumentar o *loss budget* podem ser usadas técnicas de aumento de alcance, especialmente quando se pretendem implementar as duas últimas arquitecturas.

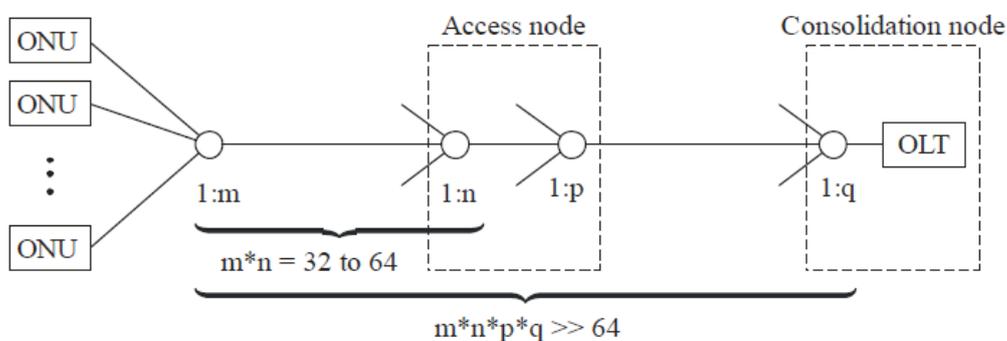


Figura 56 – Suporta split ratio extra para redes de acesso de nível elevado [10]

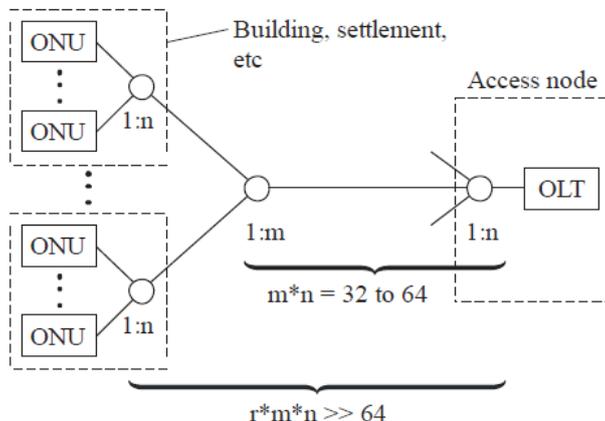


Figura 57 - Suporta *split ratio* extra para redes de acesso de nível baixo [10]

5.2.7 Aumento do Alcance

O objectivo do uso de equipamentos como o *mid-span extender* é fornecer um *link budget* adicional para a optimização das capacidades da tecnologia quer em alcance como em *split ratio*. Permite ainda a implementação de OLT em áreas de baixa densidade populacional.

O uso destes equipamentos não requer qualquer alteração quer nas OLT ou nas ONU.

Nas duas figuras seguintes estão representadas as duas arquitecturas principais que envolvem *reach extenders*. A primeira é adoptada quando se dá a migração da tecnologia GPON para a tecnologia XGPON. A segunda é adoptada quando o aumento do alcance já foi implementado na tecnologia GPON, onde duas situações podem ocorrer: o equipamento utilizado é compatível com as duas tecnologias ou é necessária a sua substituição por um que o seja.

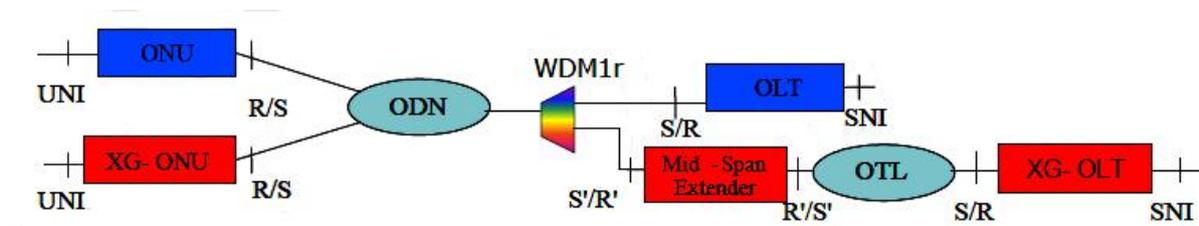


Figura 58 – Aumento do alcance com recurso a XGPON *Mid-Span Extender* [42]

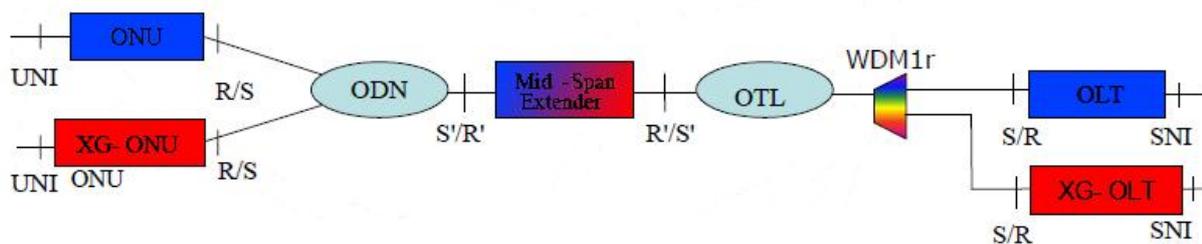


Figura 59 – Aumento do alcance com recurso a GPON e XGPON *Mid-Span Extender* [42]

5.2.8 Comparação das tecnologias GPON e XGPON

Os sistemas GPON e XGPON partilham as seguintes características e mecanismos:

- Princípios de transmissão: Acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) na direcção *upstream* e TDM na direcção *downstream*;
- Alocação dinâmica de largura de banda (DBA);
- Qualidade de Serviço e gestão de tráfego;
- Monitorização remota da ONU pelo OMCI (ONT management and control interface) definido na norma ITU-T G.988.
- Alcance da fibra de 20km (60km a nível lógico);

Por outro lado, as tecnologias em estudo diferem em vários aspectos, como os seguintes:

- Alocação das bandas de comprimentos de onda na direcção *downstream* e *upstream* diferentes;
- O sistema XGPON suporta tanto o modo de transmissão simétrico como o assimétrico;
- *Split ratio* 1:64 (nível lógico 1:128 ou 1:256);
- O recurso ao *Forward Error Correction* (FEC) é obrigatório para todos os canais de transmissão ascendentes e descendentes na tecnologia XGPON;
- O sistema XGPON utiliza mecanismos de segurança superiores, opções de poupança de energia melhoradas e uma monitorização da rede de distribuição mais eficiente;
- O sistema XGPON usa opções de sincronização que permitem *mobile backhaul applications*.

Tabela 5 – GPON vs XGPON

		GPON	XG PON
Standard		ITU-T G.984	ITU-T G.987
Camada MAC	Serviço	Ethernet, Gigabit Ethernet, TDM, POTS, VoIP, IPTV, DigitalTV	Ethernet, Gigabit Ethernet, TDM, POTS, VoIP, IPTV, DigitalTV
	Frame	Frame <i>GEM</i>	Frame <i>XGEM</i>
Camada Física	Alcance	max. 20km a nível físico; max. 60km a nível lógico	min de 20km a nível físico; min de 60km a nível lógico; (max. de 40km diferenciais)
	Split ratio	1:64 (até 1:128 a nível lógico)	1:64 (1:128 até 1:256 a nível lógico)
	Velocidade de transmissão	<i>Upstream: 1.2Gbit/s</i>	<i>Upstream:2.5Gbit/s ou 10Gbit/s</i>
		<i>Downstream: 2.4Gbit/s</i>	<i>Downstream:10Gbit/s</i>
	Comprimento de Onda	<i>Upstream:1260nm-1360nm</i>	<i>Upstream:1260nm-1280nm</i>
		<i>Downstream:1480nm-1500nm</i>	<i>Downstream:1575nm-1580nm</i>
FEC	Opcional	Obrigatório	
Coexistência		RF Video	GPON, RF Video

5.3 10G EPON

Está a ser estudada a tecnologia 10G EPON de acordo com a norma IEEE 802.3av (10Gbit/s *Ethernet-based PON*) como solução à necessidade de uma maior largura de banda nas Redes de Acesso. Baseada na tecnologia EPON, uma vez que partilham protocolos semelhantes, oferece interfaces de 10Gbit/s nos dois sentidos de comunicação. Utiliza o comprimento de onda de 1270 nm para *upstream* e 1577 nm para *downstream*. A evolução para a tecnologia 10G EPON é faseada, permitindo a coexistência das duas tecnologias no mesmo ODN (*Optical Distribution Network*).

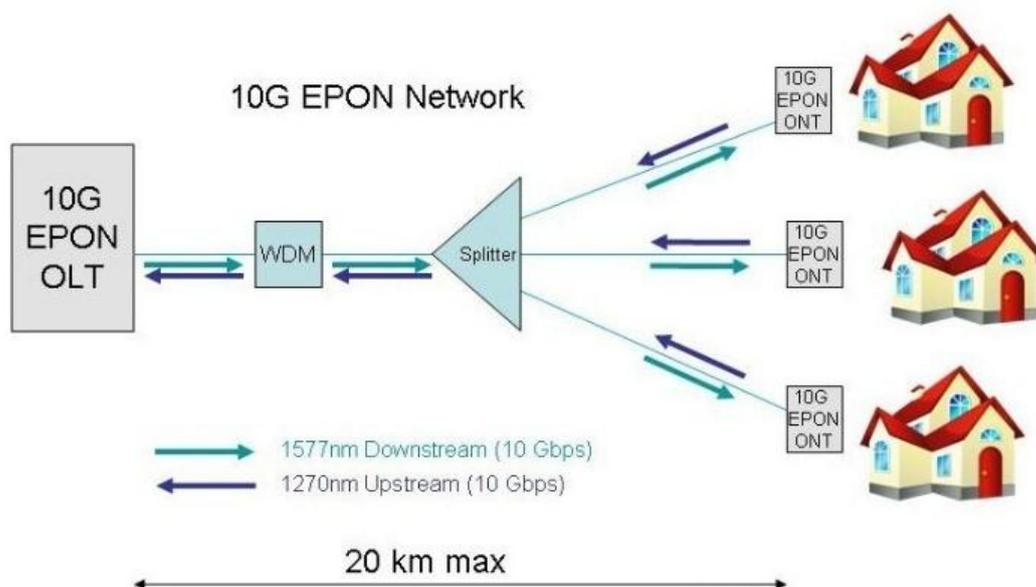


Figura 60 - 10G EPON Network Topology [21]

São definidos dois modelos na camada física de acordo com esta norma:

- **Asymmetric-rate 10G/1G-EPON:** o canal de comunicação ascendente tem por base a norma IEEE 802.3ah (*Ethernet-based PON*) já implementada que oferece interfaces de 1Gbit/s. O canal de comunicação descendente oferece até 10Gbit/s de transmissão baseado no grau de desenvolvimento dos dispositivos ponto-a-ponto da tecnologia *Ethernet*.
- **Symmetric-rate 10G/10G-EPON:** suporta recepção e transmissão de dados a operar a 10Gbit/s. Uma vez desenvolvida e definida a estratégia de configuração de MDU será possível que apenas um EPON ONU consiga ligar até mil utilizadores.

5.3.1 10G/1G EPON Co-existence

De maneira a ser possível uma migração suave e de baixo custo da solução 1G EPON para 10G EPON é necessário que estas duas tecnologias coexistam numa mesma PON. Isto é possível se houver fusão das tecnologias de *coarse wave division multiplexing* (CWDM) e *time division multiplexing* (TDM). Semelhante à EPON, também a 10G EPON se baseia em VOIP para transportar o tráfego de voz e em *Circuit Emulation Service* (CES) para transportar outros pedidos de clientes TDM. [21]

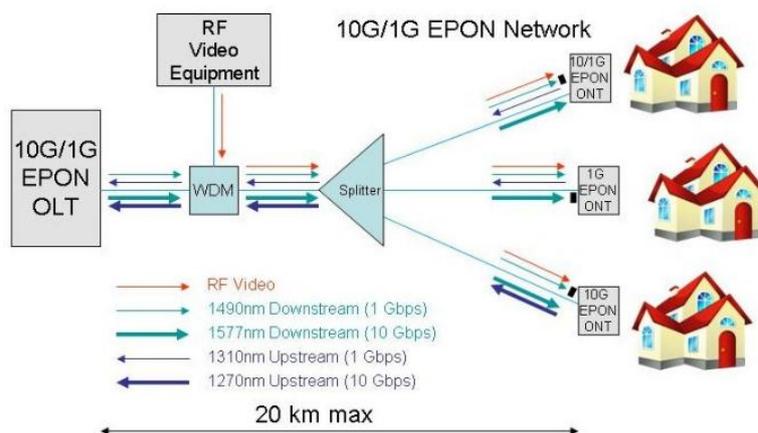


Figura 61 - 10G/1G EPON co-existence Network Topology [21]

A técnica utilizada para separar o tráfego na direcção descendente é a WDM enquanto que no sentido ascendente é necessária uma solução híbrida de WDM e TDM. [21]

5.3.2 10G/1G EPON: Mecanismos de Transmissão

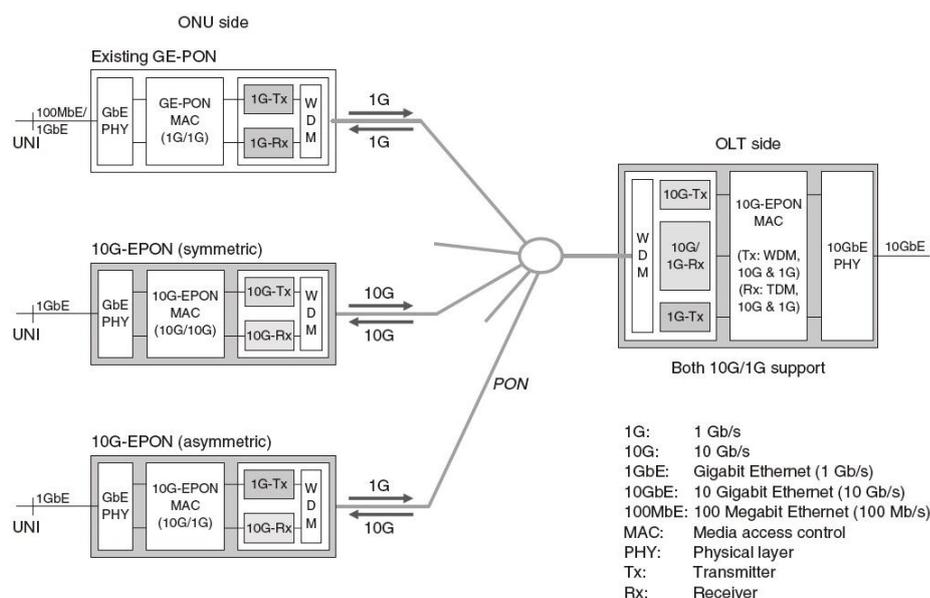


Figura 62 – Mecanismo de transmissão EPON e 10GEPON [49]

Na arquitectura do sistema 10G EPON existem três tipos de ONU, dependendo da fase de evolução em que se encontra o sistema:

- A ONU 1G/1G do sistema EPON, que permite 1Gb/s em ambas as direcções (fase inicial);
- A ONU 1G/10G assimétrica que fornece 1Gb/s na direcção *upstream* e 10Gb/s na direcção *downstream* (fase intermédia);
- A ONU 10G/10G simétrica que proporciona 10Gb/s em ambas as direcções (fase final).

5.3.3 10G/1G EPON: Wavelength Allocation

No sentido descendente os canais de 1Gbit/s e de 10Gbit/s apresentam um domínio de comprimentos de onda distintos. A transmissão de 1Gbit/s é limitada à banda de 1480nm-1500nm enquanto que no caso da transmissão de 10Gbit/s é limitada a transmissão à banda de 1575nm-1580nm.

No sentido ascendente as bandas que delimitam as respectivas transmissões sobrepõem-se permitindo a partilha desta região do espectro caracterizada por uma baixa dispersão cromática. Esta partilha requer uma separação no domínio do tempo para os dois canais. A banda de transmissão de 1Gbit/s é limitada de 1260nm a 1360nm enquanto que a banda de transmissão de 10Gbit/s é limitada de 1260nm a 1280nm.

A gama de 1550nm a 1560nm é reservada para vídeo.

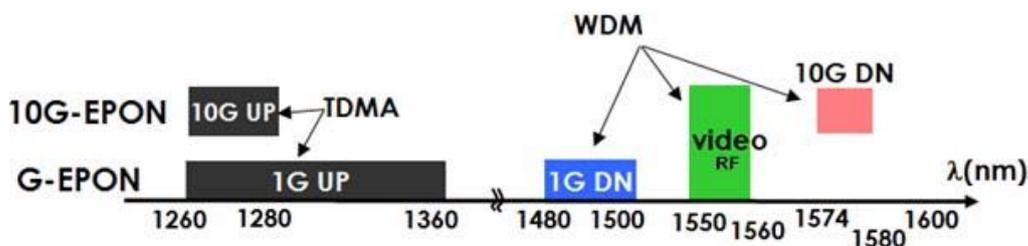


Figura 63 - 10G/1G EPON: Wavelength allocation [17]

5.3.4 10G/1G EPON Dual-Mode Operation

Existem vantagens significativas neste cenário de operação comum entre as duas tecnologias:

- Uso de ONU com relação custo/eficiência requerido para o serviço desejado;
- Os serviços e as operações de rede não são interrompidos durante o processo de migração para a nova tecnologia;

- Processo de migração gradual, *upgrade* do OLT e só depois o *upgrade* do ONU de acordo com o solicitado;
- Reduz custos de OpEx e CapEx associados, reutilizando infraestruturas e componentes;
- Uso do mesmo OAM para uma monitorização intensa da rede;
- Inovação dos serviços, aumento da capacidade de rede e optimização de sinergias.

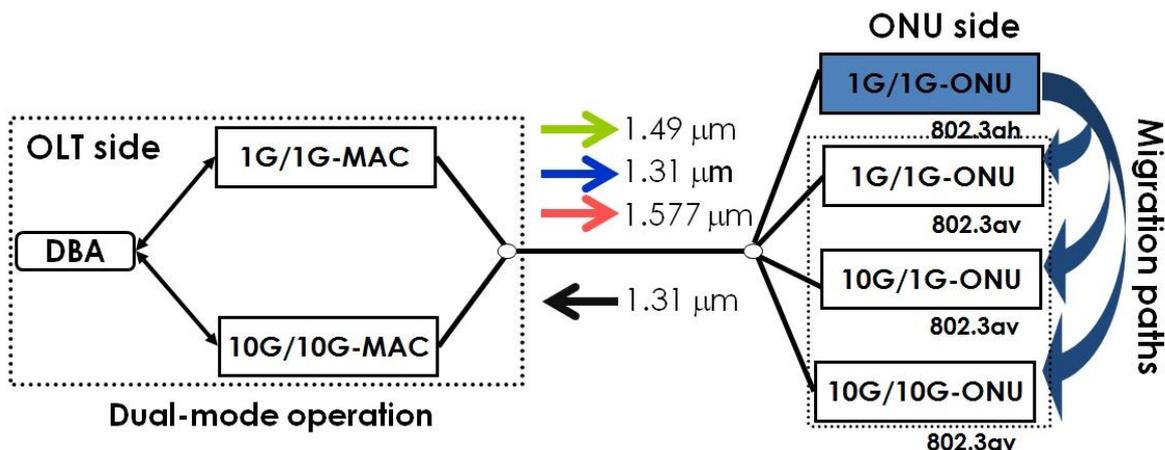


Figura 64 - 10G EPON and 1G EPON co-existence [17]

5.3.5 Comparação das tecnologias 1G EPON e 10G EPON

Os sistemas 1G-EPON e 10G-EPON partilham as seguintes características e mecanismos:

- Transporte de *frames* de dados por *Ethernet*;
- Uma fibra bidireccional com transmissão por multiplexagem por divisão do comprimento de onda (WDM);
- Acesso múltiplo por divisão de tempo na direcção *upstream* (TDMA) e sinal contínuo na direcção *downstream*;
- Alcance da fibra de 20km ou mais;
- A partir de 16 ramos.

Por outro lado, diferem em vários aspectos, como os seguintes:

- Alocação das bandas de comprimentos de onda na direcção *downstream* e *upstream* diferentes;
- O sistema 10G-EPON suporta tanto o modo de transmissão simétrico como o assimétrico
- O recurso ao *Forward Error Correction* (FEC) é obrigatório para todos os canais que operam a um ritmo de 10Gbit/s [21], enquanto na EPON é facultativo.

Tabela 6 – EPON vs 10G EPON

		EPON	10G EPON
Standard		IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av
Classes		PX10/PX20	PX10/PX20/PX30 (simétrico) PRX10/PRX20/PRX30 (assimétrico)
Camada MAC	Serviço	Dados <i>Ethernet</i>	Dados <i>Ethernet</i>
	Frame	Frame <i>Ethernet</i>	Frame <i>Ethernet</i>
Camada Física	Alcance	10km ou 20km	10km ou 20km
	<i>Split ratio</i>	1:16 ou mais	1:16 ou 1:32 ou mais
	Velocidade de transmissão	<i>Upstream</i> : 1.25Gbit/s	<i>Upstream</i> :1.25Gbit/s ou 10Gbit/s
		<i>Downstream</i> : 1.25Gbit/s	<i>Downstream</i> :10Gbit/s
	Comprimento de Onda	<i>Upstream</i> :1260nm-1360nm	<i>Upstream</i> :1260nm-1280nm (10G/bs)/PR suporte
		<i>Downstream</i> :1480nm-1500nm	<i>Upstream</i> :1260nm-1360nm (10G/bs)/PRX suporte <i>Downstream</i> :1575nm-1580nm (10G/bs)/PR/PRX suporte
FEC	Opcional	Obrigatório	
Coexistência		--	EPON, <i>video broadcasting</i>

5.4 LR-PON

Long Reach PON representam o próximo passo na evolução das redes de acesso ópticas, capazes de fornecer serviços com elevados requisitos de largura de banda.

As redes PON são uma solução eficiente para o problema de largura de banda, que ainda não é muito elevada nas redes de acesso actuais. Na arquitectura PON há uma única fibra a ligar o *Central Office* ao nó de acesso perto das residências dos utilizadores. Aí a fibra é dividida passivamente em várias fibras individuais que se vão ligar directamente às residências dos utilizadores. As primeiras gerações de PON já estão a ser comercializadas. As tecnologias mais avançadas (GPON e EPON) oferecem 2,5 Gbps ou 1 Gbps *downstream* e 1 Gbps *upstream*, partilhados entre 64 utilizadores através de um *splitter* passivo, utilizando TDMA e com um alcance máximo de 20 km. Estas tecnologias oferecem largura de banda superior à disponível nas redes de cobre tradicionais. No entanto, estas soluções já não são suficientes para satisfazer as necessidades actuais.

Novas investigações têm sido feitas de forma a encontrar soluções de redes mais radicais. Estas soluções utilizam amplificação óptica, têm elevado factor de divisão (aproximadamente 1000) e grande alcance (aproximadamente 100km). Estas são as *Long-Reach* PON (LR-PON), que se destinam a utilizadores individuais, permitindo larguras de banda de até 10 Gbps *upstream* e *downstream*. Estas LR-PON irão substituir os segmentos de acesso e *metro* das redes actuais, constituindo uma única rede integrada de comunicações ópticas. Na imagem seguinte está apresentada a arquitectura da *Long-Reach* PON.

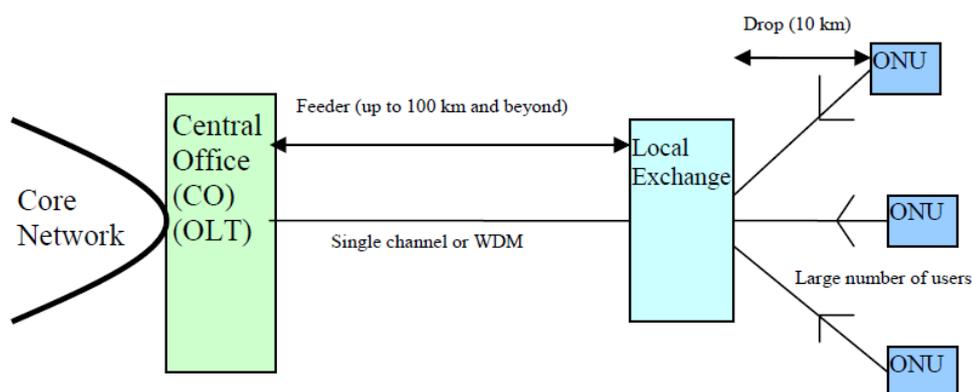


Figura 65 - - Long-Reach PON architecture [22]

Tendo por base os princípios de funcionamento da PON, as redes LR-PON (*Long-Reach* PON) permitem grandes poupanças, levando o alcance físico da rede até à rede nuclear. Este facto elimina a necessidade de equipamento adicional para ligar a rede de acesso à rede *core*, eliminando a rede

metro. Na figura seguinte está esquematizada a visão da arquitectura de rede que se pretende para o futuro.

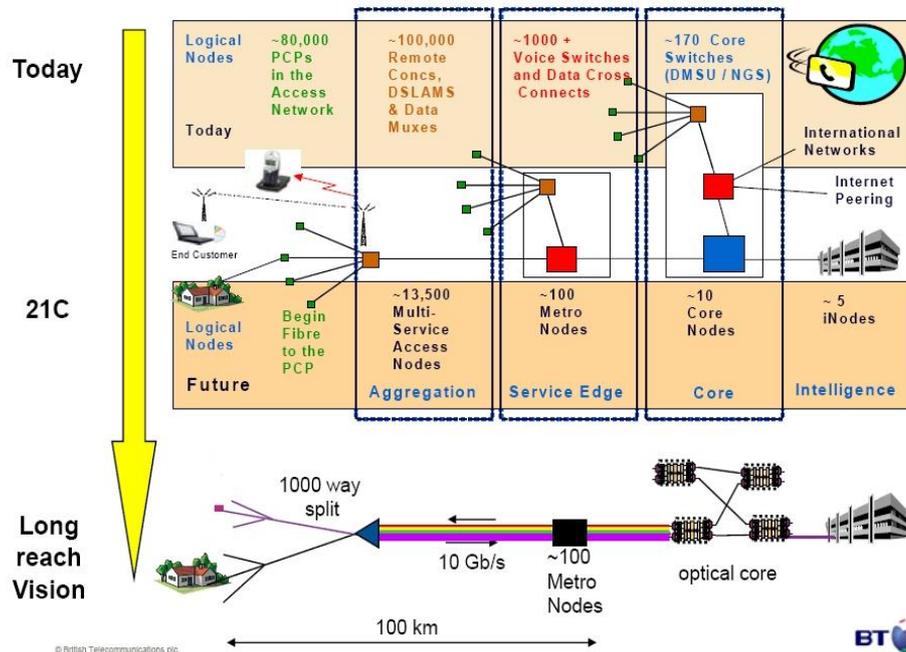


Figura 66 - - Vision of network architectures [23]

Aumentar o alcance da rede pode trazer ainda mais benefícios para os operadores. As redes de telecomunicações são muito complexas contudo, aumentando o alcance da rede de acesso até 100 km, ligando-a directamente à rede *core*, poderá simplificar a rede. Os custos totais da rede são reduzidos pois não existe necessidade de equipamento adicional, tal como anéis SDH para ligar a rede de acesso à rede *core*.

Actualmente a tecnologia que oferece maior capacidade é a GPON, permitindo que taxas de 2,5 Gbps sejam divididas entre 64 utilizadores (no máximo) ao longo de 20 km. Nas redes ponto-a-multiponto, a capacidade da rede é partilhada entre todos os utilizadores. Aumentando o número de utilizadores sem aumentar a taxa de transmissão resultaria numa diminuição de largura de banda que cada utilizador recebe. Aumentar a taxa de transmissão para 10 Gbps iria resolver esse problema, mas seria necessário utilizar transmissores de alta velocidade em cada ONU, aumentando o custo de cada ONU. Para se conseguir implementar uma rede de longo alcance, com as características pretendidas será necessário utilizar equipamentos complexos e sofisticado (e consequentemente caros) como amplificadores ópticos, transmissores de alta velocidade, técnicas de compensação de dispersão, etc. A utilização destes equipamentos irá aumentar consideravelmente os custos de implementação da rede. O custo adicional, associados a estes equipamentos, pode ser reduzido colocando esses equipamentos na secção partilhada da rede, melhorando o seu desempenho. Assim, os equipamentos partilhados podem, ser mais caros, sem que haja um aumento drástico nos custos totais por utilizador. Também será possível aumentar a capacidade da rede, através da utilização de multiplexagem

estatística, aumentando o número de utilizadores para 1024. A capacidade disponível para cada utilizador irá depender da utilização da rede. Como nem todos os utilizadores se encontram activos em simultâneo, a capacidade da rede pode ser partilhada dinamicamente entre os utilizadores activos.

Uma das vantagens das redes LR-PON é a possibilidade de efectuar poupanças significativas nas implementações rurais, através da diminuição do número de C.O. necessários e aumentando a área de cobertura de cada C.O. [4]

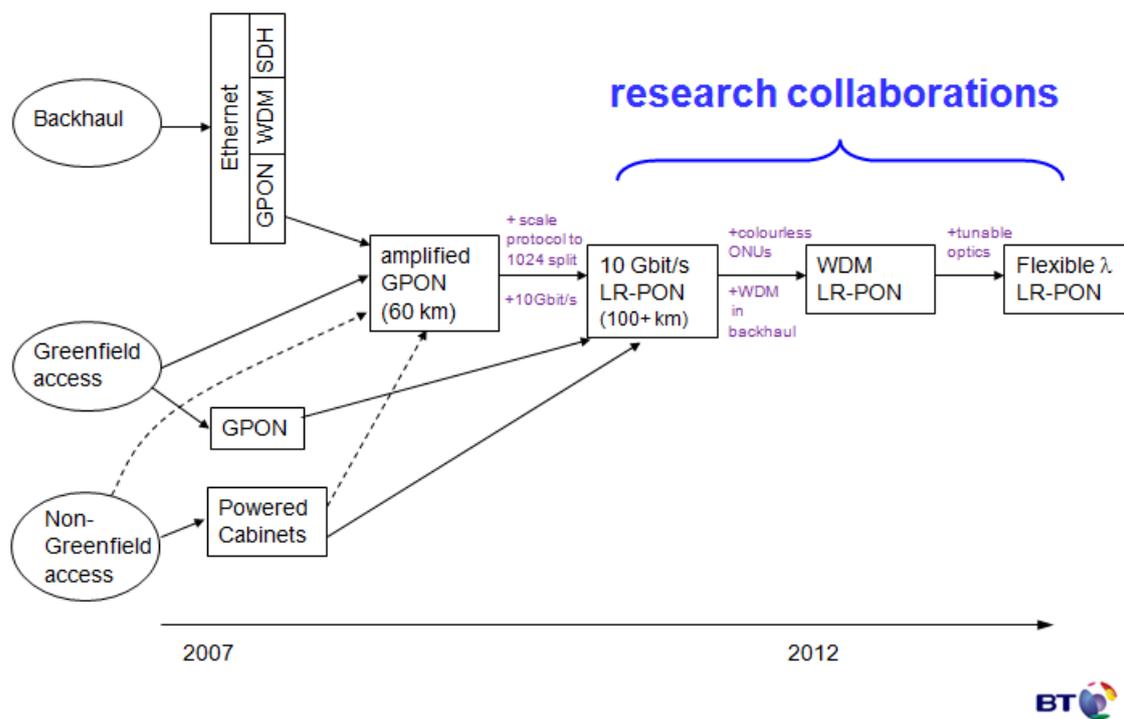


Figura 67 - Research roadmap to Long-Reach PON [24]

5.5 WDM-PON

Outra solução para as PON da próxima geração é baseada na tecnologia WDM. As tecnologias BPON, EPON e GPON têm os mesmos princípios na alocação da largura de banda. Usam o comprimento de onda de 1490 nm para tráfego no sentido descendente e 1310 nm para tráfego no sentido ascendente. O comprimento de onda 1550 nm é reservado para alguns serviços opcionais (sinais RF analógicos). A WDM-PON é um tipo de PON que usa múltiplos comprimentos de onda para aumentar a largura de banda disponível para os utilizadores finais. Enquanto nas tecnologias EPON e GPON se utiliza o conceito de múltiplos acessos por divisão temporal (a cada ONU é atribuído um *timeslot*), na WDM-PON a divisão é feita atribuindo diferentes comprimentos de onda a diferentes utilizadores finais. Na configuração WDM-PON cada ONU tem um comprimento de onda reservado para comunicar com a OLT, permitindo redes ponto-a-ponto numa infra-estrutura PON. As redes WDM-PON podem oferecer maior largura de banda através de distâncias maiores.

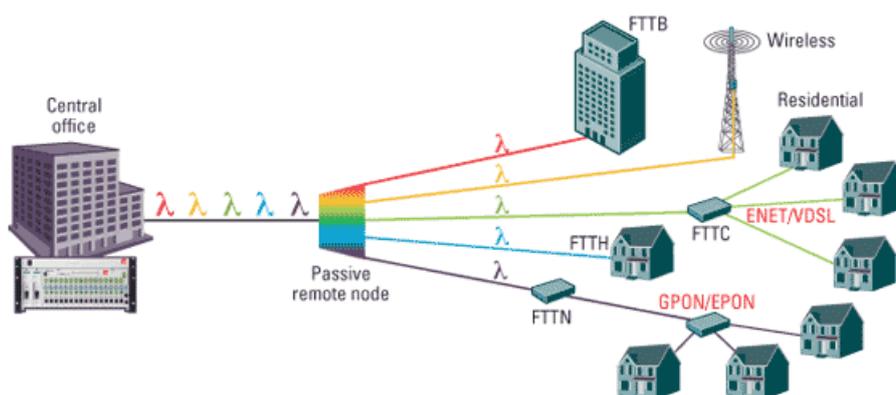


Figura 68 - WDM-PON [26]

O recurso a múltiplos comprimentos de onda pode ser utilizado para separar várias ONU em diferentes PON virtuais que coexistam na mesma infra-estrutura. Em alternativa, os comprimentos de onda podem ser utilizados em multiplexagem estatística, fornecendo uma utilização mais eficiente dos comprimentos de onda e atrasos mais pequenos nos ONU.

Aproveitando as vantagens da WDM, neste tipo de multiplexagem é usado um comprimento de onda para tráfego no sentido descendente e outro para tráfego no sentido ascendente, numa única fibra. Para se enviar sinais do OLT, são utilizados lasers com frequências fixas ou um laser com várias frequências. Todos os ONU recebem todos os comprimentos de onda através de um *splitter* passivo, e para seleccionar a frequência que lhe é destinada, utilizam um filtro. O *splitter* também combina os fluxos *upstream* dos ONU. No caso de existir um AWG (*Array Waveguide Grating*), em vez de um

splitter, este encaminha o sinal óptico que recebe na porta de entrada para uma determinada porta de saída, de acordo com o comprimento de onda do sinal. Vários comprimentos de onda podem ser separados em diferentes portas de saída pelo AWG, que pode ainda combinar vários canais de diferentes entradas para uma mesma saída. A grande vantagem deste dispositivo é que ele pode ser utilizado nas duas direcções em simultâneo, exercendo funções de MUX/DEMUX.[28]

Na figura seguinte está esquematizado o sistema de transmissão da WDM.

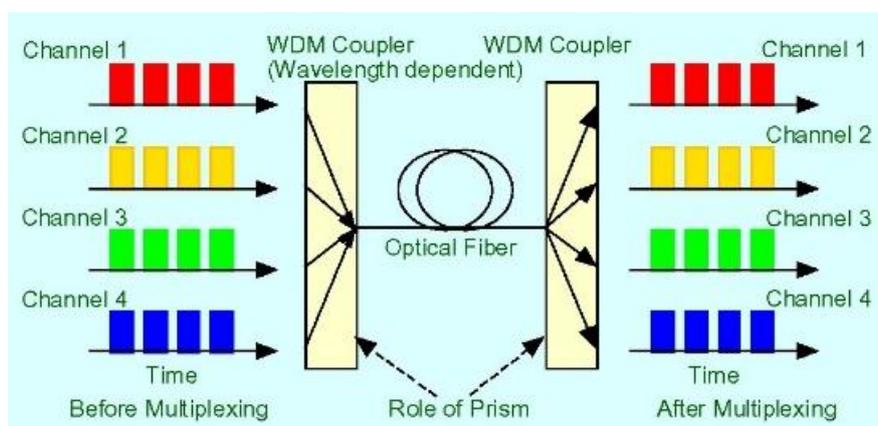


Figura 69 - Wavelength Division Multiplexing (WDM) Transmission [27]

Numa rede WDM-PON, o *splitter* óptico (que divide a potência do sinal) usado nas PON tradicionais, é substituído por um *splitter* de comprimentos de onda. Isto permite que a potência do sinal recebido em cada ONU seja muito mais elevada do que nas redes PON.

Uma das maiores desvantagens das WDM-PON é o facto de ser necessário um transmissor individual para cada ONU, enquanto nas PON tradicionais apenas é necessário um transmissor por cada 32 ou 64 ONT.

Os ONU podem utilizar várias tecnologias para enviar o sinal:

- Lasers sintonizáveis;
- *Broadcast*, o OLT emite um sinal com os comprimentos de onda. Os ONU ao receberem o sinal filtram-no, e acedem apenas ao comprimento de onda que lhes é destinada;
- Utilizar um *Arrayed Waveguide Grating* (AWG).

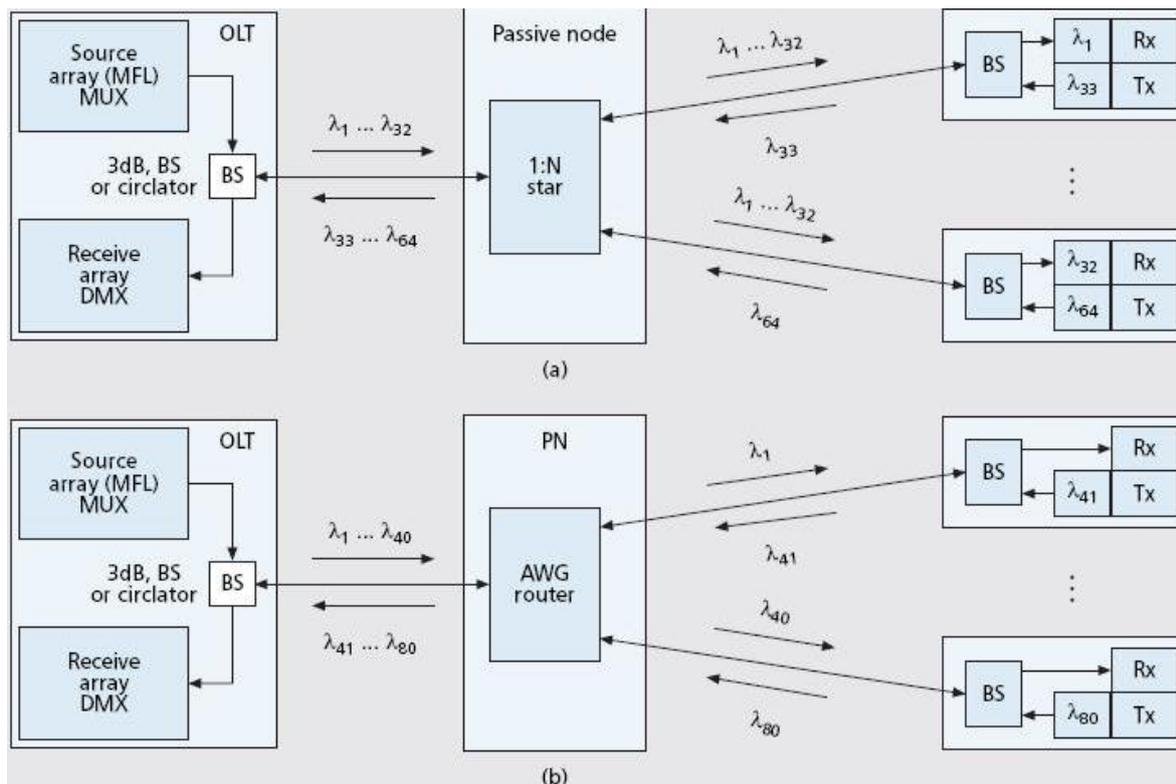


Figura 70 – Topologias da WDM-PON [29]

Na figura anterior estão então representadas, as duas diferentes topologias que podem ser adoptadas na configuração de uma rede WDM-PON. No caso da **Figura 70 a)** foi usado um *splitter*, enquanto que no caso da **Figura 70 b)** foi usado um AWG. Outra vantagem de utilizar um AWG, é ter uma perda de 5dB, enquanto um *splitter* de 1:32 tem perdas de mais 12dB comparativamente, reduzindo o *link budget* do sistema. A desvantagem desta escolha de material será o custo necessário, uma vez que é um equipamento de estrutura muito complexa, onde estão múltiplos guias de onda. Além de actuar com *multiplexer/demultiplexer*, o AWG pode ainda exercer funções de um OADM (*Optical Add-Drop Multiplexer*), OXC (*Optical Cross Connect*) e de compensador de dispersão. [28]

Não existe um padrão definido para as redes WDM-PON, são topologias e arquitecturas que ainda estão a ser estudadas. O que se sabe efectivamente, é que esta tecnologia oferece um grande aumento de capacidade oferecida por utilizador comparativamente a qualquer arquitectura já implementada. A capacidade, quer total da rede, quer por utilizador, vai ser apenas limitada às restrições físicas do equipamento que a constitui. O número de utilizadores que pode ser servido por uma rede WDM-PON é limitado pelo número de portas do AWG em uso.

As redes WDM-PON subdividem-se em duas redes de transporte CWDM (*Coarse-WDM*) e DWDM (*Dense-WDM*). É esperado que até 40 ou mais clientes sejam servidos por uma única fibra de acesso na variante DWDM e 8 no CWDM.[37]

5.5.1 CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)

O CWDM é um sistema WDM de baixa densidade em termos de comprimento de onda. Definido pela norma ITU-T Rec. G.9694.2 na banda óptica de 1271nm a 1611nm, com distância entre canais de 20nm. [10]

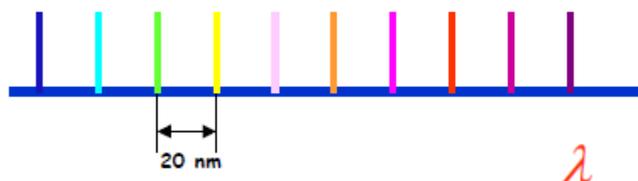


Figura 71 - CWDM: Espaçamento entre canais de 20nm [31]

Amplificação óptica disponível nas bandas O, E e C:

- Banda O (*Original Band*): de 1260nm a 1360nm;
- Banda E (*Extended Band*): de 1360nm a 1460nm;
- Banda C (*Conventional Band*): de 1530nm a 1570nm.[37]

5.5.2 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

Definido pela norma ITU-T Rec. G.694.1, é um sistema WDM de alta densidade, onde o espaçamento entre canais pode ser de 200GHz (1,6nm) ou 100GHz (0,8nm) ou até de 50GHz (0,4nm) [31] numa gama de 1530,04nm a 1624,89nm. [10] Alta capacidade de transmissão por canal, podendo ainda aumentar no futuro.[37] Com o mesmo princípio de funcionamento que a CWDM, podem estar integradas na mesma plataforma. Tem aplicações em redes de longa distância, redes metropolitanas e redes especializadas.

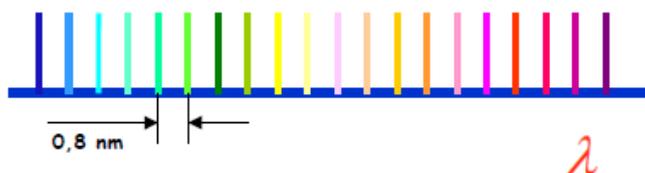


Figura 72 – DWDM: Espaçamento entre canais de 0,8nm [31]

Amplificação óptica disponível nas bandas C e L, com excelente potencial na banda S:

- Banda S (*Short Band*): de 1450nm a 1500nm;
- Banda C (*Conventional Band*): de 1530nm a 1570nm;
- Banda L (*Long Band*): de 1570nm a 1625nm.[37]

5.5.3 CWDM vs DWDM

Uma vez que a CWDM e a DWDM são tecnologias WDM, apresentam o mesmo princípio de funcionamento de combinar vários comprimentos de onda numa única fibra, de forma a aumentar sua capacidade. No entanto, existem algumas diferenças básicas que serão apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 7 – CWDM vs DWDM [37]

	Vantagens	Desvantagens
CWDM	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo reduzido de potência (-20%) • Necessita de menos espaço (-30%) • Pode usar cabo SMF ou MMF • Pode usar LED ou Laser • Grande capacidade de dados por canal • Filtros pequenos e económicos • Poupança de custos no início e na expansão da rede 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor capacidade do que o DWDM • Menor alcance • Regeneração do sinal
DWDM	<ul style="list-style-type: none"> • Disponível máxima capacidade • Maior distância com EDFA • Fácil integração de amplificação óptica • Suporta débitos por ONT muito elevados • Mais de 80 canais 	<ul style="list-style-type: none"> • Os custos iniciais são mais elevados do que no CWDM. <p>Tecnologia complexa que requer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mais espaço e potência; • Lasers e filtros muito precisos; • Amplificadores EDFA dispendiosos;

Os sistemas DWDM requerem que os *lasers* utilizados possuam temperaturas estáveis, além de necessitarem de filtros de banda estreita. A implementação de sistemas DWDM é mais complexa, se comparado com o CWDM.

5.6 Comparação das tecnologias PON

As especificações das diferentes tecnologias PON estão apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 8 – Comparação das diferentes tecnologias PON

		GPON	EPON	10G EPON	XG-PON	NG-PON2	
Standard		ITU G.984	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av	ITU G.987	--	
Camada MAC	Frame	GEM <i>frame</i>	Ethernet <i>frame</i>	Ethernet <i>frame</i>	XGEM <i>frame</i>	--	
	Alcance	20 km (lógico 60km)	20 km	20 km	A partir de 20km	A partir de 20km	
Camada física	Velocidade de transmissão (GBit/s)	Upstream	1.2GBit/s ou 2.4GBit/s	1GBit/s	1GBit/s ou 10GBit/s	XG-PON1: 2,4GBit/S XG-PON2: 10GBit/s	40GBit/S
		Downstream	2.4 GBit/s	1GBit/s	10GBit/s	10GBit/s	40GBit/S
	Comprimento de onda (nm)	Upstream	1260nm - 1360nm	1260nm - 1360nm	1G: 1260nm - 1360nm 10G: 1260nm - 1280nm	1260nm - 1360nm	--
		Downstream	1480nm – 1500nm	1480nm – 1500nm	1575nm – 1580nm	1575nm – 1580nm	--
		Video RF	1550nm - 1560nm	1550nm - 1560nm	1550nm - 1560nm	1550nm - 1560nm	--
	Número de utilizadores		64	16 ou mais	16, 32 ou mais	Mais de 64	Mais de 64
	Custo de desenvolvimento		Médio	Baixo	Elevado	Elevado	--

5.7 Projectos

5.7.1 SARDANA (Scalable Advanced Ring-based passive Dense Access Network Architecture)

A rede SARDANA combina WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) e TDM (*Time Division Multiplexing*) para alcançar uma densidade extra de utilizadores. Esta rede FTTH propõe um transporte de grandes quantidades no sentido *downstream* que é baseado num anel de WDM (2 fibras passivas com protecção +1) e árvores TDM (uso de ONU *colorless*).

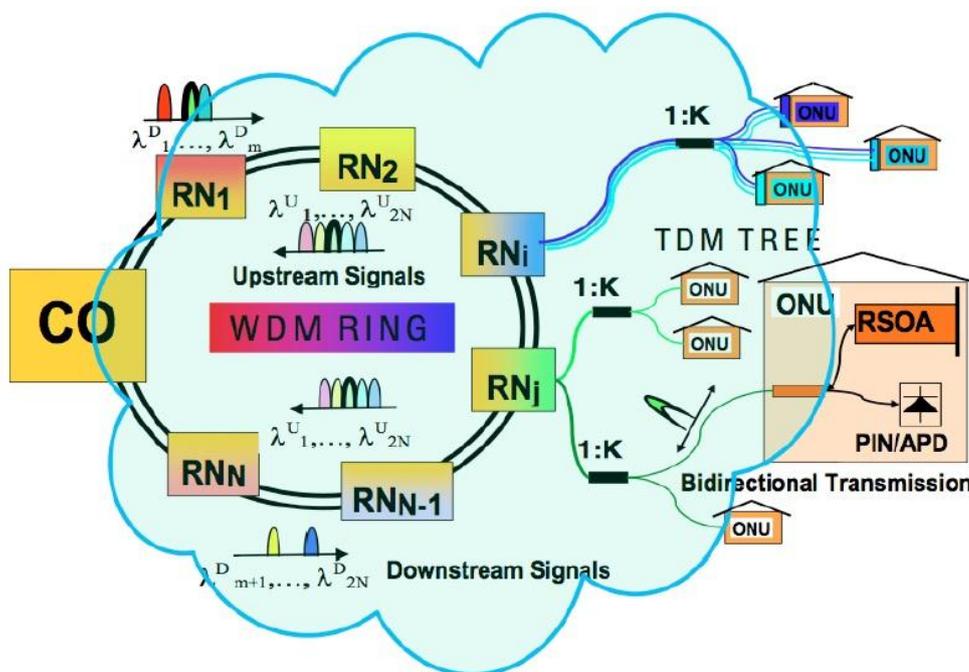


Figura 73 - Arquitectura SARDANA [32]

Os objectivos deste projecto são:

- Maximizar: o número de clientes a servir (1024 utilizadores por fibra), a área que alcança (100km) e a capacidade da rede (10Gbit/s vezes 32);
- Minimizar: os custos das infraestruturas (números de fibras, cabos, armários de rua), o número de áreas activas (reduz gastos) e os investimentos na área da construção civil.
- Deve: ser compatível com a camada MAC da tecnologia em vigor (GPON), ter acesso por meio de uma fibra única, ser escalável e de fácil *upgrade*. Deve ainda apresentar robustez nos mecanismos de protecção e monitorização.[33]

Na rede SARDANA os nós remotos passivos (RN) são implementados em cascata de 2-1 de fibra óptica apresentando funcionalidades de *Add/Drop* e distribuição de comprimentos de onda diferentes para cada uma das árvores de acesso; a amplificação remota é introduzida no RN através de fibras dopadas de *Erbium* de forma a compensar as perdas do *Add/Drop*; os impulsos ópticos para a amplificação remota são feitos por lasers localizados no CO proporcionando um ganho extra de Raman ao longo do anel. Relativamente aos terminais digitais, o projecto SARDANA propõe-se a reutilizar, tanto quanto possível, o equipamento *standard* GPON da próxima e actual versão 10G, efectuando uma sobreposição quase transparente entre as camadas TDM e WDM.

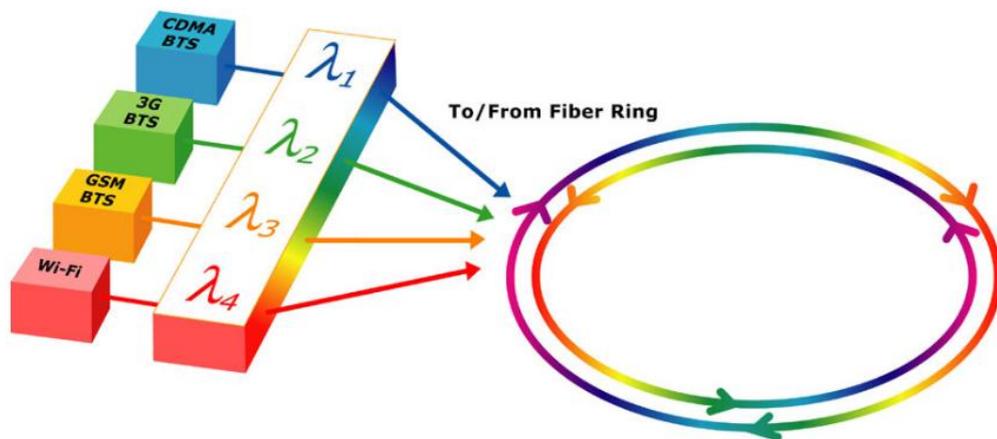


Figura 74 – Multi-Operadores [34]

Este projecto pretende adoptar uma estratégia de partilha de infraestruturas multi-operador, assim como contribuir para a elaboração de *standards* da nova geração FTTH.[33]

5.7.2 PIEMAN (Photonic Integrated Extended Metro and Access Network)

Cada vez mais, na rede de acesso, se encontra a insaciável necessidade de querer sempre uma maior largura de banda dedicada leva a que a optimização das redes actuais se torne muito dispendiosa.

O sistema de fibra óptica que começou a ser desenvolvido no IST, no projecto PIEMAN, centraliza o seu estudo na camada física com objectivo de projectar uma rede óptica futura de maior alcance e maior capacidade de largura de banda. Este projecto permitirá que os clientes individuais acessem directamente a larguras de banda até 10Gbit/s em ambos os canais de comunicação (ascendente e descendente). Pretende-se um aumento do alcance óptico por 100km utilizando amplificadores ópticos, excluindo as conversões óptico-eléctrico-óptico em nós intermediários.

Este projecto propõe a construção de um sistema de comunicações fotónicas (*photonic*) que integre a rede de acesso e a rede metro num único sistema, simplificando as redes actuais e reduzindo os custos em serviços para os clientes. Baseado numa solução híbrida de WDM/TDMA, o comprimento de onda de 10Gbit/s é partilhado no máximo por 512 clientes. O recurso a DWDM consegue uma melhor eficiência da fibra óptica até 32 comprimentos de onda, cada um suportando 10Gbit/s. [36]

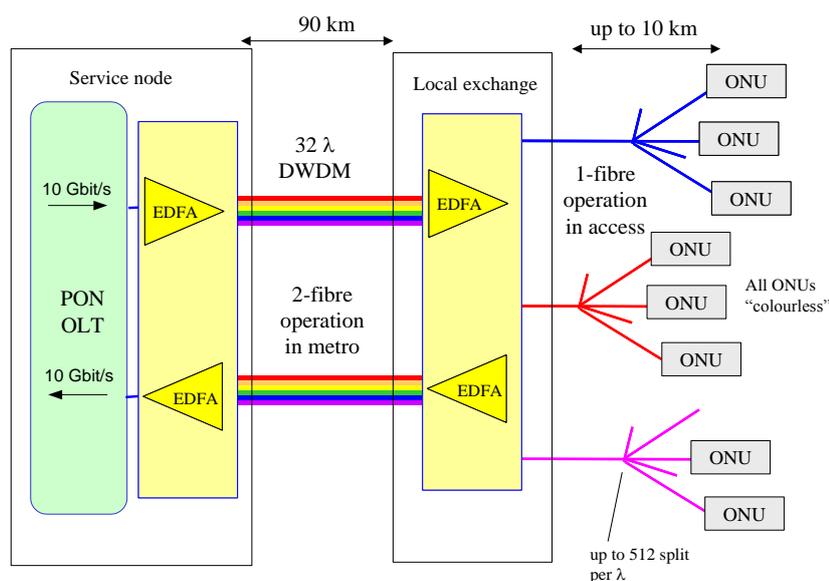


Figura 75 – Vista de alto nível da arquitectura do PIEMAN [24]

A figura anterior mostra uma vista de alto-nível da arquitectura do sistema PIEMAN. A arquitectura PIEMAN irá suportar FTTx e será capaz de alimentar arquitecturas híbridas como a FTTC. O foco do projecto PIEMAN é na camada física, onde se encontram grandes desafios. [36]

5.7.2.1 Canal de comunicação no sentido Descendente

Nesta configuração do canal de comunicação no sentido descendente, podemos observar que o sinal WDM do OLT é primeiro re-amplificado após 90Km de fibra *standard* de *single mode*,

desmultiplexado por um AWG (*Arrayed Waveguide Grating*) em comprimentos de onda únicos e amplificado por um EDFA (*Erbium-doped Fiber Amplifier*) de comprimento de onda único.

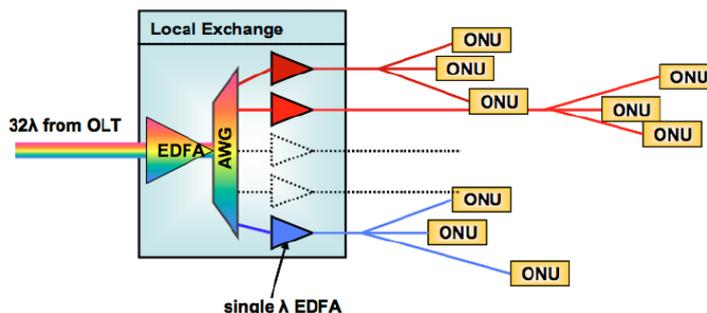


Figura 76 – Local para a colocação do nó de troca de amplificador no PIEMAN para a direcção de *downstream*. [36]

Esta foi a configuração escolhida, uma vez que fornece a melhor relação custo/desempenho em comparação com as outras alternativas propostas (um poderoso EDFA antes de AWG ou tendo amplificadores de comprimentos de onda únicos depois do AWG).

5.7.2.2 Canal de comunicação no sentido Ascendente

Para o canal de comunicação no sentido de *upstream*, a solução escolhida consiste em amplificar cada comprimento de onda com um EDFA dedicado, antes de ser multiplexado pelo AWG.

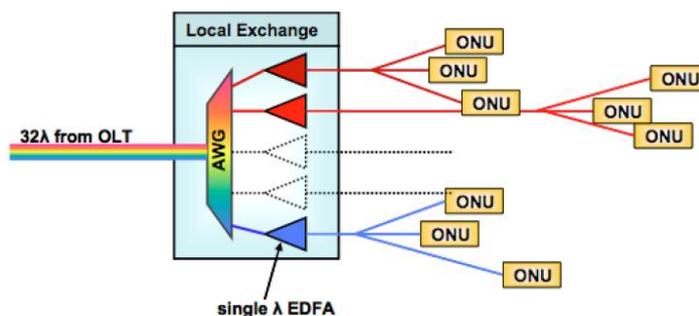


Figura 77 - Local para a colocação do nó de troca de amplificador no PIEMAN para a direcção de *upstream*. [36]

6. Análise Tecno-Económica de Soluções de Rede

6.1 Metodologia

A análise efectuada às várias soluções consideradas recorreu a uma ferramenta de cálculo com a estrutura representada na seguinte figura:

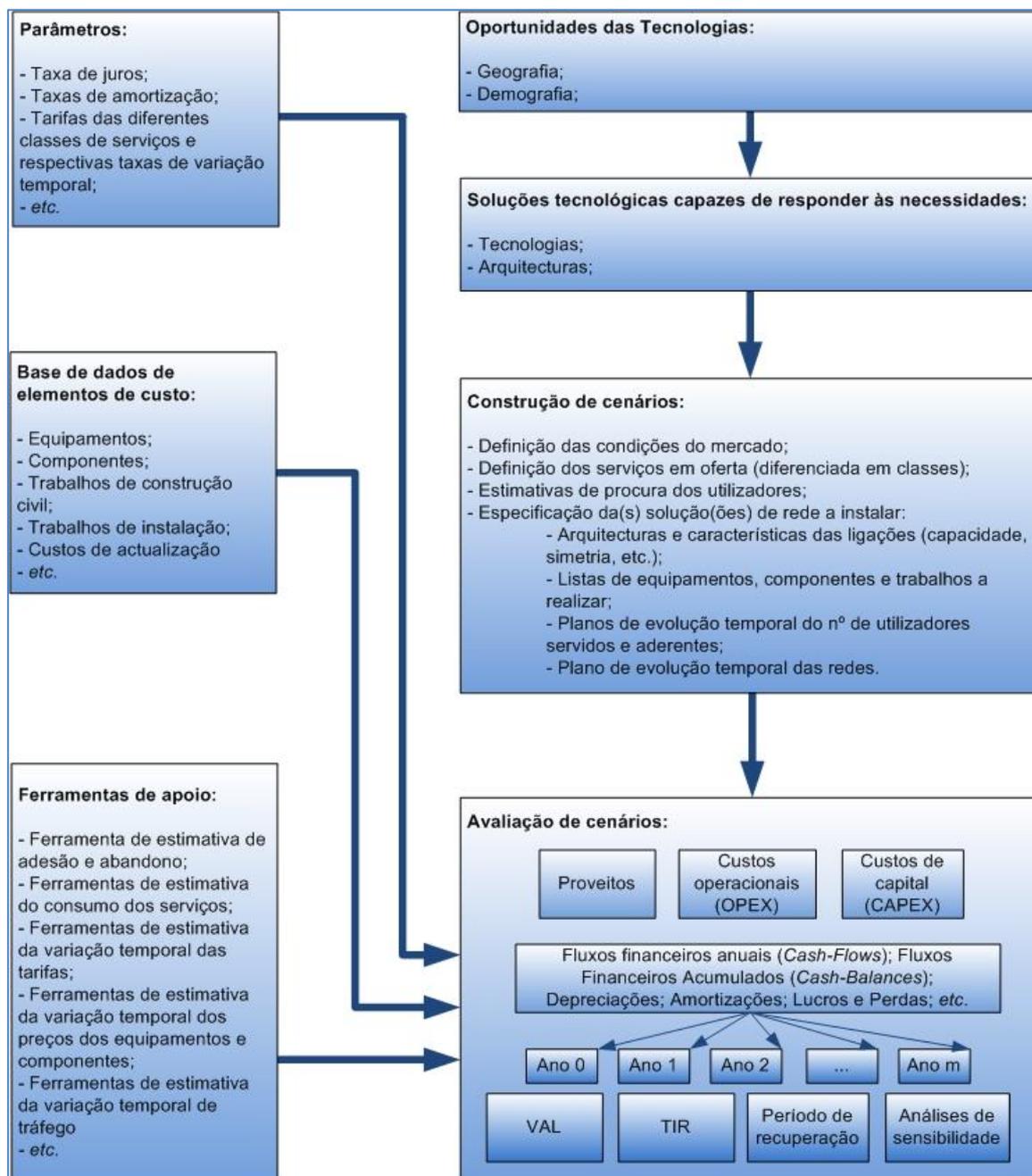


Figura 78 - Estrutura da Ferramenta de Cálculo [4]

Uma análise técnico-económica é a base de um projecto de implementação de uma rede de telecomunicações. De entre os aspectos a ter em conta realçam-se os seguintes: [4]

- Caracterização demográfica e geográfica da zona onde se vai implementar a rede;
- Identificação dos serviços que se adequam à zona/cenário em estudo;
- Identificação das possíveis soluções de rede (arquitectura e tecnologias, etc.) adequadas à provisão dos serviços a oferecer;
- Dimensionamento das redes;
- Estimativa de custos e proveitos associados às diferentes tecnologias e arquitecturas.
- Construção e comparação de cenários técnico-económicos (soluções, modelos de negócios e de operação).

6.2 Ferramenta de cálculo

Foi desenvolvida uma ferramenta de análise tecno-económica com recurso ao programa Microsoft Office ExcelTM. Esta ferramenta tem por base uma ferramenta genérica de análise de projectos de investimento disponibilizada para o efeito em [9] e a sua evolução em [4].

6.2.1 Parâmetros de entrada

Os parâmetros de entrada da ferramenta permitem construir um cenário de estudo evolutivo de várias tecnologias e estes dividem-se em vários grupos:

- **Comportamento global do Mercado:** a taxa de penetração e o número de potenciais assinantes (que vai evoluir ao longo dos anos, dependendo da taxa de penetração);
- **Caracterização do cenário:** São consideradas tecnologias distintas: a GPON, as suas evoluções faseadas: XGPON1 e XGPON2;
- **Tarifas:** Parâmetros de descrição dos serviços oferecidos aos clientes.

6.2.2 Parâmetros de saída

Na avaliação de projectos de investimentos são usados diversos indicadores que permitem tirar conclusões sobre a viabilidade e o perfil económico do investimento realizado. São apresentados os seguintes resultados económicos:

- **Gastos:** Nestes se incluem o CAPEX e OPEX realizados durante o período de duração do estudo;
- **Receitas:** São calculadas a partir das taxas de penetração de mercado de cada tarifa, da percentagem de mercado que possuem e do seu valor;
- **Indicadores económicos:** São extraídos a partir da avaliação dos investimentos e receitas existentes. Nestes se incluem o VAL, o TIR, o período de recuperação, o AMPU e custos por casa passada e por casa servida.

6.3 Comportamento Global do Mercado

Nesta secção será descrito o modelo proposto para o comportamento global do mercado, que foi utilizado na análise técnico-económica que será posteriormente apresentada.

6.3.1 Modelo Analisado

Segundo um estudo realizado pelo *Department of Information Technology – Gent University/IBBT*, em [41], o comportamento de várias ondas tecnológicas num determinado mercado pode ser dado, num exemplo para 3 ondas tecnológicas, pelas seguintes expressões:

$$\begin{aligned}
 S_1(t) &= F_1(t) * m_1 * [1 - F_2(t - \tau_2)] \\
 S_2(t) &= F_2(t - \tau_2) * [m_2 + F_1(t) * m_1] * [1 - F_3(t - \tau_3)] \\
 S_3(t) &= F_3(t - \tau_3) * [m_3 + F_2(t - \tau_2) * [m_2 + F_1(t) * m_1]]
 \end{aligned} \tag{1}$$

Onde:

- $S_i(t)$ = função que caracteriza o comportamento efectivo de cada onda tecnológica, afectado pelo comportamento das restantes;
- $F_i(t)$ = função que caracteriza a adesão de cada onda tecnológica no mercado;
- m_i = potencial de mercado servido por cada onda tecnológica, aqui tratado como percentagem, embora possa ser em número de clientes;
- τ_i = instante inicial em que a onda tecnológica aparece no mercado.

Em [41], este modelo é trabalhado com base no modelo de difusão de Bass, mas pode ser trabalhado com qualquer modelo de difusão. Neste trabalho, o modelo será trabalhado com o **modelo curva em “S”**.

6.3.2 Modelo Proposto

O estudo da taxa de penetração de uma tecnologia num mercado pode ser feito de acordo com vários modelos. De entre estes modelos, existe o **modelo curva em “S”** dado pela seguinte expressão:

$$P_t = P_i + \frac{(P_f - P_i)}{1 + \alpha e^{\beta t}} \tag{2}$$

em que:

- P_i = taxa de penetração inicial ;
- P_f = taxa de penetração final;
- α = parâmetro de controlo do momento de arranque do mercado ;
- β = parâmetro de controlo e velocidade de arranque do mercado ,
- t = ano para o qual se quer saber a taxa de penetração.

Estas curvas permitem controlar o instante inicial e a velocidade de penetração, através da alteração de alguns parâmetros (α e β) do modelo matemático que as define.

O **modelo proposto** assume que o comportamento global do mercado num dado cenário é dado pela expressão anterior e que o comportamento de adesão para cada onda tecnológica obedece à semelhante expressão:

$$p_i(t) = p_{i_0} + \frac{p_{i_f} - p_{i_0}}{1 + \alpha_i * e^{\beta_i * t}} \quad (3)$$

No **modelo proposto**, as variáveis p_{i_0} e p_{i_f} correspondentes à primeira onda tecnológica, têm o valor de 100%. Para as restantes ondas tecnológicas, p_0 tem o valor de 0% e p_f tem o valor de 100%. Em todos os casos, os valores de α e β são arbitrários.

Num mercado vão entrar 3 tecnologias novas, onde o comportamento efectivo de cada onda vai ser afectado pelas outras. As expressões matemáticas que descrevem as relações entre estas ondas são as seguintes:

$$\begin{aligned} S_1(t) &= p_1(t) * m_1 [1 - p_2(t - \tau_2)] * P(t) \\ S_2(t) &= p_2(t - \tau_2) * [m_2 + p_1(t) * m_1] * [1 - p_3(t - \tau_3)] * P(t) \\ S_3(t) &= p_3(t - \tau_3) * [m_3 + p_2(t - \tau_2) * [m_2 + p_1(t) * m_1]] * P(t) \end{aligned} \quad (4)$$

Cada função de onda $p_i(t)$ é utilizada simultaneamente para moldar o abandono da onda precedente, $i-1$, com um factor de pesagem m_{i-1} como para moldar a adesão à onda i com um factor de pesagem m_i .

Em cada instante t , a soma dos coeficientes $\dots m_{i-1} + m_i + m_{i+1} + m_{i+2} \dots = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} m_i = 1$.

A figura seguinte ilustra, de uma forma global, o comportamento das 3 ondas tecnológicas.

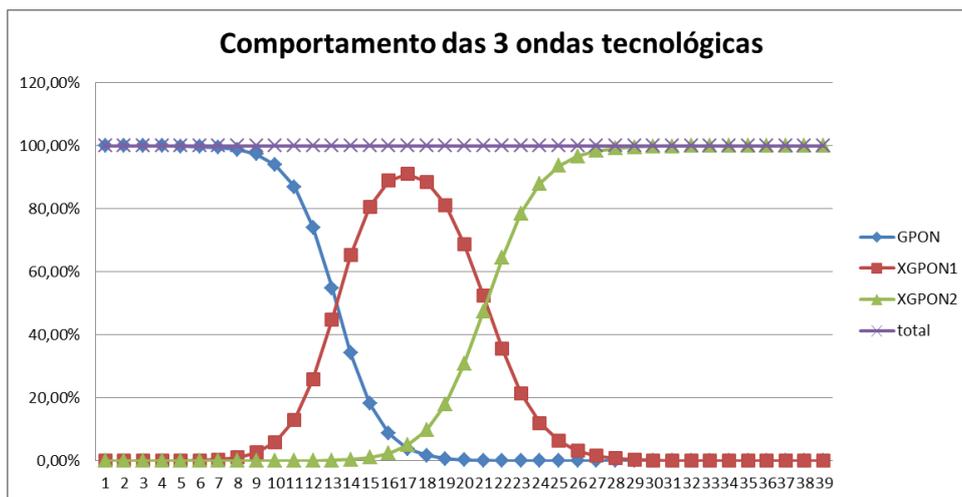


Figura 79 - Comportamento das 3 ondas tecnológicas de acordo com o Modelo Proposto

Inicialmente implementou-se uma rede de fibra até casa em que a tecnologia usada foi a GPON. Com a necessidade de evolução da tecnologia actual surge a XGPON1, sendo esta uma tecnologia de transição para a XGPON2. Esta tecnologia de transição é essencial para que se dê uma migração faseada e de baixo custo, sem que haja interrupção dos serviços.

Podemos visualizar o comportamento global do mercado na Figura 80.

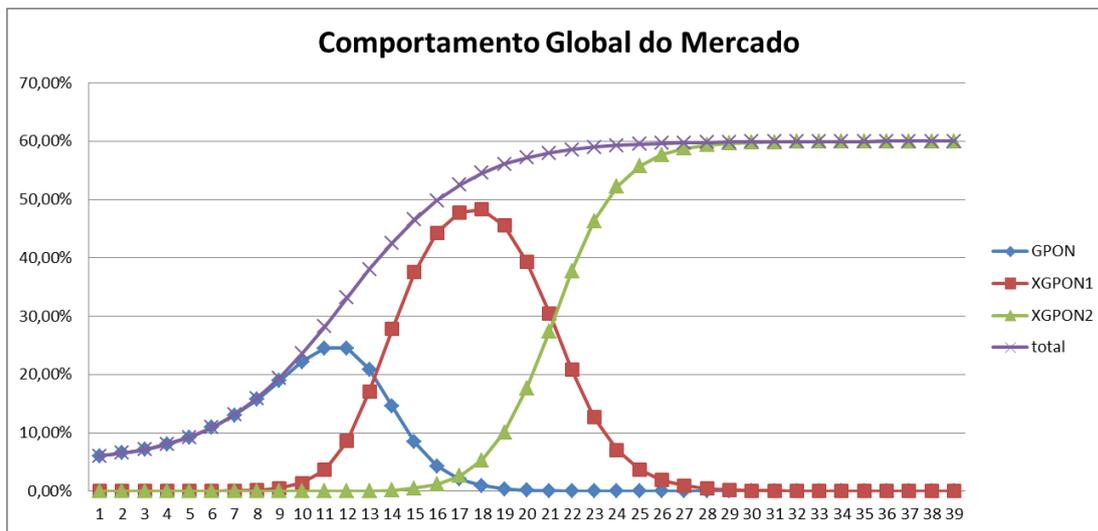


Figura 80 - Comportamento Global do Mercado de acordo com o Modelo Proposto

Na figura anterior, a curva de cor roxa representa o comportamento global do mercado, atingindo 60% da população total da área em estudo. As restantes curvas representam o comportamento do mercado face às diferentes tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2 tal como está indicado na legenda da figura.

6.4 Descrição dos cenários analisados

Os cenários analisados correspondem a uma arquitectura de rede FTTH (*Fiber to the home*), utilizando a tecnologia GPON e as suas evoluções imediatas: XGPON1 e XGPON2.

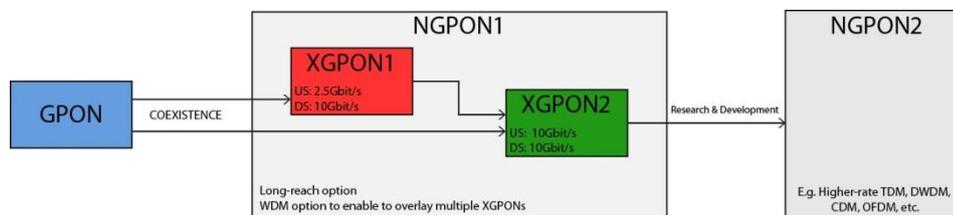


Figura 81 – Esquema de Evolução da GPON

Levar fibra óptica até casa utilizando a *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) envolve a instalação de fibra óptica desde a central local até casa do cliente. A cada fibra está associada uma velocidade de *download* de 2,5 Gbit/s que é partilhada pelos diversos utilizadores activos pertencentes à mesma PON (máximo de 64 utilizadores). As tecnologias XGPON1 e XGPON2 têm o mesmo princípio de implementação que a GPON, agregando maior tráfego por PON, servindo um maior número de clientes e permitindo um maior alcance. Tal como referido na **secção 5.2**, tanto a XGPON1 como a XGPON2 suportam dados a operar a 10Gbit/s no sentido de *downstream* e um *split ratio* escalável de 1:64 até 1:256 utilizadores (a nível lógico).

Os cenários implementados têm a mesma caracterização geográfica e demográfica da área a servir, ver **Tabela 9**.

Tabela 9 - Caracterização da Unidade Territorial

Caracterização da Unidade Territorial		
Dimensão (km ²)	10	
Número de potenciais assinantes (habitantes)	25000	
Densidade populacional	2500	
Número de UA na área	10000	
Densidade de UA	1000	
Número de MDU na área	7500	
% De MDU	75%	
Número de SFU na área	2500	
% de SFU	25%	
Potencias assinantes Multi-empresa	50	
Potencias assinantes Mono-empresa	10	
Tipologia da Unidade Territorial	Urbano	
Tipo de Solo	Arenoso/Terroso	
Tipo de Relevô	Plano	
Disponibilidade da Infra-estrutura	Central Office	Sim
	Feeder	Não
	Distribution	Não
	Drop	Não

É feita uma caracterização completa da unidade territorial que se pretende analisar

- Dimensão da zona onde se vai implementar a rede (km²): **10 km²**;
- Número de potenciais assinantes (habitantes): **25000 habitantes**;
- Densidade populacional da zona (número de habitantes por km²): **2500 - Urbano**;
- Número de Unidades de Assinante na área; quer o número de edifícios em altura (MDU) ou o número de moradias (SFU): **10000 UA (7500 MDU e 2500 SFU)**;
- Número de potenciais assinantes empresariais: **50 Multi-empresa e 10 Mono-empresa**;
- Topologia da unidade territorial (Urbano Denso, Urbano, Suburbano Residencial/Industrial/Misto ou Rural/Isolado): **Urbano**;
- Tipo de solo (Arenoso/Terroso ou Rochoso Sedimentar/Metamórfico/Magmático) e tipo de relevo da zona (Montanhoso ou plano): **Arenoso/Terroso e Plano**;
- Possibilidade de utilização da física existente nos diferentes segmentos da rede de acesso: *Central office, Feeder Network, Distribution Network e Drop Network*. **A infraestrutura do C.O está disponível.**

Na figura seguinte está representado um cenário genérico de uma configuração de rede FTTH, utilizando a tecnologia GPON.

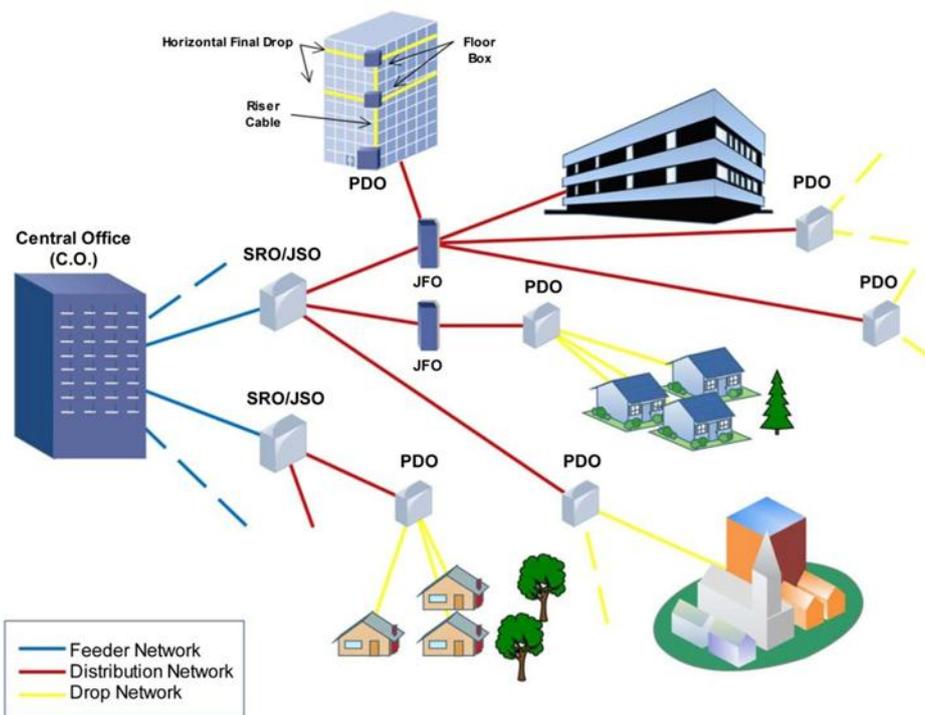


Figura 82 – Solução tecnológica [4]

Existem vários pontos de flexibilidade que constituem a rede de acesso: pontos de *splitting* e pontos de junção entre cabos. Os pontos de *splitting* (**SRO: Sub-Repartidores Ópticos**) permitem dividir a rede de acesso em diferentes segmentos (**Feeder Network, Distribution Network e Drop Network**), possibilitando a divisão do sinal óptico de uma fibra para um maior número de fibras. Os pontos de junção (**JFO: Junta de Fibra Óptica**) entre cabos permitem dividir cada segmento da rede de acesso em sub-segmentos (*Feeder Network* é dividida nos sub-segmentos L1 e L2 e a *Distribution Network* é dividida nos sub-segmentos L3 e L4), possibilitando a união de cabos de diferentes capacidades (número de fibras). Estes pontos de flexibilidade encontram-se representados na figura seguinte:

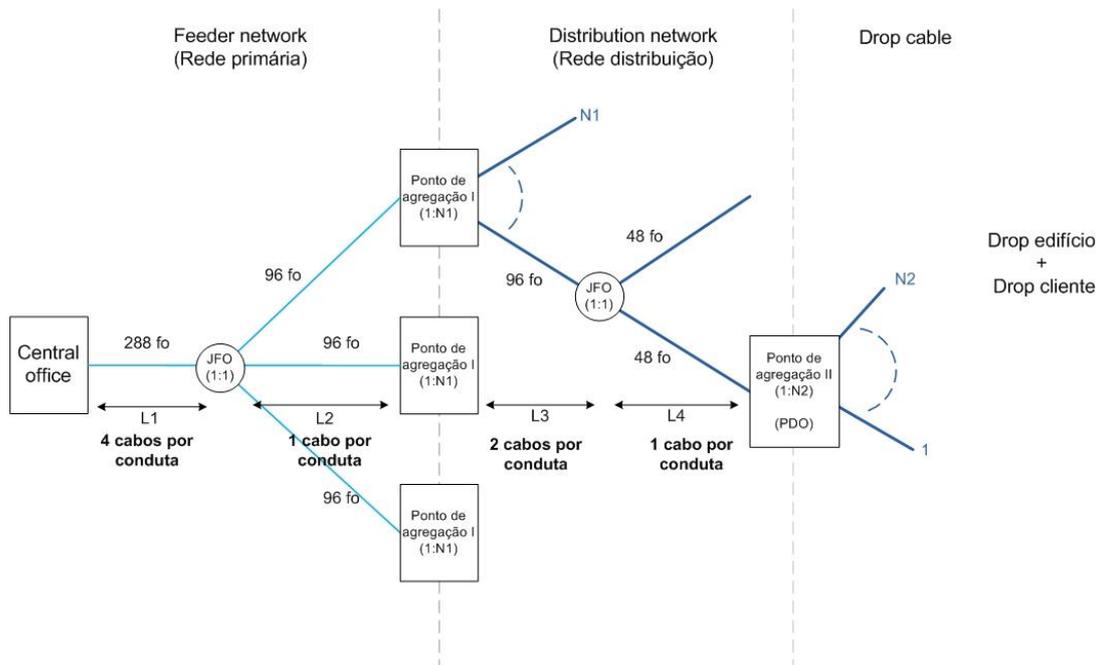


Figura 83 – Diferentes segmentos e pontos de flexibilidade da rede de acesso [39]

A instalação dos cabos de fibra óptica poderá obrigar a construção de condutas, pelo que nesta ferramenta consideram-se os seguintes pressupostos relativamente à capacidade das condutas (número de cabos que é possível instalar) nos diferentes subsegmentos desta rede:

- 4 cabos de 288 fibras por conduta no segmento L1;
- 1 cabo de 96 fibras por conduta no segmento L2;
- 2 cabos de 96 fibras por conduta no segmento L3;
- 1 cabo de 48 fibras por conduta no segmento L4;

6.5 Descrição dos Serviços

A adesão de clientes, ligada ao modelo de penetração de serviços, depende do tipo de serviços fornecidos. A Segmentação de Mercado é feita em seis classes, associando-a a um determinado tipo de serviço, segundo as características e necessidades dos clientes:

- **Pacote 1: clientes residenciais**, Single play – serviços de voz (POTS);
- **Pacote 2: clientes residenciais**, Dual Play – POTS e Internet;
- **Pacote 3: clientes residenciais**, Triple Play – POTS, Internet e TV;
- **Pacote 4: clientes residenciais**, Quad Play – POTS, Internet, TV e Video on Demand (VoD);
- **Pacote empresarial 1: clientes empresariais multi-empresa;**
- **Pacote empresarial 2: clientes empresariais mono-empresa;**
 - Clientes empresariais procuram segurança, flexibilidade, modularidade e possibilidade de ter um leque infundável de serviços e aplicações (VPN, Internet, voz, etc.).

Na ferramenta Excel, os diferentes serviços oferecidos aos assinantes encontram-se na folha “Receitas” e estão representados na tabela seguinte.

Foi associada uma cor a cada tecnologia, no caso da tecnologia GPON vai estar associada a cor azul, à tecnologia XGPON1 vai estar associada a cor vermelha e à tecnologia XGPON2 estará associada a cor verde. Esta associação de cores ajuda na compreensão de todos os investimentos e receitas, realizados ao longo dos anos, para cada tecnologia.

Tabela 10 – Tipo de Serviços

Taxa de erosão das tarifas		5,00%				
Tarifários	Valor Mensal	Tarifários	Valor Mensal	Tarifários	Valor Mensal	% de clientes
Pacote 1	9,99 €	Pacote 1	11,60 €	Pacote 1	17,05 €	10,0%
Pacote 2	32,99 €	Pacote 2	38,29 €	Pacote 2	56,29 €	10,0%
Pacote 3	59,99 €	Pacote 3	69,63 €	Pacote 3	102,37 €	50,0%
Pacote 4	79,99 €	Pacote 4	92,84 €	Pacote 4	136,49 €	30,0%
Pacote empresarial 1	119,99 €	Pacote empresarial 1	139,27 €	Pacote empresarial 1	204,75 €	80,0%
Pacote empresarial 2	449,99 €	Pacote empresarial 2	522,29 €	Pacote empresarial 2	767,86 €	20,0%

A cada serviço estão associadas tarifas. Há dois tipos de tarifas:

- **Tarifa de ligação:** o custo inicial para o utilizador de instalação dum determinado serviço;
- **Tarifa mensal:** representa o custo mensal do serviço ao qual vai ser aplicada uma taxa de erosão de 5%.

Uma das variações da tarifa mensal é a tarifa anual, que como o próprio nome indica, é a tarifa mensal multiplicada pelo número de meses do ano (12 meses).

6.6 Componentes de rede

Os custos dos componentes necessários para a implementação da rede são calculados a partir de uma base de dados criada. Essas informações consistem na identificação do componente, as suas características e o seu custo unitário. Este custo unitário sofrerá uma evolução ao longo do período de duração do projecto.

A evolução temporal dos preços dos componentes rege-se pela seguinte fórmula [46]:

$$P(t) = \beta \left[\frac{1}{n_r(T_{market}) \left(1 + e^{\left\{ \ln \left[\frac{1}{n_r(T_{market})} - 1 \right] - \left[\frac{2 \ln(9)}{\Delta T} \right] (t - T_{market}) \right\}} \right)} \right]^{\log_2 K} \quad (5)$$

As variáveis representam:

- $P(t)$ é o preço unitário no ano t ;
- $n_r(0)$ é o volume de produção acumulado no zero (para $t=0$), relativo ao volume de saturação;
- T_{market} é o instante em que um equipamento em particular entra no mercado;
- β representa os custos de uma geração de equipamentos, no instante T_{market} , relativamente aos custos dos da geração de equipamentos no ano zero ($t=0$);
- ΔT , representa o tempo que o volume acumulado de produção leva a chegar de 10 a 90% do volume total de produção (volume de saturação);
- K é o parâmetro da curva de aprendizagem que descreve o custo como função do volume de equipamentos produzidos. Este volume é muitas vezes empírico, para uma dada tecnologia. O coeficiente K tem especial impacto na evolução dos preços. Assim, quando $K=0.7$, obtemos uma redução do preço em 30% ($1-K$), quando o volume de produção duplica. Dada a importância dos parâmetros K , ΔT e n_r , o equipamento foi dividido em classes (ex: componentes ópticos passivos e activos, cabos de fibra e cobre, componentes electrónicos, entre outros);

Os parâmetros das curvas de aprendizagem encontram-se detalhados na tabela seguinte.

Tabela 11 – Parâmetros para curvas de equipamentos de rede [46]

	2,5 Gbps	10 Gbps	40 Gbps	160 Gbps	640 Gbps
T(Market)	-12	-6	0	6	12
β	1	2,5	4	6,5	11,5
$n_r(T_{market})$	1%				
ΔT	6				
K	85%				

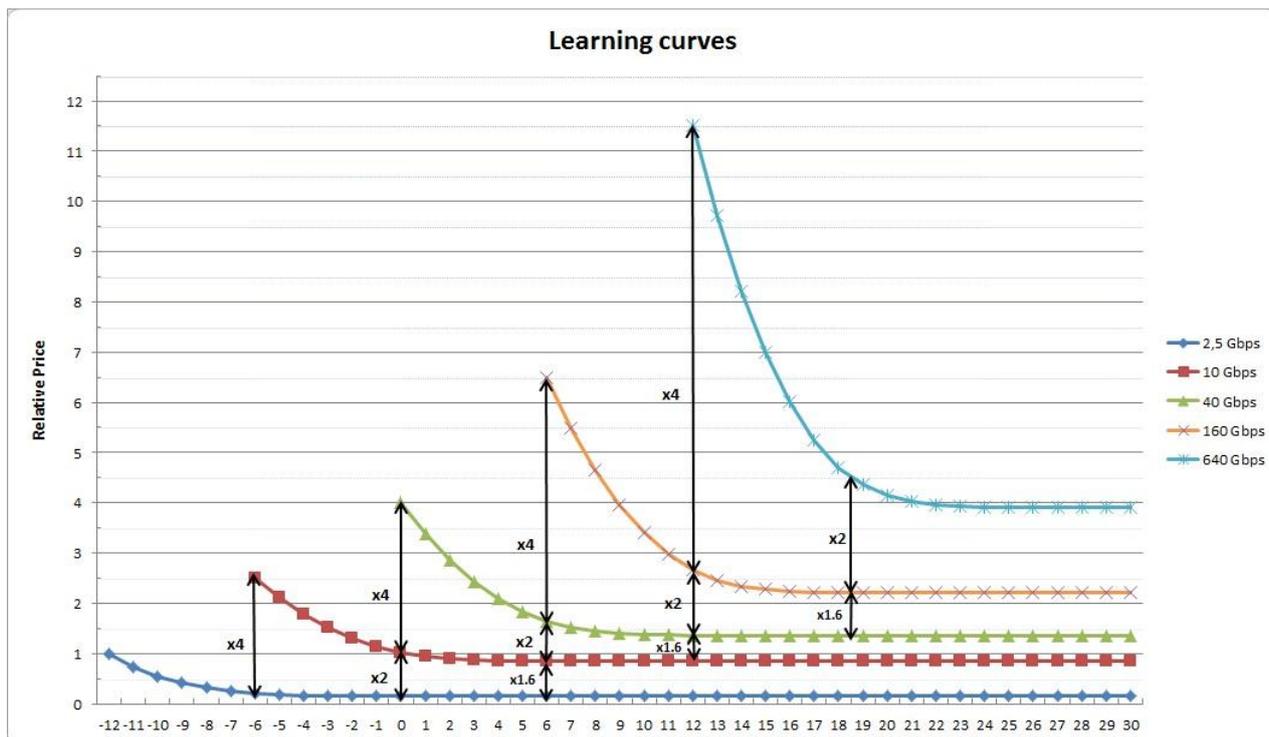


Figura 84 – Learning Curves [46]

No estudo feito em [46], as curvas de aprendizagem dos custos de equipamentos são aplicadas na rede de agregação mas, neste trabalho serão aplicadas à rede de acesso.

Com recurso ao uso do parâmetro β , podemos garantir que o custo relativo dos equipamentos da nova geração, no ano T_{market} , é aproximadamente 4 vezes superior ao da tecnologia anterior. Passados 6 anos o rácio do custo dos equipamentos será aproximadamente 2 e depois de mais 6 anos, será de aproximadamente 1.6. O ano T_{market} da nova tecnologia corresponde ao ano 6 da tecnologia anterior. [46]

A quantidade de equipamento de rede necessária depende da taxa de penetração dos serviços e do volume de tráfego exigido pelos clientes dos serviços associados à tecnologia. A substituição do equipamento usado é feita por etapas, quando o período de duração do mesmo acaba, este precisa de ser renovado. [46]

6.6.1 Pressupostos relativamente a custos

Quando se implementam redes de telecomunicações em fibra óptica, é necessário fazer investimentos nas seguintes áreas:

- **Fibra e infraestruturas:** é necessário investir em condutas, armários de rua, juntas de fibra óptica e outro tipo de infraestrutura física ou postes, se a fibra se destinar a implementação aérea. Estes investimentos representam uma grande parte dos custos totais;

- **Componentes activos e passivos:** o conjunto de sistemas ópticos e electrónicos que permitem à rede enviar e receber sinais (*switch*, *splitter*, OLT, ODF, WDM combiner). Os componentes activos (por exemplo OLT) precisam de ser substituídos, em média, a cada 5 anos;
- **Equipamento nas residências dos clientes:** ONU/ONT, modems, *decoders* para IPTV/digital TV. Estes componentes eléctricos precisam de ser substituídos, em média, de 5 em 5 anos;
- **Custos de pessoal:** gestão, administração da rede, contabilidade, equipas de manutenção e reparação e apoio ao cliente.

A quantidade de investimentos que vão ser necessários depende de diversos factores:

- Dimensão da zona onde se vai implementar a rede;
- Densidade populacional da zona;
- Tipos de serviços a disponibilizar;
- Escolha entre condutas ou postes e a disponibilidade da infra-estrutura existente;
- Tipo de edifícios (edifícios em altura ou moradias);
- Custos dos direitos de passagem e acesso a edifícios;
- Encargos municipais (custos de repavimentação, acesso a condutas, licenças).

No caso de uma solução FTTH, os investimentos necessários concentram-se em três áreas cruciais:

- **Instalação das infraestruturas de telecomunicações** utilizando fibra óptica;
- **Equipamentos activos:** no *Central Office* e nas instalações dos assinantes (CPE);
- **Equipamentos passivos:** *splitters* ópticos.

Quando se trata de uma transição directa da tecnologia GPON para a XGPON1 ou XGPON2 os investimentos necessários concentram-se nos equipamentos activos.

6.6.1.1 **Instalação das infraestruturas utilizando fibra**

Para a instalação de novas infraestruturas em fibra óptica existem duas opções de dimensionamento ou instalação:

- Ao longo da rede de cobre existente, caso se pretenda realizar um re-investimento (*upgrade*) na rede de acesso;
- Estudo de um novo cenário para instalação da rede servindo novos clientes.

A rede de acesso FTTH é dividida em vários segmentos e em cada segmento existem custos associados:

- Construção de novas condutas;
- Custos dos cabos de fibra óptica;

- Custos de instalação dos cabos de fibra (mão-de-obra).

No terceiro segmento destacam-se os investimentos em cablagem dentro dos edifícios quer sejam edifícios de apartamentos ou edifícios de escritórios. Estes dividem-se em duas componentes:

- **Investimentos verticais:** associados à instalação de fibra na coluna do edifício ou na instalação do cabo até aos diversos pisos, pelo interior deste ou pela fachada;
- **Investimentos horizontais:** associados à ligação de cada apartamento ou escritório.

6.6.1.2 **Equipamentos activos: Central Office e instalações dos assinantes (CPE)**

No *Central Office* é necessário ter em consideração três factores:

- **Equipamentos:** A OLT representa o investimento mais dispendioso;
- **Consumo energético:** Aspecto que se pode tornar muito relevante mediante a tecnologia escolhida;
- **Espaço físico:** Este local partilha a ligação à rede *core*, e no caso de um *upgrade* da rede situa-se no mesmo local que a antiga central local para a rede de cobre. No caso de novas redes o seu local deve ser estrategicamente colocado de modo a permitir uma maior cobertura dos assinantes.

Nas instalações dos assinantes é necessária a instalação de equipamento de terminação especializado nas residências dos clientes – ONU/ONT. O equipamento a instalar nas unidades do assinante, CPE, tem a função de disponibilizar os serviços de Voz (VoIP), acesso Internet e TV (IPTV). Dependendo dos serviços fornecidos pelos operadores e dos serviços escolhidos pelos assinantes (*single play*, *dual play*, *triple play* ou *quad play*), os custos associados à instalação de equipamentos poderão variar.

6.6.1.3 **Equipamentos passivos: splitters ópticos**

Os *splitters* são equipamentos ópticos passivos, que não necessitam de alimentação eléctrica, estes são instalados: na rede de acesso, no *Central Office*, nos armários de rua (SRO) e nos pontos de distribuição óptica (PDO).

6.7 Casos de Estudo: Dimensionamento dos diferentes segmentos de rede

6.7.1 Dimensionamento do *Central Office*

Na figura seguinte estão representados, em detalhe, os elementos constituintes do *Central Office*.

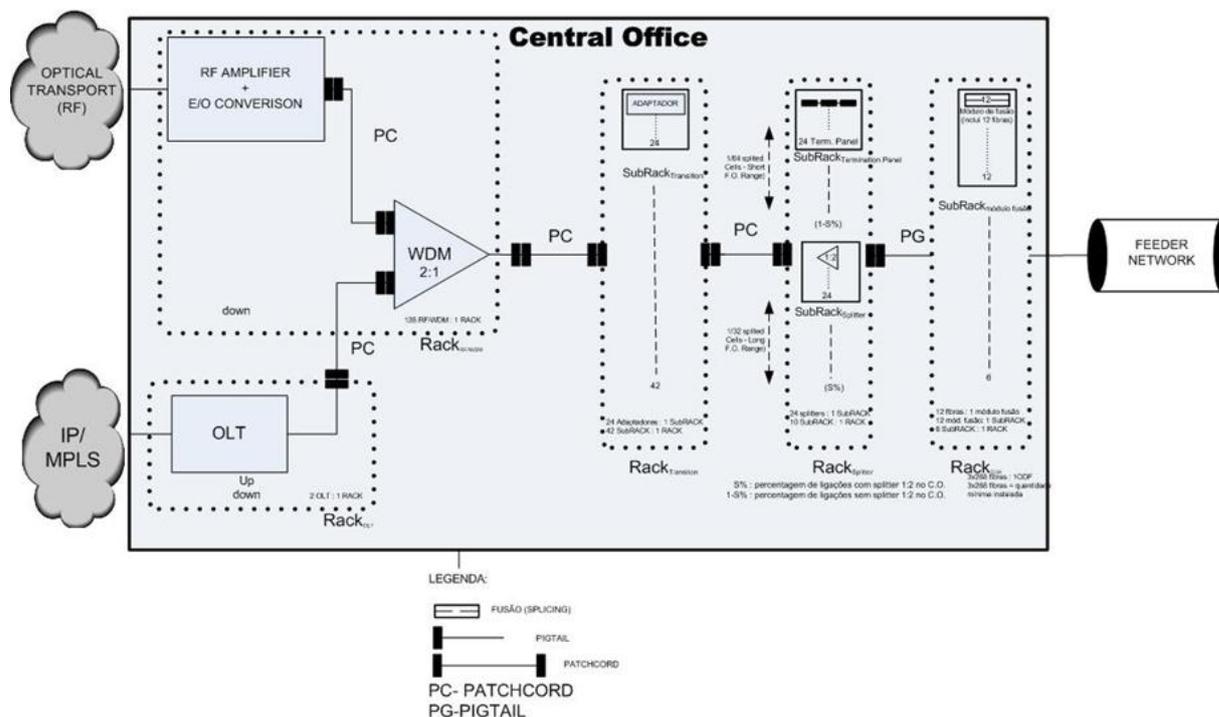


Figura 85 – *Central Office* [4]

Para dimensionar este segmento de rede, consideram-se os seguintes parâmetros: [4]

$$\left\{ \begin{array}{l}
 A = N_{ass\ UA} + N_{ass\ multi-emoesa} + N_{mono-emoesa} \\
 B = \text{factor de splitting } 1:64 = 64 \\
 C = \% \text{ de splitting } 1:64 \\
 D = \text{factor de splitting } 1:32 = 32 \\
 E = \% \text{ de splitting } 1:32 \\
 F = N_{splitters\ 1:32} \text{ usados no armário da distribution network}
 \end{array} \right.$$

Uma OLT é responsável pela transmissão e controlo óptico dos sinais pela rede até ao equipamento do assinante (ONU/ONT) e por receber os sinais que provêm dos assinantes (ONU/ONT).

A partir dos parâmetros anteriores é possível calcular o número de portos OLT necessários através da seguinte expressão:

$$N_{OLT\ Ports} = \begin{cases} \frac{F}{2}, & Se \left(\frac{A}{B} \times C + \frac{A}{D} \times E \right) < \frac{F}{2} \\ \left(\frac{A}{B} \times C + \frac{A}{D} \times E \right), & Se \left(\frac{A}{B} \times C + \frac{A}{D} \times E \right) \geq \frac{F}{2} \end{cases} \quad (6)$$

Como cada OLT é constituído por 16 cartas OLT e cada carta tem capacidade para 4 portos (4 PON), o número de OLT necessários é dado pela seguinte expressão

$$N_{OLT} = \frac{N_{OLT\ Ports}}{64} \quad (7)$$

O sinal de vídeo/TV proveniente da rede *core* sofre uma conversão electro-óptica e é amplificado e combinado com o sinal que provêm do OLT através de um RF/WDM *combiner*. O módulo RF/WDM *combiner* encontra-se ligado ao OLT por meio de um *patchcord*, isto é, cada porto RF/WDM está ligado a pelo menos um porto OLT através de um *pathcord*. No caso da GPON, o número de portas OLT é igual ao número de portas RF.

$$N_{RF/WDM\ Ports} = N_{OLT\ Ports} \quad (8)$$

Como cada módulo RF/WDM *combiner* é constituído por 128 portas, o número de módulos RF/WDM *combiners* necessários é dado pela seguinte expressão:

$$N_{RF/WDM\ Combiners} = \frac{N_{RF/WDM\ Ports}}{128} \quad (9)$$

Cada RF/WDM *combiner* está ligado, por um *patchcord*, a um adaptador existente nos *Transition Modules*, que são equipamentos constituídos por 24 adaptadores que funcionam como um ponto de passagem entre os RF/WDM *Combiners* e os *splitters* 1:2 ou os *termination panels* (caso se opte por servir apenas 32 clientes).

O número de *Transition Modules* necessários é dado pela seguinte expressão:

$$N_{Transition\ Modules} = \frac{N_{Adaptadores\ necessários}}{24} = \frac{N_{RF/WDM\ Ports}}{24} \quad (10)$$

Os *splitters* 1:2 permitem que a rede PON tenha um *splitting ratio* de 1:64. No entanto a utilização de este *splitter* é opcional, permitindo implementar uma PON com um *splitting ratio* de 1:32. O número de *splitters* 1:2 necessários é dado pela seguinte expressão:

$$N_{Splitters\ 1:2} = N_{Adaptadores\ necessários} \times (\% \text{ splitting } 1:64) \quad (11)$$

Caso se opte por servir apenas 32 utilizadores os *patchcords* provenientes do *Transition Module* vão ser ligados a um *Termination Panel*. O número de *Termination Panels* necessários é dado por:

$$N_{Termination\ Panels} = N_{Adaptadores\ necessários} \times (\% \text{ splitting } 1:32) \quad (12)$$

A ligação entre as fibras do *Central Office* e as fibras dos cabos da *feeder network* é feita no ODF, que é constituído por 72 módulos de fusão (capacidade para 12 fibras ópticas), onde todas as fibras vão ser fundidas. O número de módulos de fusão e ODF necessários são dados pelas seguintes expressões:

$$N_{\text{Módulos de Fusão}} = \frac{N_{\text{Cabos Feeder Network}} \times N_{\text{Fibras ópticas por cabo}}}{12} \quad (13)$$

$$N_{\text{ODF}} = \frac{N_{\text{Módulos de Fusão}}}{72}$$

Todos estes equipamentos encontram-se localizados em bastidores (*racks* e *subracks*). As *racks* e *subRacks* possuem uma lotação definida em unidades elementares de armazenamento normalmente designadas por **U(s)**. Neste caso foi considerado que cada Rack possui 42 Us e cada Subrack possui 4 Us. Assim existem 10 SubRacks por Rack. [4]

Quando surge a tecnologia XGPON1, vai ser implementado no *Central Office* mais uma OLT característica desta nova tecnologia e que servirá os clientes que aderirem à mesma.

O sinal da OLT XGPON1 é combinado com o sinal da GPON que provêm da OLT respectiva e com o sinal analógico de Vídeo/RF através de um RF/WDM *combiner*. O módulo RF/WDM *combiner* encontra-se ligado ao OLT por meio de um *patchcord*. O número de portas OLT vai ser o dobro do número de portas RF.

$$N_{\text{RF/WDM Ports}} = 2N_{\text{OLT Ports}} + N_{\text{RF Ports}} \quad (14)$$

Quando surge a tecnologia XGPON2, também este sinal será combinado com os anteriores através de um RF/WDM *combiner*.

6.7.1.1 Equipamentos Necessários

Na **secção 6.6 – Componentes de Rede** é explicada a relação de preços entre as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2. Nas tabelas seguintes temos representados os equipamentos unitários associados a cada tecnologia.

Tabela 12 – Equipamento instalado no *Central Office* para as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Equipamento (<i>Central Office</i>)	
OLT	OLT porta
	OLT carta
	OLT
	OLT rack
RF/WDM	RF/WDM Ports
	RF/WDM Combiner
	RF/WDM Rack
PATCHCORD	PC OLT-WDM
	PC RF-WDM
	PC WDM-TRANSITION
TRANSITION MODULE	TRANSITION MODULES
	subrack TRANSITION MODULE
	TRANSITION MODULE rack
PATCHCORD	PC TRANSITION-SPLITTER
SPLITTING	SPLITTERS 1:2
	subrack SPLITTERS
	TERMINATION PANEL
	TERMINATION PANEL subrack
	SPLITTER rack
ODF	FUSION MODULE
	subrack FUSION MODULE
	FUSION MODULE rack

6.7.2 Dimensionamento da *Feeder Network*

A *Feeder Network* (rede primária) é constituída cabos de fibra óptica, numa topologia em árvore, ligando o *Central Office* aos armários de rua (SRO). Este segmento da rede pode apresentar duas configurações: [4]

Podem ser utilizados apenas cabos de 288 fibras ópticas (onde cerca de 20% é fibra escura), que ligam o Central Office ao SRO (2 cabos no mínimo);

Podem ser utilizados cabos de 288 fibras ópticas que se ligam a uma JFO (Junta de Fibra Óptica) onde são repartidos em cabos com um número inferior de fibras.

As diferentes configurações possíveis deste segmento de rede estão representadas na figura seguinte:

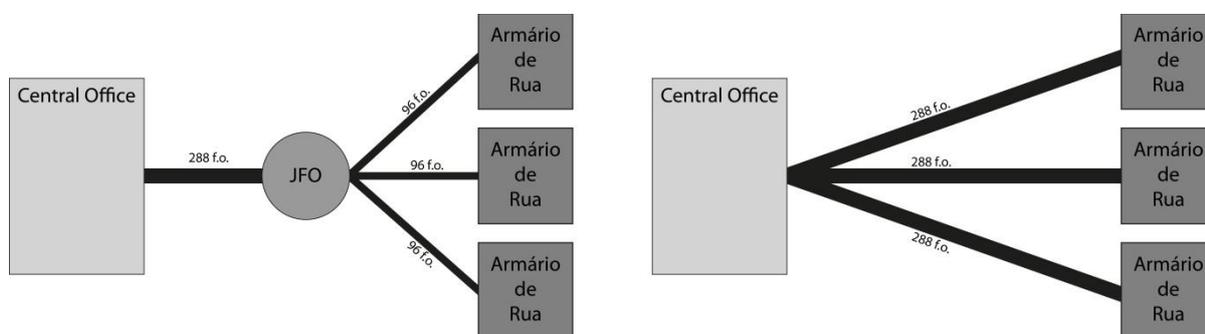


Figura 86 – Arquitectura da *Feeder Network* (adaptado de [4])

O segundo andar de *splitting* é colocado nos armários de rua (com capacidade para 288 fibras), com as ligações previamente feitas. O tipo de *splitters* colocados nos armários depende da taxa de adesão: Neste cenário (Cenário 1) são instalados *splitters* de 1:32.

Os armários de rua e os *splitters* vão sendo instalados à medida que a taxa de adesão vai aumentando (*pay-as-you-grow*). Cada armário de rua vai permitir servir células com 576 UA (576 casas passadas). [4]

De acordo com o dimensionamento mínimo escolhido, este segmento é constituído por um mínimo de 2 cabos de 288 fibras que podem ser divididos em cabos de 96 fibras (relação de 1 cabo 288 fo : 3 cabos 96 fo). Esta divisão é realizada por fusão numa junta (**JFO**) de 288 fibras.

Para se calcular o número de cabos de 288 fibras ópticas consideram-se os seguintes parâmetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \text{Número de fibras do cabo de 288} = 288 \\ B = \text{Número de fibras do cabo de 96} = 96 \\ C = \text{Número mínimo de cabos de 288 fo à saída do ODF} = 2 \\ D = \text{Verificação da existência de JFO} \\ E = \text{Número de armários (SRO) que é necessário instalar} \\ F = \text{Cabo necessário para a remotização do Central Office} \end{array} \right.$$

Tendo em conta estes parâmetros, o número de cabos de 288 fibras ópticas necessários é dado pela seguinte expressão:

$$N_{Cabos\ 288\ F.O.} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Se } D = \text{Não} \Rightarrow E \\ \text{Se } D = \text{Sim} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Se } \frac{N_{Cabos\ 96\ F.O.}}{A/B} \leq C \Rightarrow C \\ \text{Se } \frac{N_{Cabos\ 96\ F.O.}}{A/B} > C \Rightarrow \frac{N_{Cabos\ 96\ F.O.}}{A/B} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (15)$$

Caso seja necessário proceder à remotização do *Central Office* instalam-se cabos de 288 fibras ópticas adicionais (F). Estes cabos são instalados apenas no ano inicial do projecto, pelo que todos os custos relativos a trabalhos de construção e mão-de-obra apenas se reflectem no ano inicial do projecto.

Tendo em conta estes parâmetros, o número de cabos de 96 fibras ópticas necessários é dado pela seguinte expressão:

$$N_{Cabos\ 96\ F.O.} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Se } B = \text{Sim} \Rightarrow A \\ \text{Se } B = \text{Não} \Rightarrow 0 \end{array} \right.$$

O número de Juntas de Fibra Óptica que é necessário instalar é igual ao número de cabos de 288 fibras ópticas:

$$N_{JFO} = N_{Cabos\ 288\ F.O.}$$

O segundo andar de *splitting* é colocado em armários de rua (**SRO**) com capacidade máxima de entrada de 288 fibras. Cada armário de rua permite servir células com 576 UA (parâmetro editável na ferramenta). O tipo de *splitters* colocados nos armários depende da taxa de adesão, mas inicialmente são instalados *splitters* de 1:32.

Para se calcular o número de armários de rua necessários consideram-se os seguintes parâmetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \text{Número de potenciais assinantes UA} \\ B = \text{Número de potenciais assinantes Multi – Empresa} \\ C = \text{Número de potenciais assinantes Mono – Empresa} \\ D = \text{Taxa de Penetração actual} \\ E = \text{UAs servidas por armários (SRO)} = 576 \end{array} \right.$$

Tendo em conta estes parâmetros, o número armários de rua necessários é dado pela seguinte expressão:

$$N_{SRO} \Rightarrow \frac{(A+B+C)}{E} \times D \quad (16)$$

Para se calcular o número de *splitters* 1:32 necessários consideram-se os seguintes parâmetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \text{Número mínimo de splitters} = 2 \\ B = \text{Número de potenciais assinantes UA} \\ C = \text{Número de potenciais assinantes Multi – Empresa} \\ D = \text{Número de potenciais assinantes Mono – Empresa} \\ E = \text{Taxa de Penetração actual} \\ F = \text{Factor de divisão} = 32 \end{array} \right.$$

Tendo em conta estes parâmetros, o número *splitters* 1:32 necessários é dado pela seguinte expressão:

$$N_{Splitters\ 1:32} = \begin{cases} \text{Se } \frac{(B+C+D)}{F} \times E < A \Rightarrow A \\ \text{Se } \frac{(B+C+D)}{F} \times E \geq A \Rightarrow \frac{(B+C+D)}{F} \times E \end{cases} \quad (17)$$

A mão-de-obra necessária é: a preparação do cabo, instalação do cabo, instalação da junta e a fusão entre as fibras (JFO). Quando não existe repartição dos cabos a mão-de-obra não inclui a instalação da junta e a fusão entre as fibras.

O custo de instalação do cabo de f.o. é calculado a partir da seguinte equação:

$$MO_{ic} = A \times (N_{288fo} \times B + C \times N_{96fo}) \quad (18)$$

$A = \text{Custo da realização do trabalho}$

$B = \text{Comprimento do troço para o cabo de 288 fo (L1)}$

$C = \text{Comprimento do troço para o cabo de 96 fo (L2)}$

E o custo de preparação do mesmo por:

$$MO_{pc} = MO_{ic} = A \times (N_{288fo} \times B + C \times N_{96fo}) \quad (19)$$

$A = \text{Custo da realização do trabalho}$
 $B = \text{Comprimento do troço para o cabo de 288 fo (L1)}$
 $C = \text{Comprimento do troço para o cabo de 96 fo (L2)}$

A construção de condutas parte do pressuposto que uma conduta pode levar os cabos de fibra que forem necessários e que o custo de a construir depende do tipo de terreno em que se encontra e não do número de fibras do cabo. É importante lembrar que, neste caso, cada armário admite no máximo 288 fibras.

Exemplo: Servir 3 armários, ver **Figura 86:** [4]

- Solução 1:
Um cabo de 288 fibras é repartido em 3 cabos de 96 e cada cabo de 96 fibras serve um armário, são necessárias 4 condutas;
- Solução 2:
São necessários 3 cabos de 288 fibras até aos armários e um total de 3 condutas.

6.7.2.1 Equipamentos Necessários

Neste segmento de rede, a relação de preços entre as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2 é a mesma, ou seja, como partilham o mesmo ODN não haverá alteração dos preços unitários base. A evolução dos mesmos é dada pela fórmula apresentada na **secção 6.6 - Componentes de Rede**. Na tabela seguinte temos representados os equipamentos a implementar neste segmento de rede.

Tabela 13 - Equipamentos unitários das tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Equipamento	
Cablagem	288 f.o.
	96 f.o.
Distribuição f.o.	JFO
1º Ponto de Agregação	SRO
	splitter 1:32
	splitter 1:8
	splitter 1:4
Mão-de-Obra	
Cablagem	Instalar cabo p/ km
	Preparação cabo p/ km
Distribuição f.o.	Instalar junta
	Fusão
1º Ponto de Agregação	Instalar SRO
Construção Civil	
L1	
L2	

6.7.2.2 *Dimensionamento mínimo da Feeder Network*

O dimensionamento de alguns segmentos de rede é feito de acordo com a evolução da taxa de penetração, isto é, os seus equipamentos apenas são instalados à medida que a taxa de penetração vai aumentando (*pay-as-you-grow*). No entanto, na *Feeder Network* é necessário ter em consideração alguns parâmetros de dimensionamento mínimo de forma a se otimizar os investimentos e minimizar as intervenções neste segmento de rede.

Tabela 14 – Dimensionamento mínimo da *Feeder Network*

Dimensionamento mínimo - <i>Feeder Network</i>	
SRO	
Taxa de penetração	0%
Splitters 1:32	2
Número de UA por célula	576
Número de UA máximo p/ 1:8	27

6.7.3 Dimensionamento da *Access Distribution Network*

A *distribution network* representa o segmento da rede de acesso que liga os SRO aos PDO. Neste segmento são utilizados cabos com um número variável de fibras ópticas. No segmento L3 (ver **Figura 83**) utilizam-se cabos de 96 fibras ópticas, enquanto que no segmento L4 (ver **Figura 83**) o tipo de cabo a ser escolhido depende da densidade de UA que se pretende servir, isto é, depende do número de UA na zona (edifício) que se pretende ligar:

- **Alta densidade (32-64 UA):** Cabo de 96 fibras ópticas;
- **Média densidade (17-32 UA):** Cabo de 48 fibras ópticas;
- **Baixa densidade (1-16 UA):** Cabo de 24 fibras ópticas.

O número de cabos a instalar no segmento L4 é igual ao número de PDO necessários na *Drop Network*. [4]

Para média e baixa densidade é necessário dividir os cabos de 96 fibras ópticas em cabos de menor capacidade. Para tal são usadas as juntas (**JFO**) de 96 fibras ópticas.

Para se calcular o número de JFO consideram-se os seguintes parâmetros:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \text{Número de UA médio no edifício} \\ B = \text{Número de cabos de 96 fibras ópticas} \\ C = \text{Número de cabos de 48 fibras ópticas} \\ D = \text{Número de cabos de 24 fibras ópticas} \end{array} \right.$$

Tendo em conta estes parâmetros, o número de JFO necessárias é dado pela seguinte expressão: [4]

$$N_{JFO} = \begin{cases} \text{Se } 33 < A \leq 64 \Rightarrow \frac{B}{1} \\ \text{Se } 17 < A \leq 32 \Rightarrow \frac{C}{2} \\ \text{Se } 1 \leq A \leq 16 \Rightarrow \frac{D}{4} \end{cases}$$

6.7.3.1 Equipamentos Necessários

Neste segmento de rede, a relação de preços entre as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2 é a mesma, ou seja, como partilham o mesmo ODN não haverá alteração dos preços unitários base. A evolução dos mesmos é dada pela fórmula apresentada na **secção 6.6 - Componentes de Rede**. Na tabela seguinte temos representados os equipamentos necessários neste segmento de rede.

Tabela 15 - Equipamentos das tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Equipamento	
Distribuição f.o.	96 f.o.
	JFO
Cablagem	96 f.o.
	48 f.o.
	24 f.o.
	12 f.o.
Mão-de-Obra	
Cablagem	Instalar cabo p/ km
	Preparação cabo p/ km
Distribuição f.o.	Instalar junta
	Fusão
Construção Civil	
	L3
	L4

6.7.3.2 Dimensionamento mínimo da Distribution Network

O dimensionamento da rede de distribuição, paralelamente ao dimensionamento da *feeder network*, é feito de forma progressiva mediante as necessidades de cobertura (*pay-as-you-grow*). Neste segmento da rede são utilizados cabos com um número variável de fibras ópticas. O tipo de cabo a ser escolhido depende da densidade de UA que se pretende servir.

Tabela 16 – Dimensionamento mínimo da *Distribution Network*

Dimensionamento mínimo <i>Distribution Network</i>			
Densidade	Cabos	UA por edifício	
Grande densidade: de 32 a 64 UA	96	64	33
Média densidade: de 16 a 32 UA	48	32	17
Baixa densidade: de 0 a 16 UA	24	16	1

6.7.4 Dimensionamento da *Drop Network*

O *drop network* é o último segmento da rede de acesso e localiza-se no edifício ou urbanização onde se situam os assinantes.

São considerados três tipos de edifícios para o dimensionamento desta *drop network*: o MDU (*Multi-dwelling Unit*), que simboliza um edifício de apartamentos residenciais e SFU (*Single Family Unit*) que representa uma moradia familiar num bairro residencial, e um edifício empresarial que pode conter apenas uma empresa (Mono-empresa) ou mais (Multi-empresa).

A *drop network* é subdividida em dois *drops*: o primeiro denomina-se *building drop* e representa o segmento que vai desde o PDO até aos diversos pisos onde se encontram os assinantes; o segundo representa a ligação entre o *building drop* e o equipamento terminal (ONU) e é denominado de *client drop*.

A solução adoptada para os edifícios é a **Floor box drop**, que exige que o edifício possua uma coluna de distribuição de cabos, ligada a várias *floor box* que permitem distribuir fibras por vários pisos. Cada *floor box* permite servir um número variado de pisos por dois motivos: cada *floor box* possui uma determinada quantidade de fibra óptica e cada piso possui um número variado de UA. Normalmente é utilizada em edifícios com número de UA superior a 24 UA, ou seja, em média é necessário ligar 7 pisos por edifício.

As características médias dos edifícios a ligar estão descritas na seguinte tabela. Esta tabela é considerada para qualquer solução da *drop network*, com excepção os bairros residenciais constituídos por moradias unifamiliares (SFU).

Tabela 17 – Características dos Edifícios

Número de andares	# UA	Comprimento (km)	Comprimento acumulado (km)	Floor Box
1	4	0,002	0,002	1
2	8	0,004	0,006	1
3	12	0,006	0,012	1
4	16	0,008	0,02	2
5	20	0,01	0,03	2
6	24	0,012	0,042	2
7	28	0,014	0,056	3

Na figura seguinte está representada a arquitectura adoptada na *drop network*, que exige que a instalação seja realizada no interior do edifício. Os procedimentos realizados são: instalação do PDO do edifício e do cabo raiser estendido na coluna do edifício até aos clientes. A união entre o cabo interior e o do PDO é realizada através da fusão de um pigtail a este Cada *floor box* permite servir diversos pisos e de cada *floor box* serão retiradas as fibras que realizaram o contacto com o *drop cliente* individual. A cada fibra óptica vai estar associada 2 conectores campo e a tomada terminal.

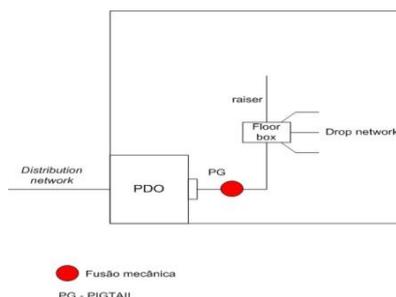


Figura 87 – Arquitectura da *drop network*: Solução *floor box drop* [39]

As relações existentes entre os elementos constituintes desta rede são simples, a cada edifício está associado 1 PDO, a cada PDO estão associadas n fibras ópticas, em que n é o número de assinantes do edifício. Vai existir 1 *pigtail* por cada fibra óptica e portanto é feita uma fusão mecânica por cada fibra óptica. Os cabos *raiser* vão conter n fibras ópticas e o número de *floor box* vai variar dependendo do número de assinantes, umas vez que estes são capazes de servir clientes de 3 pisos diferentes. As *floor box* consideradas para os casos de estudo têm ou 4 ou 10 fibras ópticas.

A mão-de-obra associada a esta configuração é: instalar a caixa (PDO), efectuar a fusão com o *pigtail*, instalar o cabo *raiser* de fibra, e instalar as respectivas *floor box*. Para esta solução existe um trabalho extra que é o trabalho de separar a fibra do cabo *raiser* antes efectuar a fusão mecânica com a fibra, que provêm da *floor box*, com a fibra que irá ligar ao equipamento terminal (ONU).

A solução adoptada para moradias unifamiliares obriga à criação de agregados, servidas pelo mesmo PDO, com um máximo de 24 moradias, ou seja até 24 UA (Unidades de Assinantes). Após a instalação do PDO no exterior, as fibras provenientes da *distribution network* são colocadas no PDO e são conectadas a um *pigtail*, individual para cada fibra, que será fundido com as fibras do cabo exterior. Deste cabo serão retiradas as fibras que realizaram o contacto com o *drop cliente* individual a cada moradia.

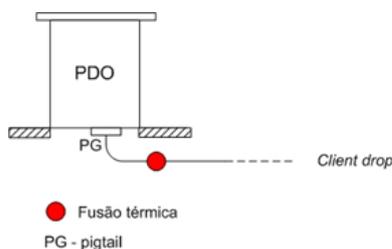


Figura 88 – Arquitectura da *drop network*: Solução Moradias Familiares (SFU) [39]

As relações existentes entre os elementos constituintes desta rede são as seguintes, 1 PDO exterior por cada 24 moradias, com n fibras, que correspondem ao número de assinantes do “bairro”. A cada fibra óptica vai estar associada um *pigtail* e cada cabo exterior vai ser constituído por n fibras ópticas. A mão-de-obra associada a esta instalação é: instalar a caixa (PDO), efectuar a fusão térmica com o *pigtail*, instalar o cabo de fibra.

6.7.4.1 Equipamentos Necessários

Nas tabelas seguintes encontram-se as listas detalhadas dos equipamentos necessários em cada situação: **MDU**, **SFU** e **Multi-empresa/Mono-empresa**, e a sua respectiva mão-de-obra.

Tabela 18 – Equipamento Drop Edifício e Drop Cliente para os MDU, SFU, Multi e Mono Empresas

Equipamento (MDU)		Equipamento (SFU)		Equipamento (Multi-empresa e Mono-empresa)	
Drop Edifício	Splitter PDO 1:4	Drop Edifício	Splitter PDO 1:4	Drop Edifício	Splitter PDO 1:4
	Splitter PDO 1:8		Splitter PDO 1:8		Splitter PDO 1:8
	Splitter PDO 1:32		-		Splitter PDO 1:32
	PDO 6FO		PDO 6FO		PDO 6FO
	PDO 12FO		PDO 12FO		PDO 12FO
	PDO 24FO		PDO 24FO		PDO 24FO
	PDO 36FO		-		PDO 36FO
	PDO 48FO		-		PDO 48FO
	PDO 72FO		-		PDO 72FO
	Cabo Raiser 12FO		Cabo 6FO		Cabo Raiser 12FO
	Cabo Raiser 24FO		Cabo 12FO		Cabo Raiser 24FO
	Cabo Raiser 36FO		Cabo 24FO		Cabo Raiser 36FO
	Cabo Raiser 48FO		-		Cabo Raiser 48FO
	Floor box 4FO		-		Floor box 10FO
Floor box 10FO	-	Floor box 4FO			
Drop Cliente	Cabo 1FO	Drop Cliente	Cabo 1FO	Drop Cliente	Cabo 1FO
	Pigtail (2 m)		Pigtail (2 m)		Pigtail (2 m)
	Conectores Campo		Conectores Campo		Conectores Campo
	Tomada Terminal		Tomada Terminal		Tomada Terminal
	ONU/ONT		ONU/ONT		Fusão mecânica
ONU empresa	ONU empresa	ONU Multi/Mono Empresa			

Tabela 19 – Mão-de-Obra (MDU, SFU, Multi e Mono Empresas)

Mão-de-obra (MDU)		Mão-de-obra (SFU)		Mão-de-obra (Multi-empresa e Mono-empresa)	
Drop Edifício	Instalar Caixa (PDO)	Drop de edifício	Instalar Caixa (PDO)	Drop Edifício	Instalar Caixa (PDO)
	Instalar Caixa (Caixa Raiser/Floor Box)		-		Instalar Cabo raiser p/ km
	Instalar Cabo raiser p/ km		Instalar Cabo p/ km		Instalar Caixa (Caixa Raiser/Floor Box)
	Fusão térmica (instalar pigtail)		Fusão térmica (instalar pigtail)		Fusão térmica (instalar pigtail)
Drop Cliente	Instalar Cabo p/ km	Drop Cliente	Instalar Cabo	Drop Cliente	Instalar Cabo p/ km
	Instalar Tomada		Instalar Tomada		Instalar Tomada
	Instalar Conector campo		Instalar Conector campo		Instalar Conector campo
	Separar o raiser		-		Separar o raiser
	Fusão mecânica		-		Fusão mecânica

6.7.4.2 Caracterização dos edifícios a ligar

Nas tabelas seguintes estão descritas as características dos edifícios onde será implementada a tecnologia GPON, XGPON1 ou XGPON2, quer para zonas residenciais em edifícios (MDU: *Multi-dwelling Unit*) ou de moradias (SFU: *Single Family Unit*), quer para zonas empresariais Multi-empresa ou Mono-empresa.

Tabela 20 – Características dos edifícios

Características			
Parâmetros (MDU)		Parâmetros (SFU)	
Número de Pisos (média)	7	Urbanização / Agregado (<=24 UA)	24
Número de Frações Autónomas por Piso (média)	4		
Número de Frações Autónomas do Edifício (média)	28	Comprimento médio das ligações drop (km)	0,02
Número de fibras por fracção autónoma	1	Comprimento médio das ligações drop cliente (km)	0,02
Comprimento médio das ligações (km)	0,002	Número de fibras por fracção autónoma	1

Parâmetros Multi-empresa	
Nº médio de pisos por edifício	7
Nº médio de empresas por edifício	7
Parâmetros Mono-empresa	
Nº médio de pisos por edifício	7
Comprimento médio das ligações drop (km)	0,14
Comprimento médio das ligações drop cliente (km)	0,02

6.7.5 Aspectos financeiros

Para se construir um modelo de avaliação económica são necessários alguns parâmetros de natureza financeira. Estes parâmetros encontram-se representados na tabela seguinte:

Tabela 21 – Aspectos financeiros

Aspectos financeiros	
Receitas	
Taxa de erosão das tarifas	5,00%
CAPEX	
Taxa de actualização	5,00%
OPEX	
% CAPEX para OPEX	10,00%
Valor por utilizador UA	120,00 €
Valor por utilizador Empresa	200,00 €
Resultados	
Taxa de Juro Actual	5%

A taxa de erosão aplicada às tarifas mensais dos serviços oferecidos aos assinantes é de 5% e no CAPEX é aplicada uma taxa de actualização do mesmo valor. O OPEX vai ser calculado considerando uma percentagem de 10% do valor do CAPEX. Nos resultados, o VAL e o TIR são calculados considerando uma taxa de Juro de 5%.

6.8 Cenário 1

Na figura que se segue encontra-se representada a configuração genérica de uma rede GPON. É no **Central Office**, ligado à *rede core*, que se encontram as OLT (*Optical Line Termination*), os ODF (*Optical Distribution Frame*) e o primeiro andar de *splitting* (1:2). A **Feeder Network** (ou Rede Primária) é constituída por cabos de fibra óptica que ligam o C.O. ao armário de rua (SRO - Sub-Repartidor Óptico) onde se pode encontrar o segundo andar de *splitting*. A **Distribution Network** (ou Rede de Distribuição) é um segmento de rede constituído pelos cabos de fibra óptica que ligam o SRO ao PDO (Ponto de Distribuição Óptica). Os **PDO** são armários onde podem ser colocados *splitters* de terceiro andar, possibilitando a evolução da rede e permitindo a implementação de novas tecnologias. O último segmento da rede será a **Drop Network** (ou Rede do Cliente) que é constituída pelos cabos de fibra óptica que ligam o PDO às residências dos assinantes e pelos respectivos CPE.

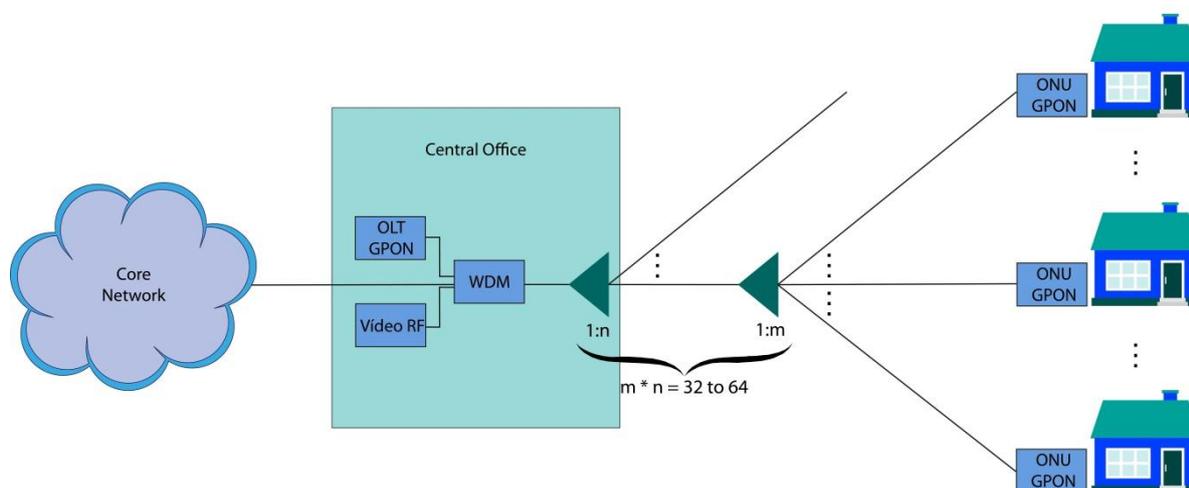


Figura 89 – Cenário 1 a) Tecnologia GPON

Esta configuração permite a opção de se usar um único andar de divisão onde $m=64$ e $n=1$ (não é necessário a implementação do *splitter* no *central office*) ou utilizar dois andares de divisão onde $m=32$ e $n=2$. Para a análise económica realizada foi escolhida a opção de usar dois andares de *splitting*, o primeiro no *Central Office* (1:2) e o segundo no armário de rua (1:32).

A configuração adoptada suporta os requisitos mínimos para a transição da GPON para a XGPON1 (ver Figura 90), de forma a permitir a coexistência das duas tecnologias.

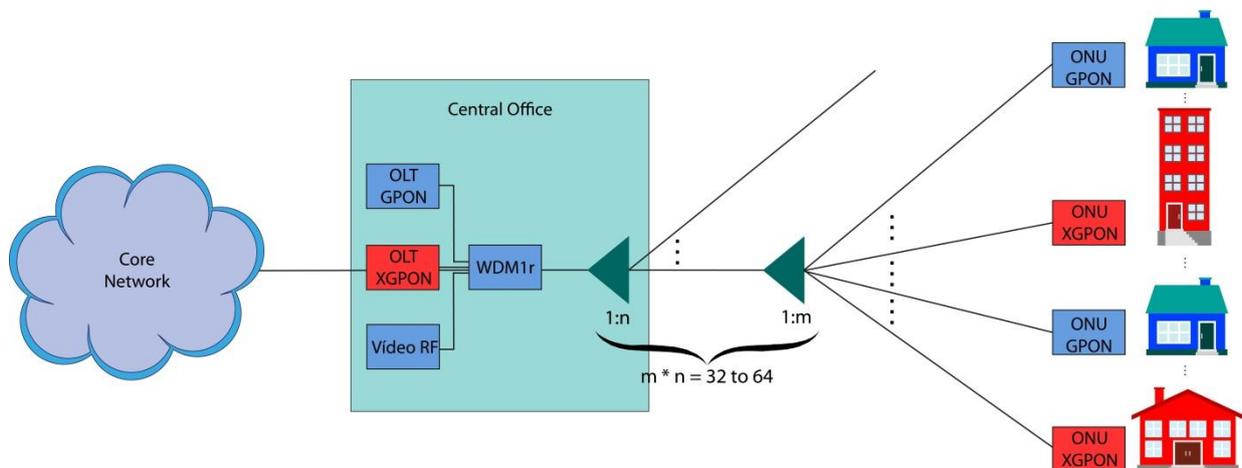


Figura 90 – Cenário 1 b) Tecnologia XGPON1

Com a mesma configuração também é possível a transição da XGPON1 para a XGPON2 (ver Figura 91), de forma a permitir a coexistência das três tecnologias num mesmo ODN.

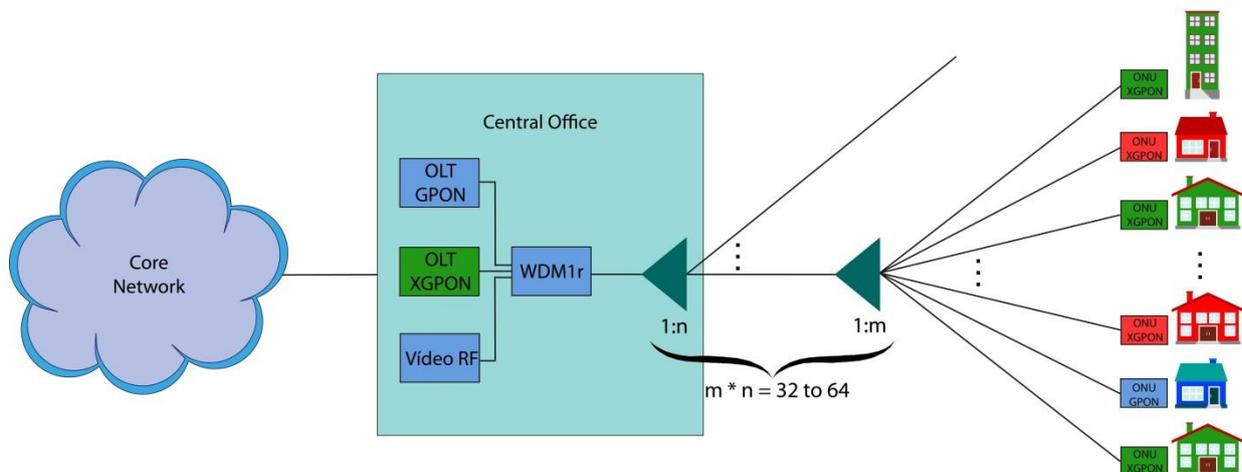


Figura 91 - Cenário 1 c) Tecnologia XGPON2

Para esta configuração foram analisados os investimentos necessários para a implementação das tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2. Para tal dividiu-se a rede em quatro segmentos:

- **Central Office;**
- O primeiro segmento liga o *Central Office* ao armário de rua (SRO), constituindo a rede primária ou **Feeder Network**;
- O segundo segmento liga o primeiro segmento ao ponto de distribuição óptico (PDO), constituindo a rede de distribuição ou **Distribution Network**;

- O terceiro segmento liga o ponto de distribuição às instalações dos assinantes (UA ou Empresas), constituindo a **Drop Network**.

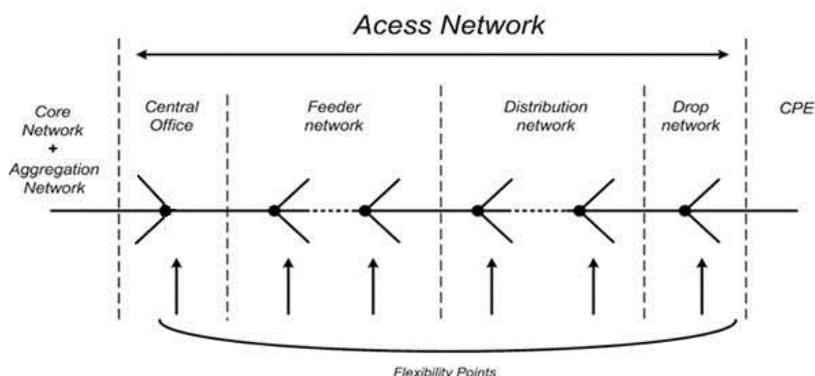


Figura 92 - Posição de diversos pontos de flexibilidade numa rede de acesso [39]

6.8.1 Central Office

O *Central Office* é o segmento em que se encontram os equipamentos activos mais relevantes para uma rede óptica passiva, pois estes equipamentos comunicam com a rede *core* e a rede de acesso e permitem a troca de informação entre os dois segmentos de rede até ao utilizador final.

No *Central Office* existe uma correlação entre todos os equipamentos. É necessário uma OLT para terminar cada ligação de fibra óptica. Cada OLT é constituída por 16 cartas, e cada carta estão associadas 4 portos. Considera-se que a cada porto OLT estão ligados 64 assinantes. Também são necessários equipamentos como amplificadores RF, WDM *Combiners* e ODF. O número de portos OLT é igual ao número de portos RF para a tecnologia GPON. Os sinais que saem destes equipamentos vão ser combinados num WDM *Combiner*, a partir do qual são enviados através da mesma fibra óptica, utilizando comprimentos de onda diferentes. A cada WDM *Combiner* estão ligados os portos RF e os portos provenientes da OLT, no caso da GPON é um porto, no caso da XGPON são dois portos. Este WDM *Combiner* está ligado a um adaptador que funciona como um ponto de passagem entre os WDM *Combiners* e os *splitters* 1:2.

No **Cenário 1** considera-se que todos os portos OLT vão ser ligados a *splitter* 1:2. A ligação entre as fibras do *Central Office* e as fibras dos cabos da *feeder network* é feita no ODF, que é constituído por Módulos de Fusão, onde todas as fibras vão ser fundidas.

Para este cenário, determinaram-se os investimentos por componente que se encontram nas figuras seguintes.

6.8.1.1 Investimento em Equipamento

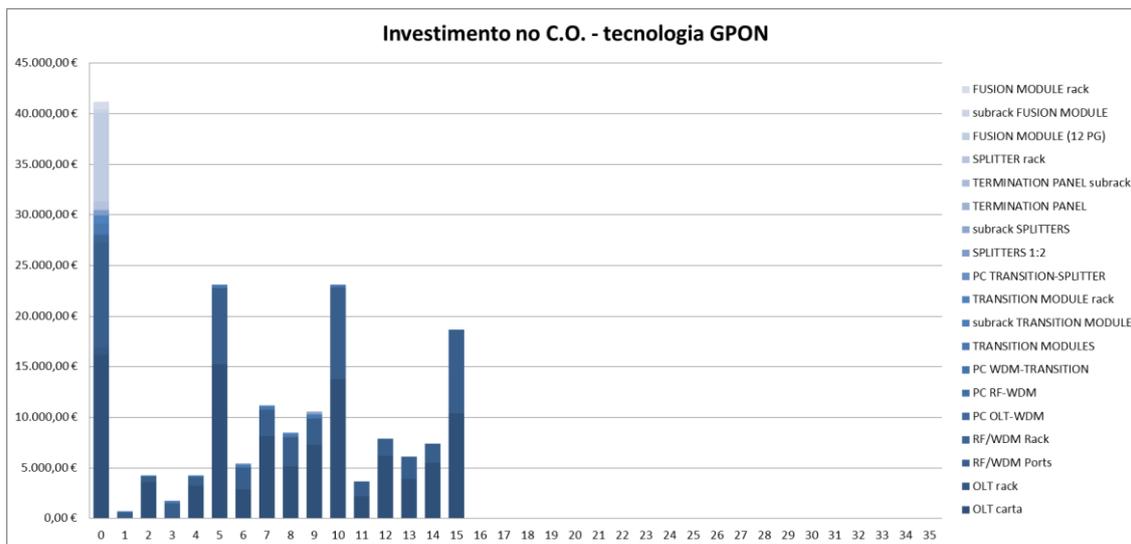


Figura 93 - Investimento em equipamento no *Central Office* ao longo dos anos com a tecnologia GPON

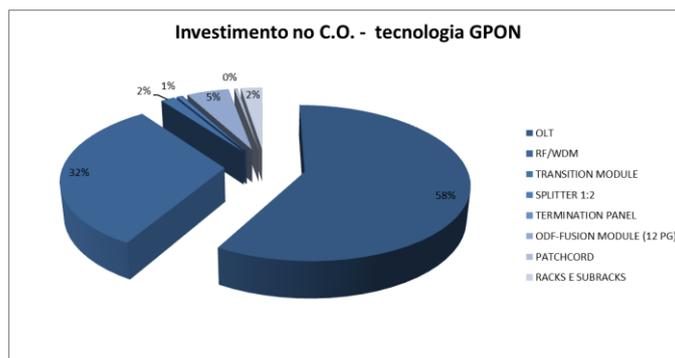


Figura 94 - Investimento em equipamento no *Central Office* com a tecnologia GPON

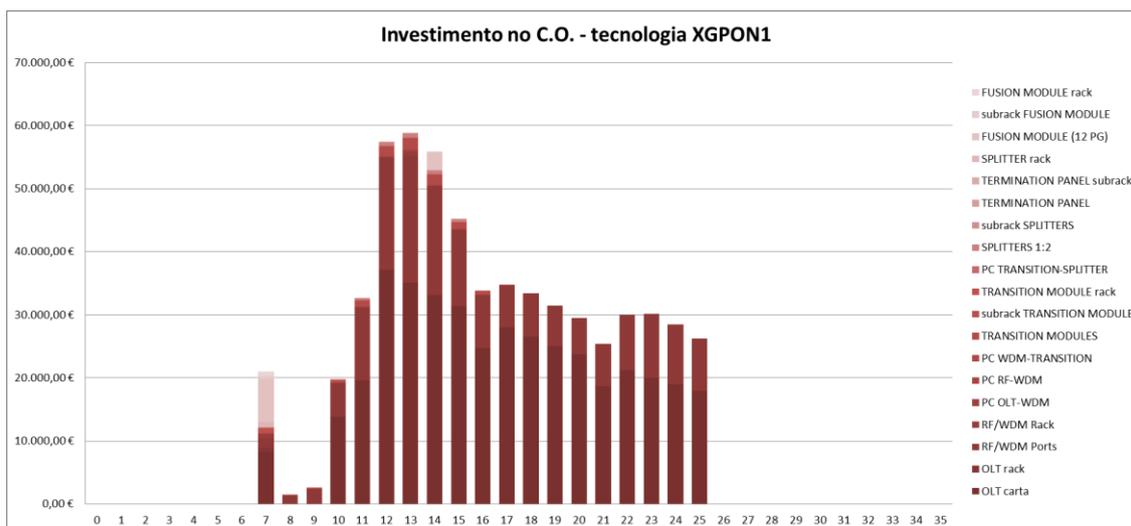


Figura 95 - Investimento em equipamento no *Central Office* ao longo dos anos com a tecnologia XGPON1

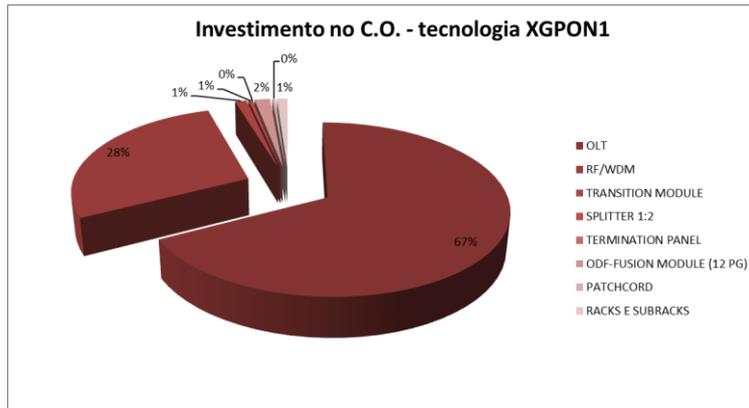


Figura 96 - Investimento em equipamento no *Central Office* com a tecnologia XGPON1

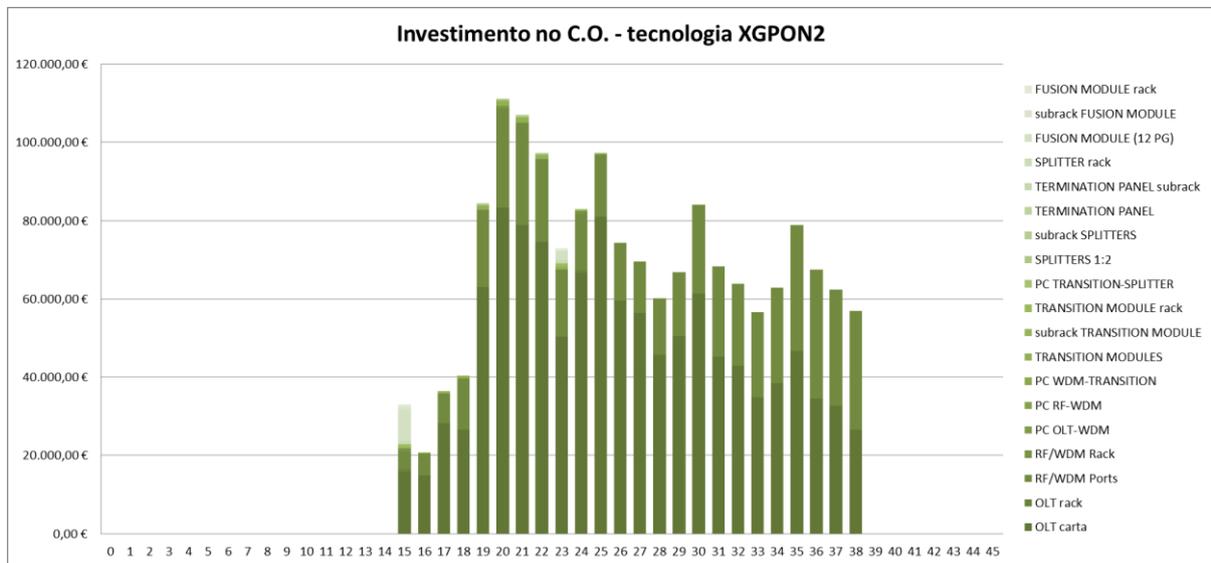


Figura 97 - Investimento em equipamento no *Central Office* ao longo dos anos com a tecnologia XGPON2

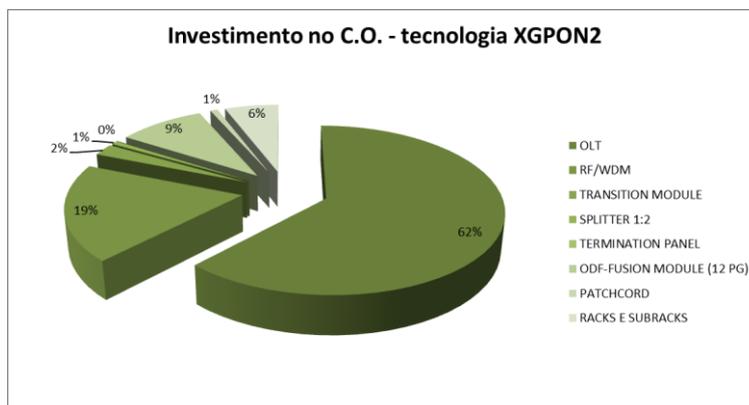


Figura 98 - Investimento em equipamento no *Central Office* com a tecnologia XGPON2

Como se pode observar pela análise dos gráficos anteriores, grande parte dos custos estão associados às cartas OLT (portos OLT) e ao WDM *Combiner* (portos RF/WDM). No caso da tecnologia GPON associados aos portos OLT está 58% do investimento total em equipamento e 32% aos portos RF/WDM. No caso da tecnologia XGPON1 estão associados os valores de 67% e 28% respectivamente e 62% e 19% para a tecnologia XGPON2.

Na primeira tecnologia a ser implementada, a GPON, cerca de 30% dos investimentos são feitos no ano inicial do projecto, pois é imperativo instalar todos os equipamentos necessários para servir esse número pequeno de assinantes. Com o aumento da adesão dos clientes aos serviços oferecidos, a capacidade máxima dos equipamentos instalados vai ser atingida e então, será necessário realizar novos investimentos.

6.8.1.2 Investimentos totais no Central Office

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos totais realizados no *Central Office* para as 3 tecnologias, ao longo da duração do projecto.

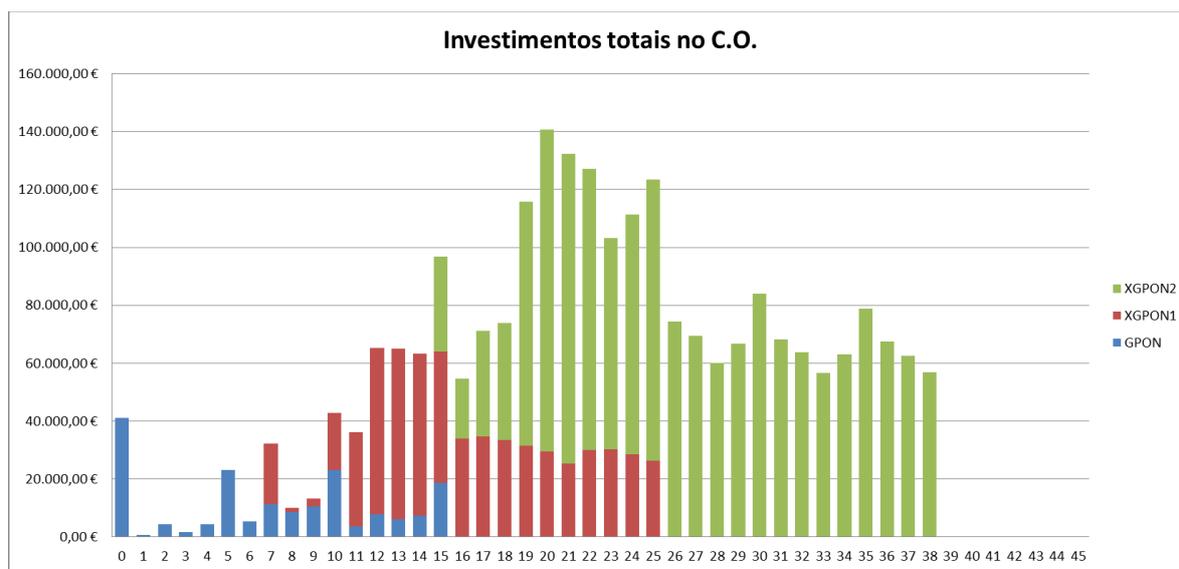


Figura 99 – Investimentos totais no *Central Office* ao longo dos anos com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

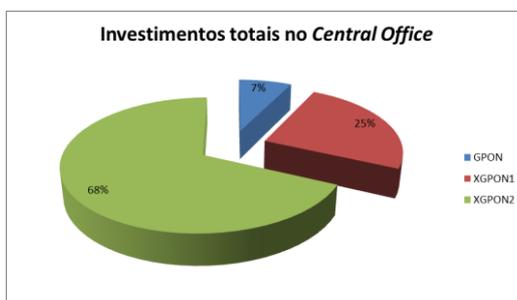


Figura 100 – Investimentos totais no *Central Office* com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

A primeira tecnologia a ser implementada será a GPON, depois a XGPON1 e por fim a XGPON2. Sendo que a tecnologia a implementar seguinte será sempre evolução da primeira e portanto, apresentará as mesmas características base. O reaproveitamento dos equipamentos neste segmento de rede é então possível e concretizado à excepção das OLT e de todos os equipamentos que a constituem. O número de portos no WDM *Combiner* aumenta com o surgimento de uma nova tecnologia, uma vez que é essencial para que estas partilhem o mesmo ODN.

A substituição dos equipamentos activos (OLT e RF/WDM *Combiner*) é feita de 5 em 5 anos, em qualquer uma das tecnologias, daí existirem investimentos mesmo quando se dá a saturação da tecnologia.

Nas tabelas seguintes estão detalhados valores dos investimentos em equipamentos de cada tecnologia. A relação entre os preços unitários dos componentes está descrita na **secção 6.6**.

Tabela 22 - Investimento no *central office* ao longo dos anos com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

C.O. GPON	Valor total	C.O. XGPON1	Valor total	C.O. XGPON2	Valor total
OLT	103.544,31 €	OLT	403.141,66 €	OLT	1.158.555,12 €
RF/WDM	56.198,74 €	RF/WDM	167.143,60 €	RF/WDM	466.364,99 €
TRANSITION MODULE	2.965,10 €	TRANSITION MODULE	7.339,27 €	TRANSITION MODULE	5.946,80 €
SPLITTER 1:2	1.110,27 €	SPLITTER 1:2	2.427,54 €	SPLITTER 1:2	1.806,82 €
TERMINATION PANEL	0,00 €	TERMINATION PANEL	0,00 €	TERMINATION PANEL	0,00 €
ODF-FUSION MODULE (12 PG)	8.792,91 €	ODF-FUSION MODULE (12 PG)	9.726,74 €	ODF-FUSION MODULE (12 PG)	10.107,86 €
PATCHCORD	705,22 €	PATCHCORD	1.855,58 €	PATCHCORD	1.810,36 €
RACKS E SUBRACKS	4.473,13 €	RACKS E SUBRACKS	6.650,00 €	RACKS E SUBRACKS	10.789,50 €
Total	177.789,68 €	Total	598.284,39 €	Total	1.655.381,45 €

6.8.2 Feeder Network

Este segmento de rede é constituído por cabos de 288 fibras ópticas, dos quais cerca de 20% é fibra escura, numa topologia em árvore, ligando o *Central Office* aos armários de rua (SRO). Nestes armários de rua é colocado o segundo andar de *splitting*, no caso deste Cenário 1 serão implementados *splitters* de 1:32. Numa primeira fase serão respeitados os dimensionamentos mínimos e depois tanto os armários de rua como os *splitters* vão ser instalados à medida que a taxa de adesão aumenta.

Nas secções seguintes estarão representados gráficos correspondentes ao investimento em equipamento, em mão-de-obra e em construção civil para cada tecnologia implementada.

6.8.2.1 *Investimento em Equipamento*

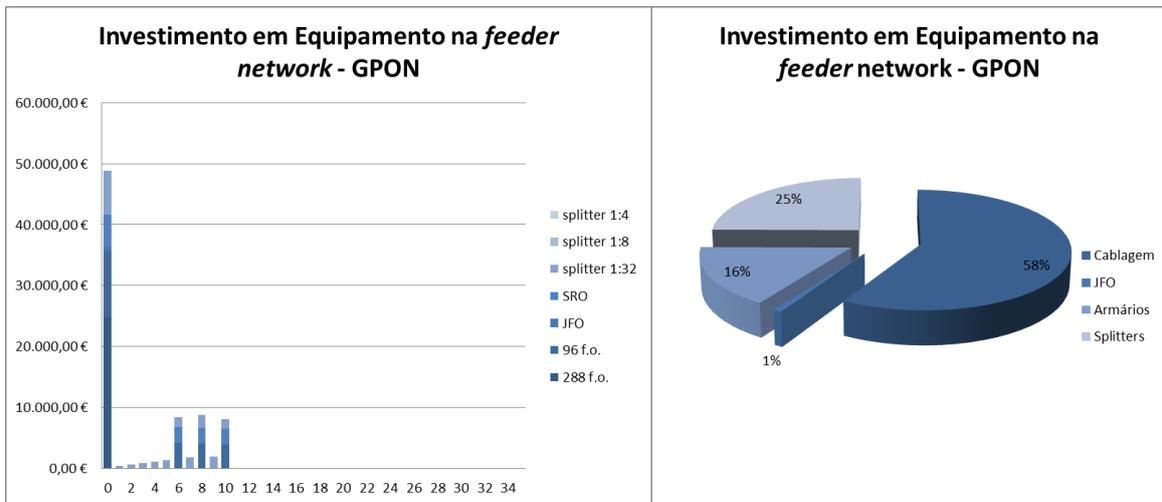


Figura 101 - Investimento em equipamento na *feeder network* com a tecnologia GPON

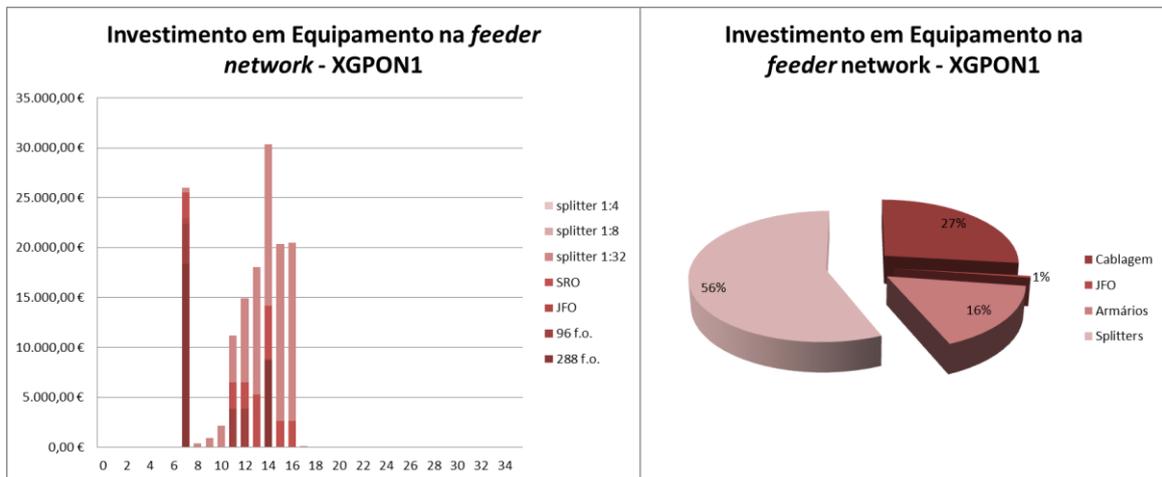


Figura 102 - Investimento em equipamento na *feeder network* com a tecnologia XGPON1

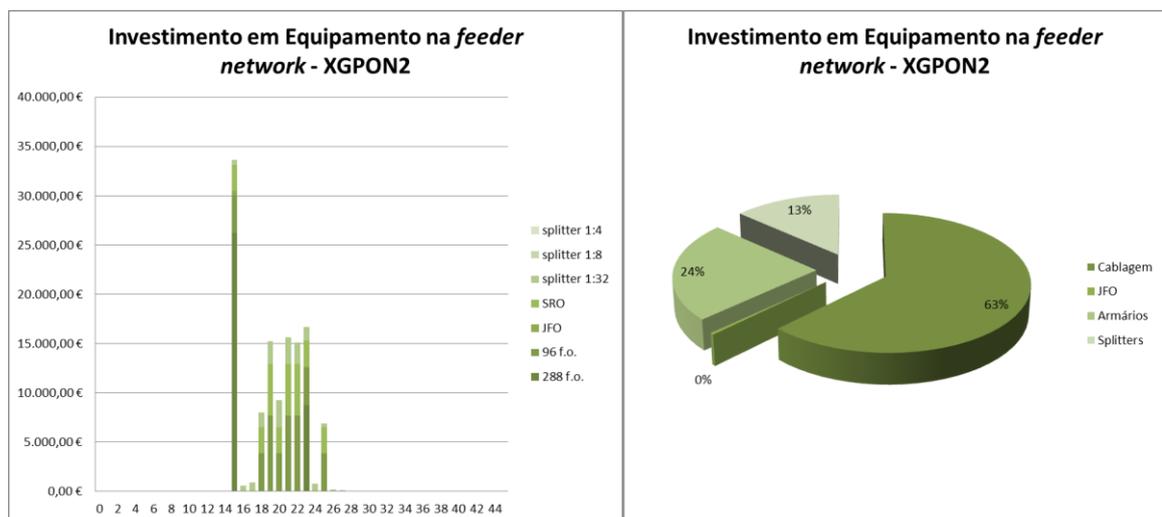


Figura 103 - Investimento em equipamento na *feeder network* com a tecnologia XGPON2

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos em equipamento totais realizados na *Feeder Network* para as 3 tecnologias, ao longo da duração do projecto. No ano de surgimento da tecnologia GPON é implementado 60% do equipamento necessário dessa tecnologia neste segmento de rede, enquanto que a XGPON1 quando surge vai reaproveitar o equipamento que não tenha atingido a sua saturação, instalando 30% do equipamento total necessário. Processo semelhante acontece no surgimento da XGPON2. Os investimentos em equipamento mais relevantes são os cabos de fibra óptica.

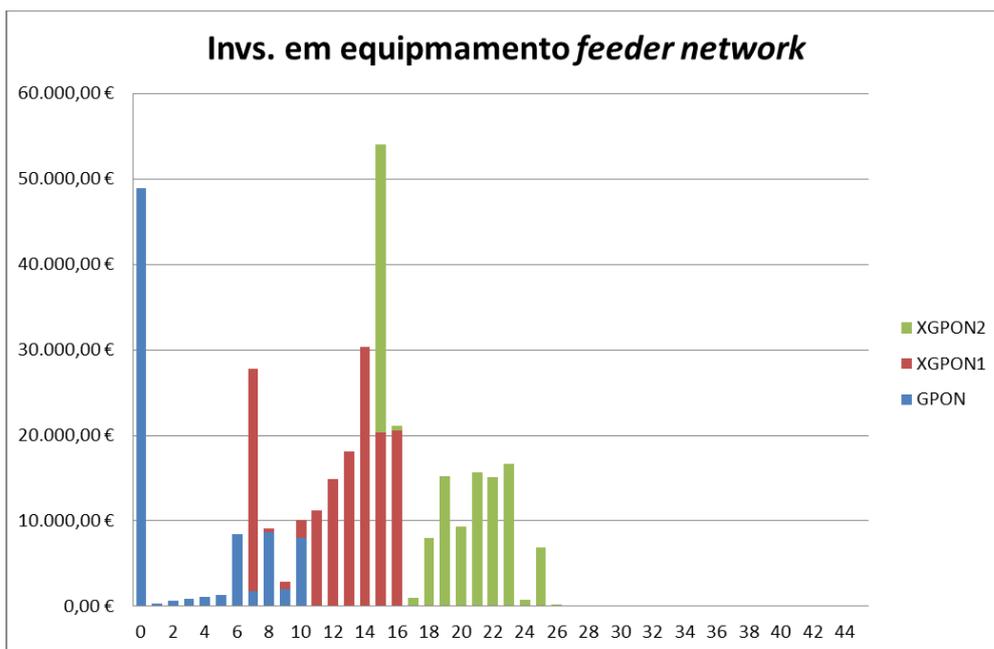


Figura 104 - Investimento total em equipamento na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPO1 e XGPON2

Na figura seguinte está representado o rácio dos investimentos em equipamentos realizados neste segmento de rede, ao longo de toda a duração do projecto. Verifica-se uma subida gradual desde a primeira tecnologia implementada até à última considerada. Este aumento é justificado pelo aumento de número de clientes a serem servidos por cada tecnologia.

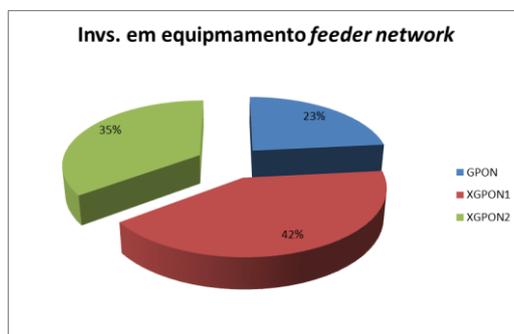


Figura 105 - Investimento total em equipamento na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPO1 e XGPON2

6.8.2.2 **Mão-de-obra**

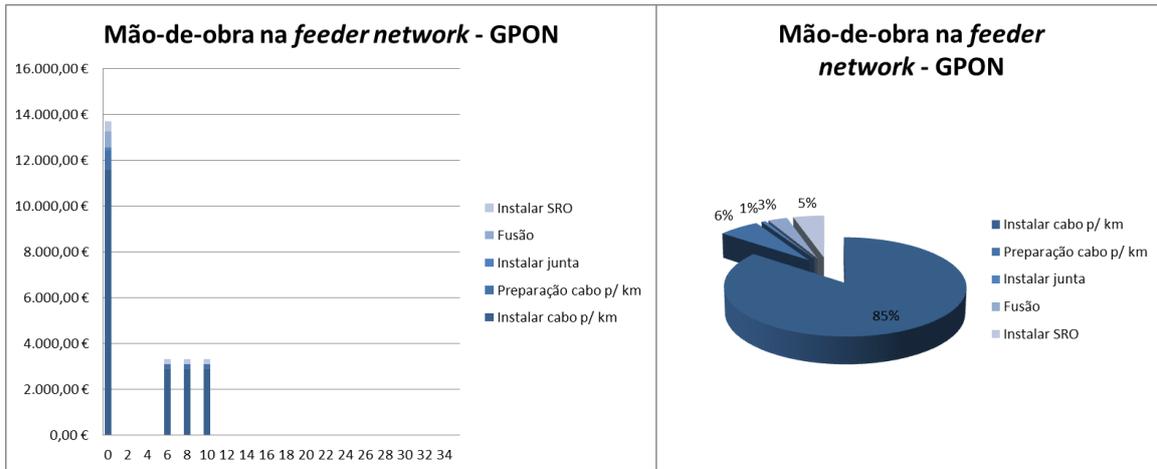


Figura 106 - Mão-de-obra na feeder network com a tecnologia GPON

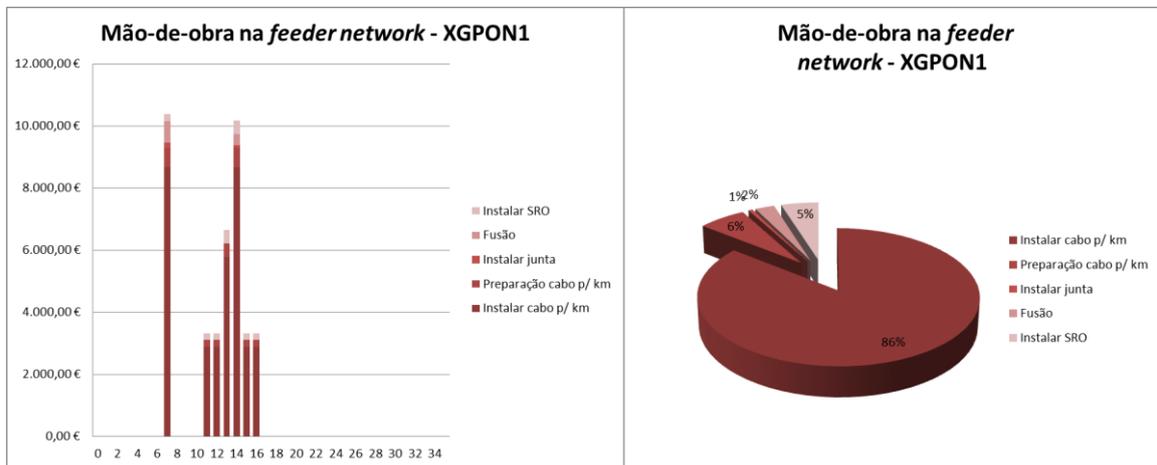


Figura 107 - Mão-de-obra na feeder network com a tecnologia XGPON1

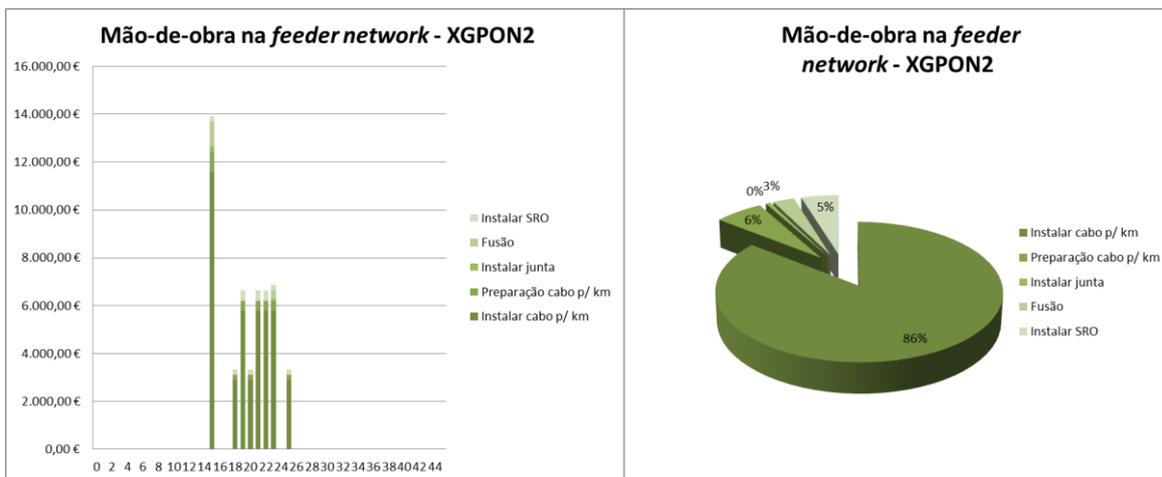


Figura 108 - Mão-de-obra na feeder network com a tecnologia XGPON2

A mão-de-obra necessária é: a preparação dos cabos, instalação dos cabos, instalação da junta e a fusão entre as fibras (JFO). Como se verifica, pela análise dos gráficos anteriores, cerca de 85% dos investimentos totais da mão-de-obra correspondem à instalação dos cabos de fibra óptica por quilómetro. No ano de aparecimento de uma tecnologia nova é imperativo respeitar o dimensionamento mínimo, daí se justifica que grande percentagem da mão-de-obra total seja feita nesse ano.

Na figura seguinte podem observar-se os custos em mão-de-obra realizados na *Feeder Network* para as 3 tecnologias, ao longo da duração do projecto.

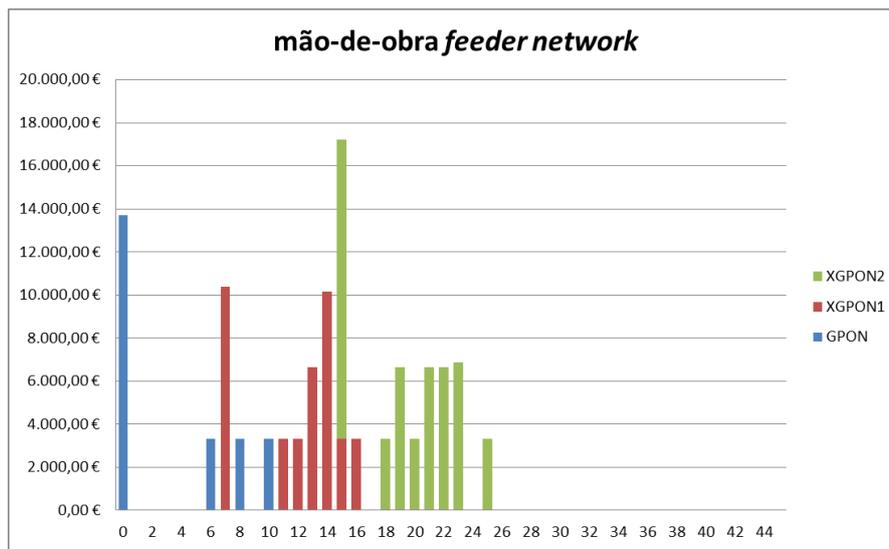


Figura 109 - Mão-de-obra total na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Na figura seguinte está representado o rácio dos investimentos em mão-de-obra neste segmento de rede, ao longo de toda a duração do projecto.

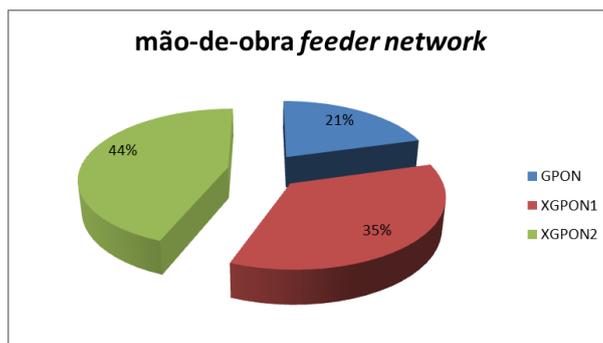


Figura 110 - Mão-de-obra total na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Como seria de esperar, a tecnologia XGPON2, uma vez que serve um maior número de clientes, irá ter custos de mão-de-obra superiores associados.

6.8.2.3 Construção Civil

Nas figuras seguintes podem observar-se os custos em construção civil realizados na *Feeder Network* para as 3 tecnologias, ao longo dos anos e o rácio do investimento por diferentes segmentos (L1 ou L2).



Figura 111 - Construção civil na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Os investimentos em construção civil são os investimentos mais significativos de toda a implementação de uma rede, para qualquer que seja a tecnologia em questão. Dependem do tipo do solo da área a implementar, e são contabilizados ao quilómetro. Os investimentos em construção civil concentram-se no segmento L2.

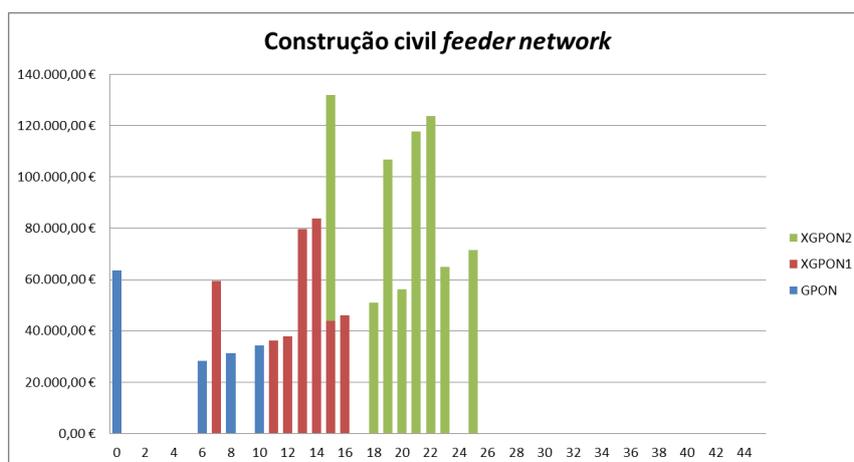


Figura 112 – Construção civil na *feeder network* ao longo dos anos com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

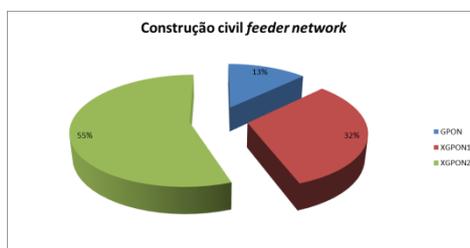


Figura 113 - Construção civil total na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

6.8.2.4 Investimentos totais na feeder network

Como foi referido anteriormente, o serviço do número mínimo de clientes é assegurado por um dimensionamento mínimo do segmento de rede. Na figura seguinte podem observar-se os investimentos totais das 3 tecnologias na *feeder network*, ao longo dos anos.

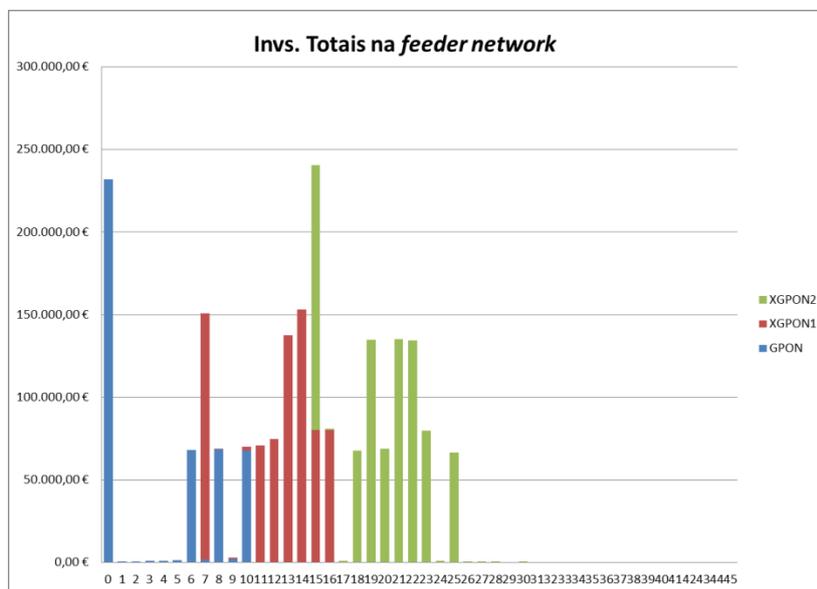


Figura 114 - Investimentos totais na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

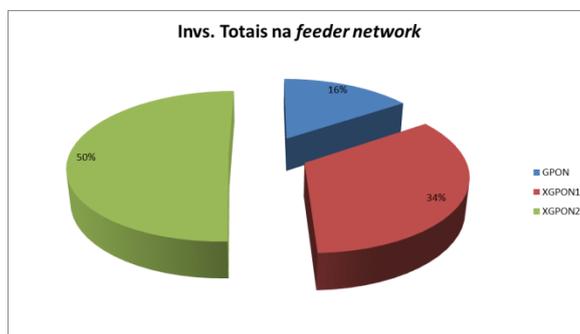


Figura 115 - Investimentos totais na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Uma vez que as tecnologias implementadas têm uma evolução contínua, o reaproveitamento das infraestrutura neste segmento de rede é concretizado, no mesmo ODN.

Nas tabelas seguintes estão detalhados valores dos investimentos totais de cada tecnologia. A relação entre os preços unitários dos componentes está descrita na **secção 6.6**

Tabela 23 - Investimentos totais na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

<i>feeder network</i> GPON	Valor total	<i>feeder network</i> XGPON1	Valor total	<i>feeder network</i> XGPON2	Valor total
Construção civil	157.492,33 €	Construção civil	387.327,58 €	Construção civil	680.014,78 €
Mão de obra	23.680,94 €	Mão de obra	40.508,64 €	Mão de obra	50.686,70 €
Equipamento	81.908,21 €	Equipamento	145.076,65 €	Equipamento	123.233,37 €
Total	263.081,48 €	Total	572.912,87 €	Total	853.934,84 €

6.8.3 Distribution Network

A *distribution network* representa o segmento da rede de acesso que liga os SRO aos PDO. Nas secções seguintes estarão representados gráficos correspondentes ao investimento em equipamento, em mão-de-obra e em construção civil para cada tecnologia implementada.

6.8.3.1 Investimento em Equipamento

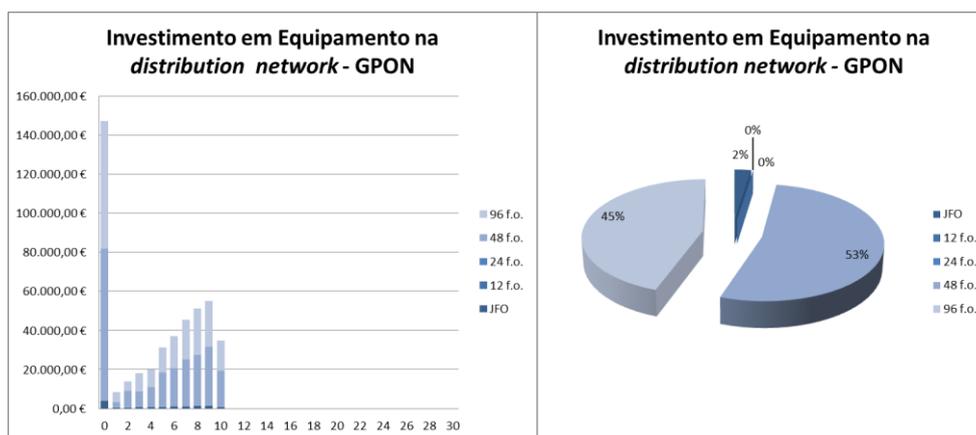


Figura 116 - Investimento em equipamento na *distribution network* com a tecnologia GPON

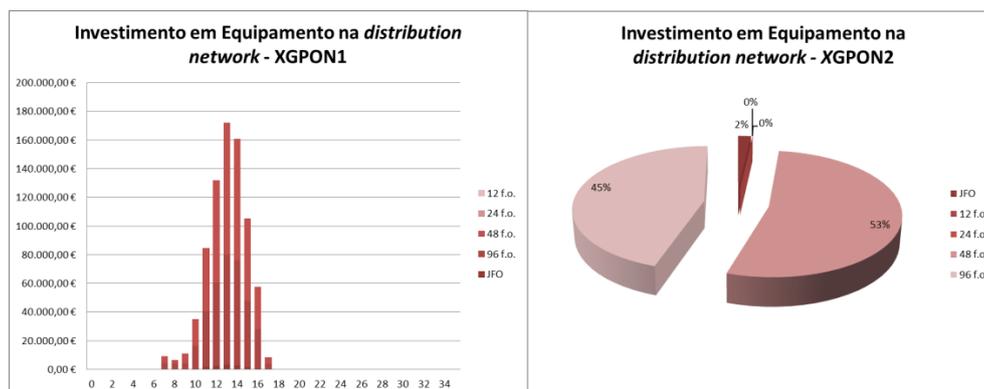


Figura 117 - Investimento em equipamento na *distribution network* com a tecnologia XGPON1

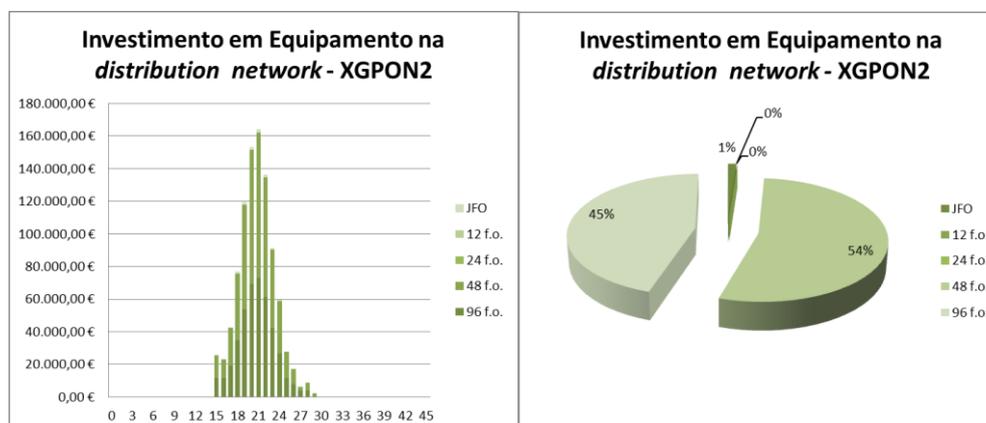


Figura 118 - Investimento em equipamento na *distribution network* com a tecnologia XGPON2

Como referido anteriormente, neste segmento são utilizados cabos com um número variável de fibras ópticas: no segmento L3 utiliza-se cabos de 96 fibras ópticas e no segmento L4 o tipo de cabo a ser escolhido depende da densidade de assinantes que se pretende servir, permitindo uma maior capilaridade da rede.

Pela análise das figuras anteriores verifica-se um investimento quase total em cabos de 96 fibras ópticas (L3) e em cabos de 48 fibras ópticas (L4), independentemente da tecnologia escolhida.

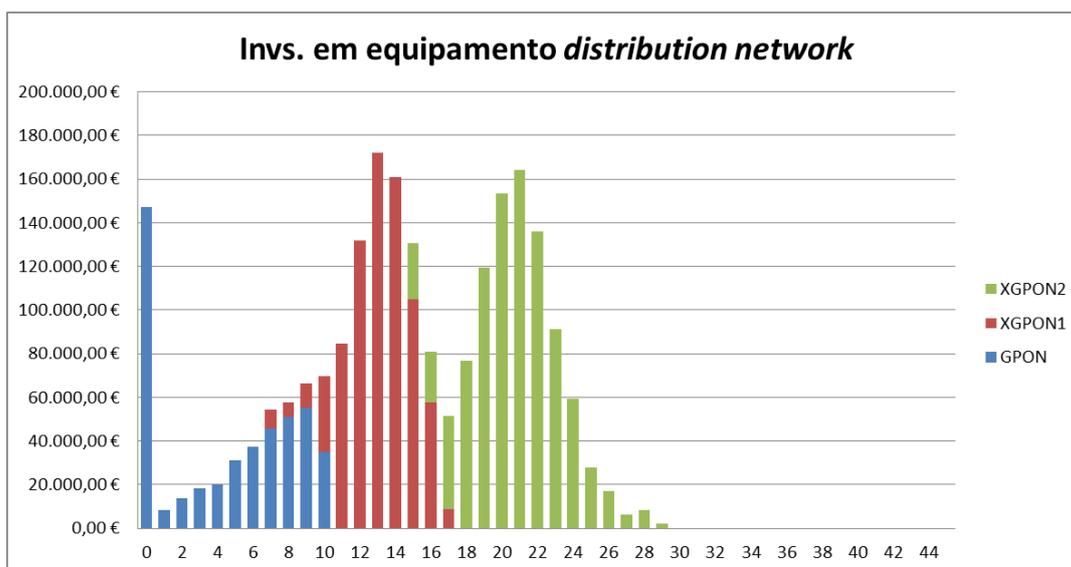


Figura 119 - Investimento total em equipamento na *distribution network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

No ano inicial do projecto é feito um investimento cerca de 35% com a tecnologia GPON. Assim como acontecia na *feeder network*, quando se dá a transição de uma tecnologia para outra, as infraestruturas e equipamentos são reaproveitados, logo não é necessário um investimento tão elevado no início destas tecnologias (XGPON1 e XGPON2).

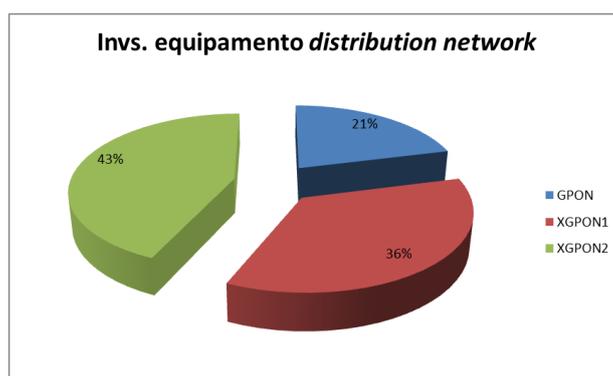


Figura 120 - Investimento total em equipamento na *distribution network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

6.8.3.2 Mão-de-obra

A mão-de-obra necessária é: a preparação dos cabos, instalação dos cabos, instalação da junta e a fusão entre as fibras (JFO).

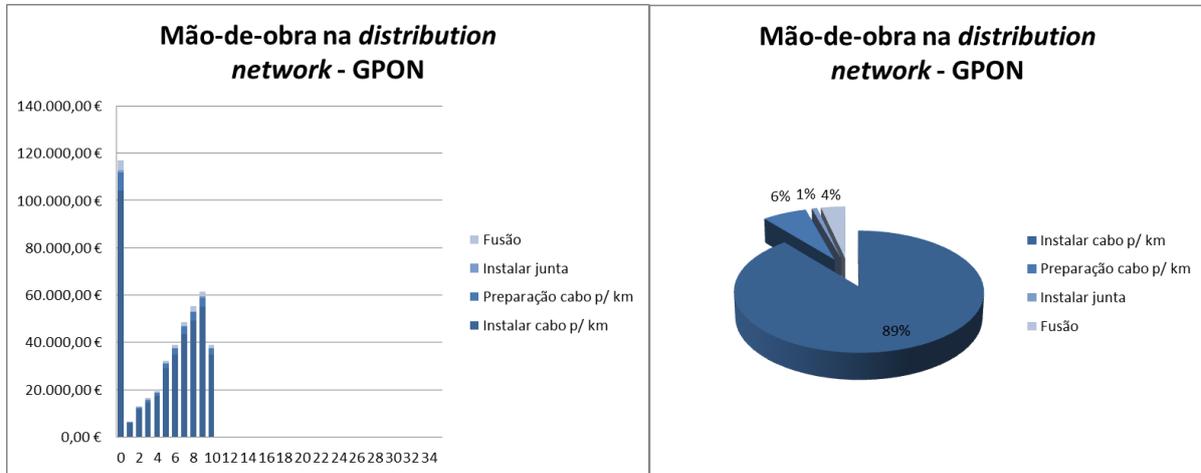


Figura 121 – Mão-de-obra na *distribution network* com a tecnologia GPON

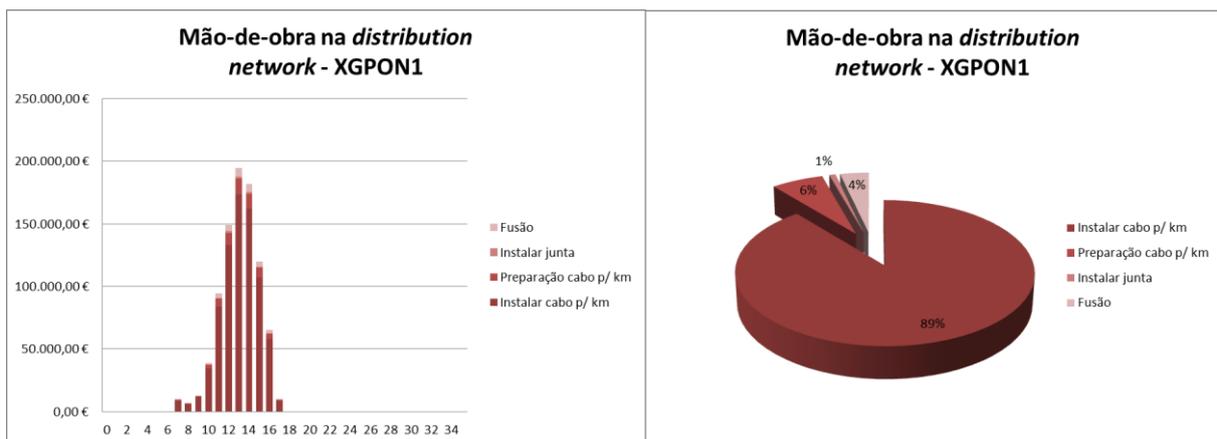


Figura 122 - Mão-de-obra na *distribution network* com a tecnologia XGPON1

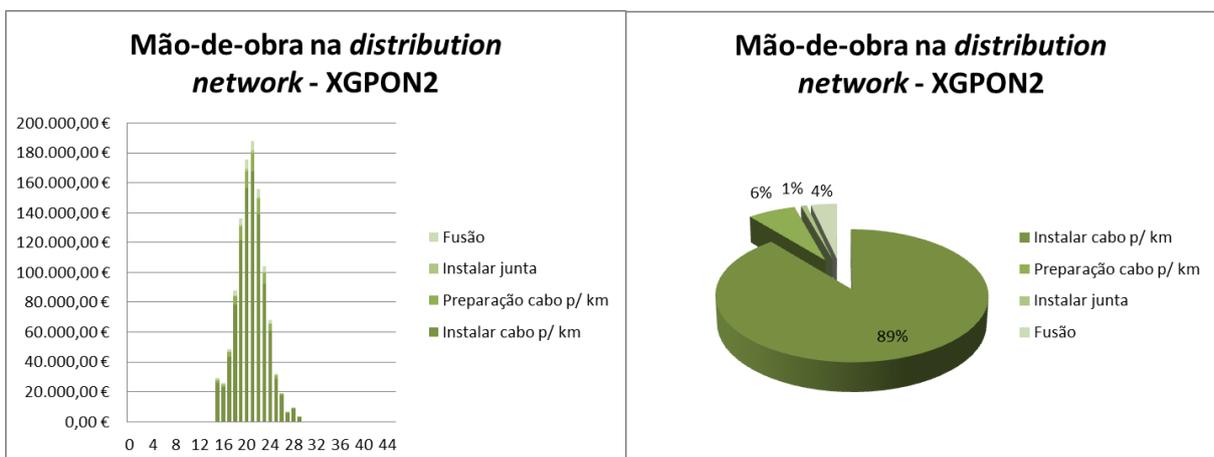


Figura 123 - Mão-de-obra na *distribution network* com a tecnologia XGPON2

Como se verifica, pela análise dos gráficos anteriores, cerca de 90% dos investimentos totais da mão-de-obra correspondem à instalação dos cabos de fibra óptica por quilómetro.

Na figura seguinte podem observar-se os custos em mão-de-obra realizados na *Distribution Network* para as 3 tecnologias, ao longo dos anos do projecto.

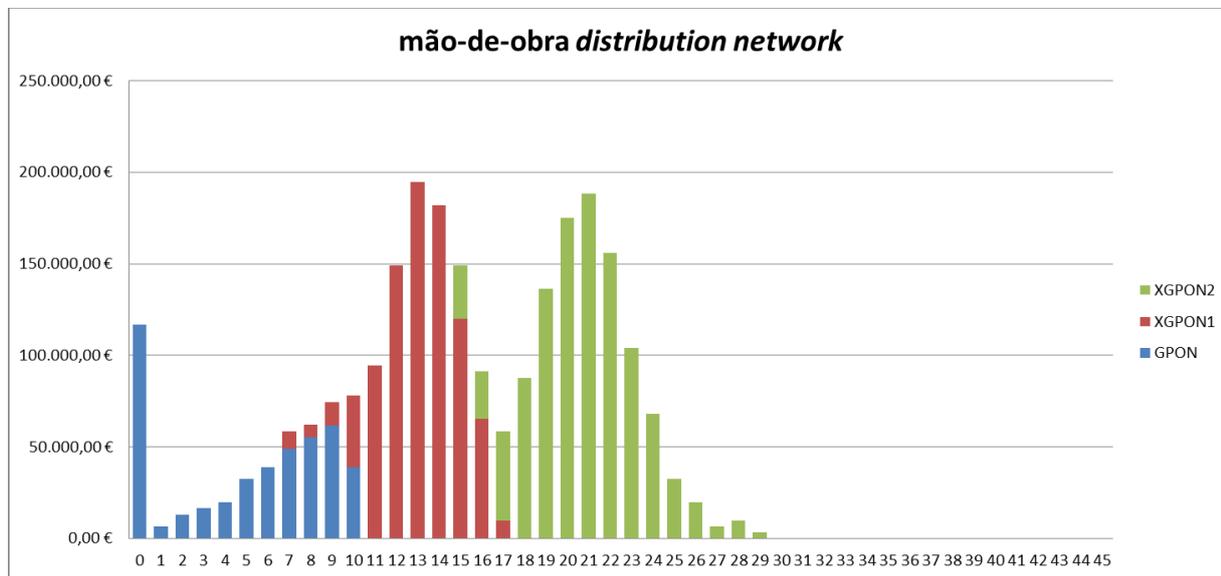


Figura 124 - Mão-de-obra total na *distribution network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

6.8.3.3 Construção Civil

Nas figuras seguintes podem observar-se os custos em construção civil realizados na *Distribution Network* para as 3 tecnologias, ao longo dos anos e o rácio do investimento por diferentes segmentos (L3 ou L4).

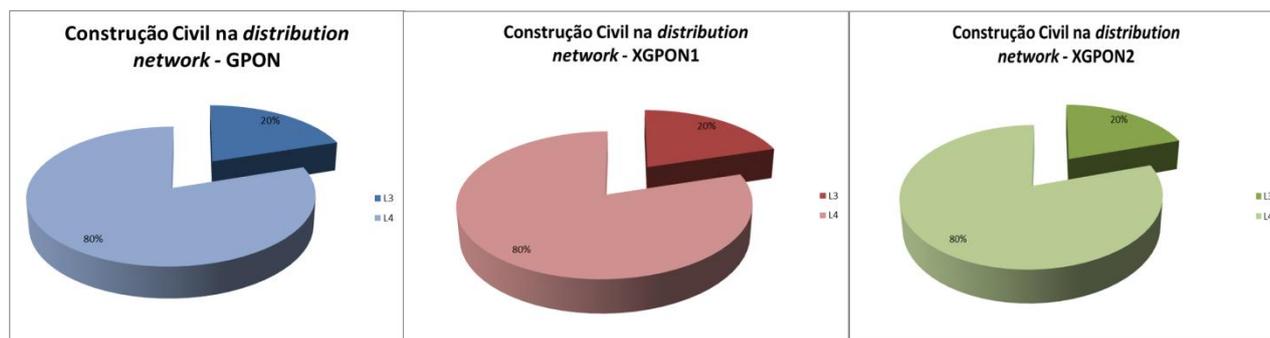


Figura 125 - Construção Civil na *distribution network* com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

Os investimentos em construção civil são contabilizados ao quilómetro e concentram-se mais no segmento L4, numa relação de 1:4.

Na figura seguinte estão representados os investimentos em construção civil feitos na *Distribution Network* para todas as tecnologias, ao longo dos anos.

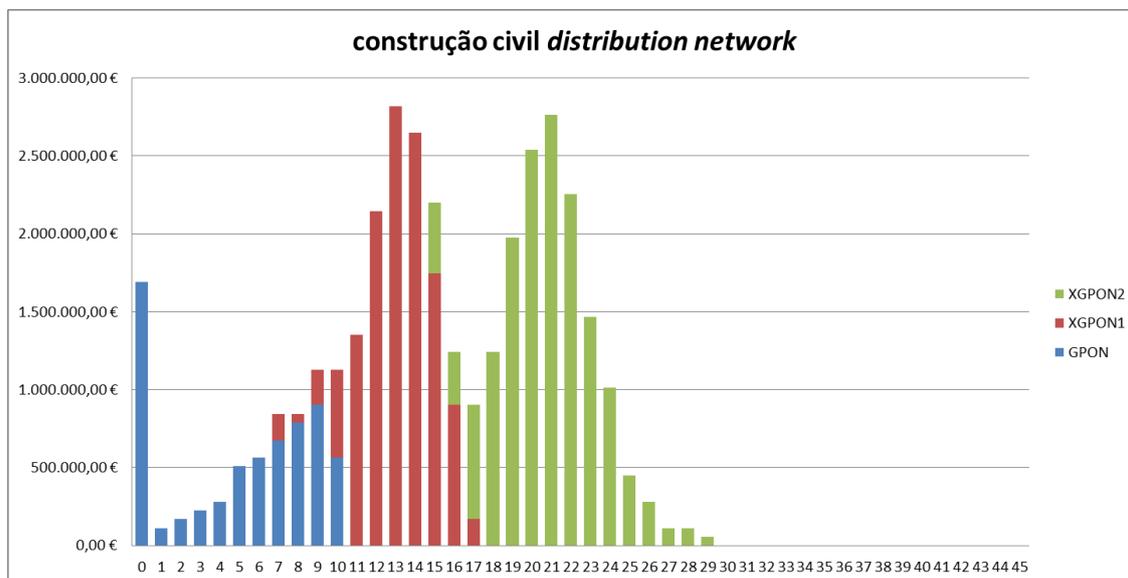


Figura 126 - Construção Civil Total na *distribution network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

6.8.3.4 Investimentos Totais na *distribution network*

Na figura seguinte estão representados os investimentos totais na *distribution network*, ao longo dos anos.

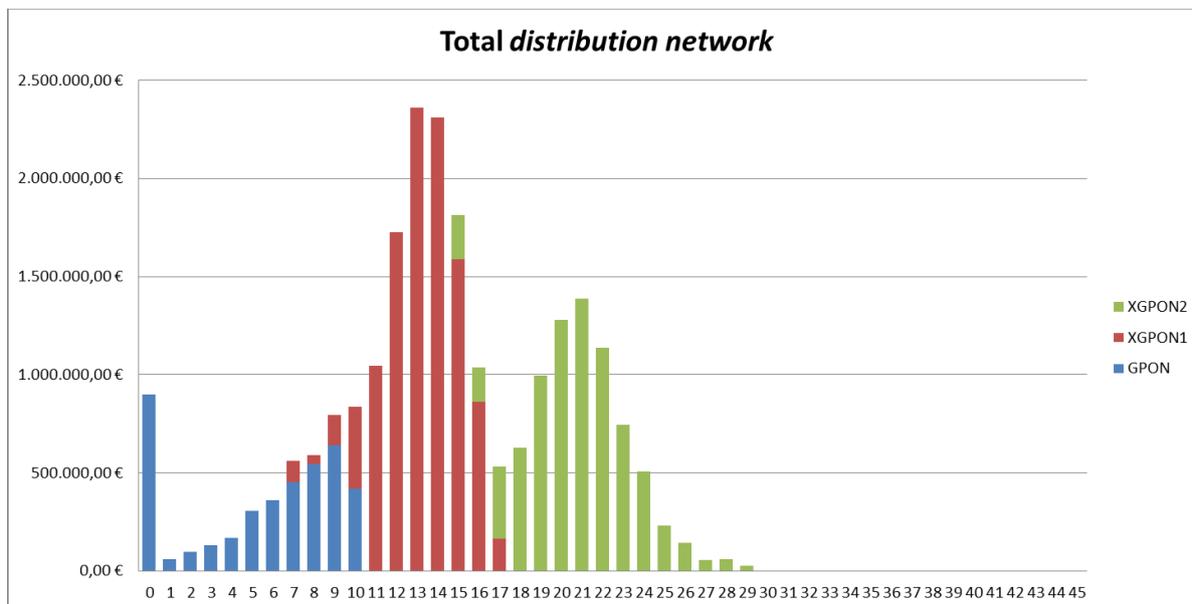


Figura 127 - Investimentos totais na *distribution network* por ano com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

No ano inicial de cada tecnologia é preciso implementar equipamento suficiente para servir o nível de partida do mercado. Nos anos seguintes verifica-se que os investimentos são realizados acompanhando a velocidade de crescimento do mercado até atingir o nível de saturação de cada tecnologia.

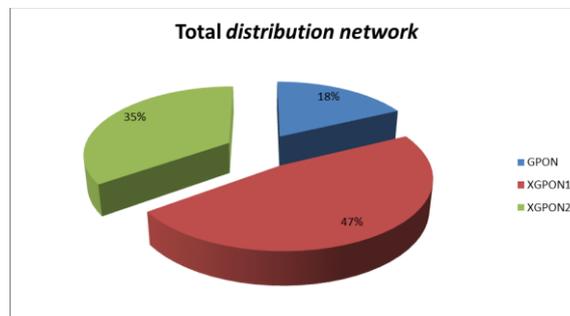


Figura 128 – Investimentos totais na *distribution network*

Nas tabelas seguintes estão detalhados valores dos investimentos totais de cada tecnologia divididos em: equipamento, mão-de-obra e construção civil.

Tabela 24 - Investimentos totais na *distribution network* com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

<i>distribution network</i> GPON	Valor total	<i>distribution network</i> XGPON1	Valor total	<i>distribution network</i> XGPON2	Valor total
Construção civil	3.165.791,24 €	Construção civil	5.922.000,00 €	Construção civil	9.117.167,83 €
Mão de obra	447.950,76 €	Mão de obra	883.058,64 €	Mão de obra	1.090.662,72 €
Equipamento	462.863,82 €	Equipamento	782.298,11 €	Equipamento	954.071,21 €
Total	4.076.605,82 €	Total	7.587.356,75 €	Total	11.161.901,76 €

6.8.4 Drop Network

Neste segmento da rede é necessário considerar todos os elementos necessários para servir os clientes, desde o último ponto de distribuição até ao equipamento do mesmo (CPE).

A *drop network* é dimensionada de acordo com o número de UA por edifícios (empresariais ou residenciais) ou bairro residencial. Vai ser dividida em *drop* de edifício (até ao exterior do edifício) e *drop* do cliente (até ao interior do edifício).

Os seguintes gráficos apresentam os investimentos anuais para cada solução estudada: MDU (*Multi-dwelling Unit*), que simboliza um edifício de apartamentos residenciais, SFU (*Single Family Unit*) que representa uma moradia familiar num bairro residencial, ou um edifício empresarial que pode conter apenas uma empresa (Mono-empresa) ou várias empresas (Multi-empresa).

6.8.4.1.1 Multi Dwelling Unit (MDU)

O número de UA por edifício é igual a multiplicação do número de pisos (7 pisos) pelo número de fracções autónomas (4 por piso) e segundo as regras de dimensionamento definidas anteriormente é utilizada a solução *floorbox drop* para a *drop* de edifício.

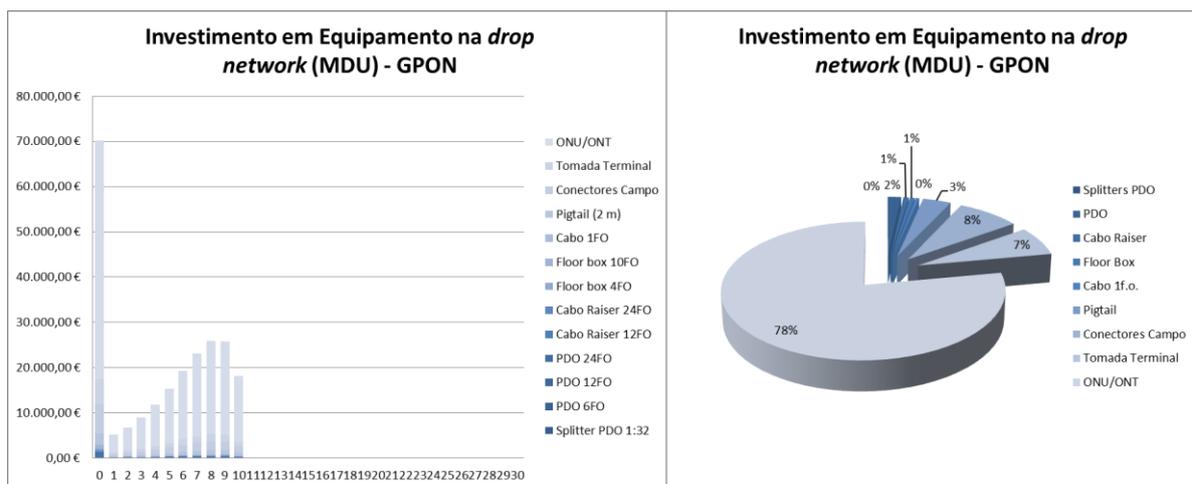


Figura 129 - Investimento em equipamento na *drop network* (MDU) com a tecnologia GPON

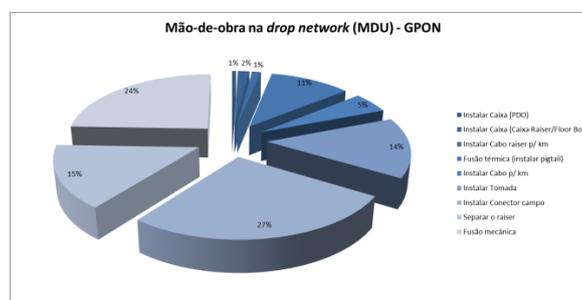


Figura 130 – Mão-de-obra na *drop network* (MDU) com a tecnologia GPON

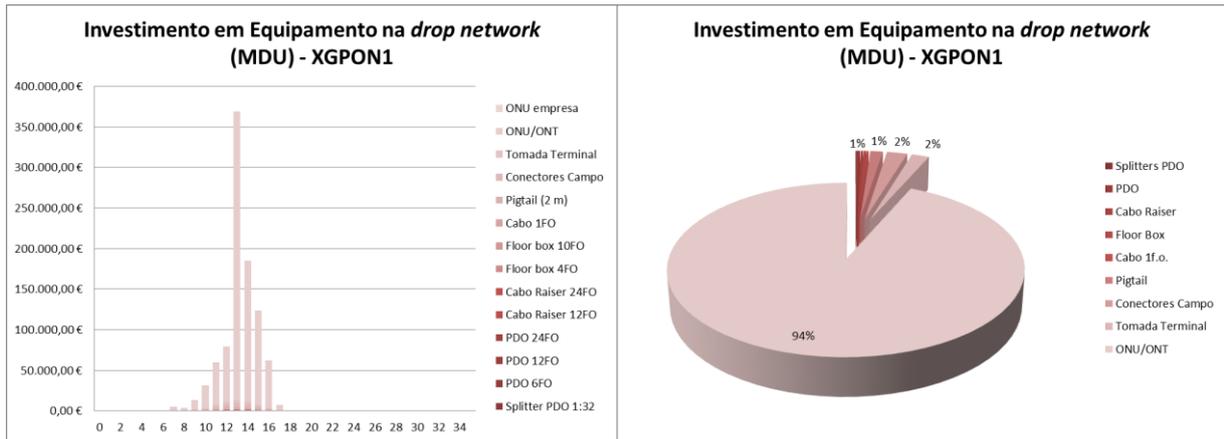


Figura 131 - Investimento em equipamento na *drop network* (MDU) com a tecnologia XGPON1

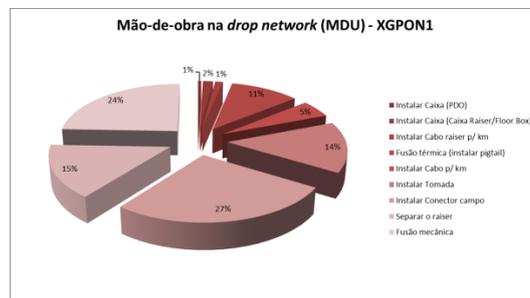


Figura 132 - Mão-de-obra na *drop network* (MDU) com a tecnologia XGPON1

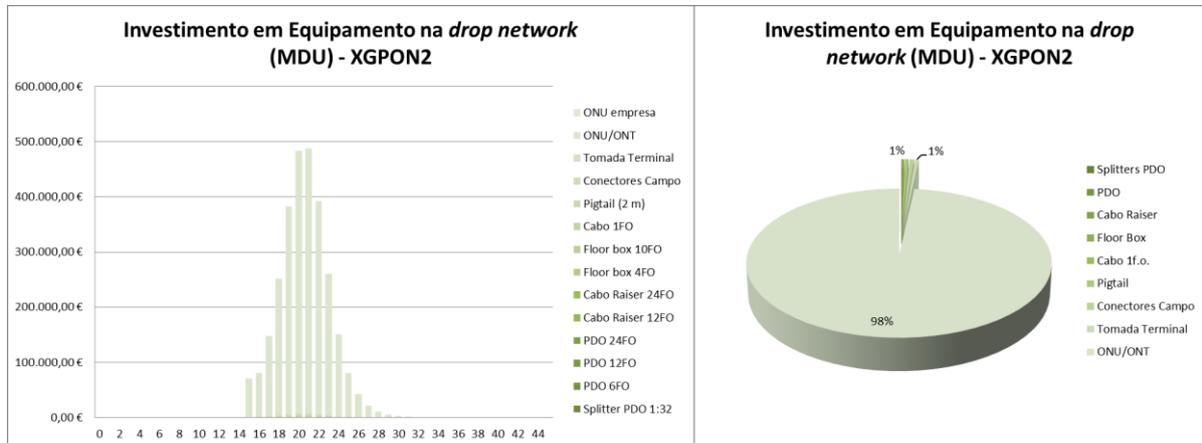


Figura 133 - Investimento em equipamento na *drop network* (MDU) com a tecnologia XGPON2

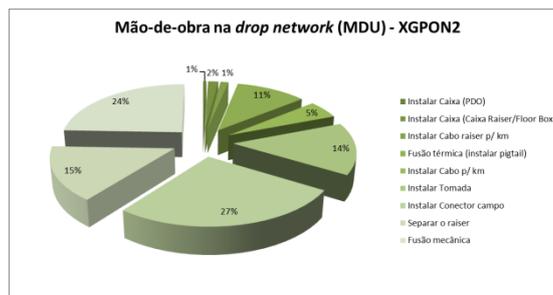


Figura 134 - Mão-de-obra na *drop network* (MDU) com a tecnologia XGPON2

No caso dos MDU é preciso ter em conta os investimentos associados à instalação de cabos de fibra óptica, pois é necessário instalar cabos na coluna montante do edifício (para levar fibra a todos os pisos) e instalar cabos para ligar cada UA. Para tal, foram analisados os investimentos a realizar em cabos *raiser* de 12 e 24 fibras ópticas, *floor boxes* de 4 ou 10 fibras ópticas e ligações ao equipamento do cliente (CPE), incluindo o mesmo. Para fazer esta última ligação, na *client drop*, a cada cabo de 1 f.o. são ligados 2 conectores campo mais a tomada terminal onde se irá ligar o CPE.

Como se pode observar pelos gráficos acima apresentados: os maiores investimentos em equipamento, no subsegmento *building drop*, são os PDO, cabos *raiser* e *floor boxes*. Para o subsegmento *client drop* o maior investimento realizado é claramente o ONU/ONT, isto deve-se ao seu custo unitário (cerca de 116€ para a GPON, cerca de 388€ para a XGPON1 e 1000€ para a XGPON2). Considerando a *drop network*, por inteiro, verifica-se a relevância do investimento no equipamento terminal do cliente (ONU) representando cerca de 90% do investimento total neste segmento.

Em relação à mão-de-obra, os maiores investimentos são: a instalação/separação dos cabos *raiser* com cerca de 15% do investimento total, os conectores de campo que representam uma fatia de 27% do investimento e as fusões realizadas na instalação dos *pigtails* e ligações do cabo *raiser* à *client drop* (no primeiro caso é efectuada uma fusão térmica, no segundo mecânica) com 11% e 24%, respectivamente. Os rácios apresentados na mão-de-obra são idênticos para qualquer que seja a tecnologia a implementar.

6.8.4.1.2 **Single Family Unit (SFU)**

A SFU (*Single Family Unit*) ou moradia unifamiliar é considerada como uma solução integrada num conjunto de moradias ou urbanização, de 24 SFU (no máximo).

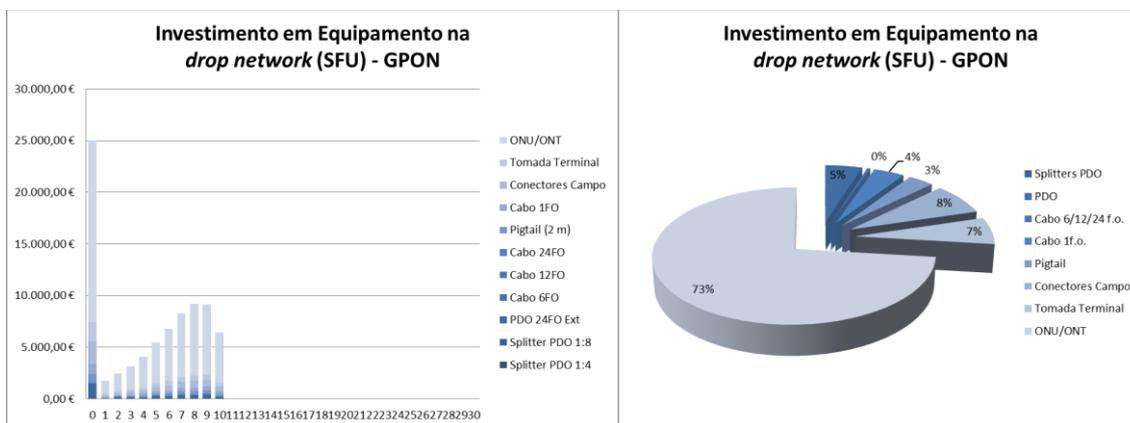


Figura 135 - Investimento em equipamento na drop network (SFU) com a tecnologia GPON

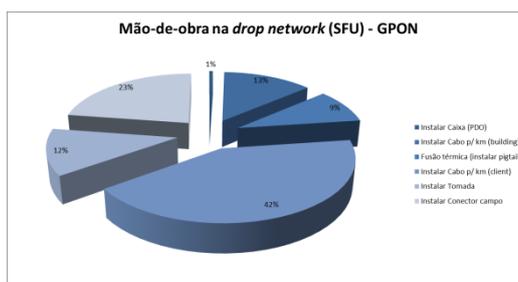


Figura 136 - Mão-de-obra na drop network (SFU) com a tecnologia GPON

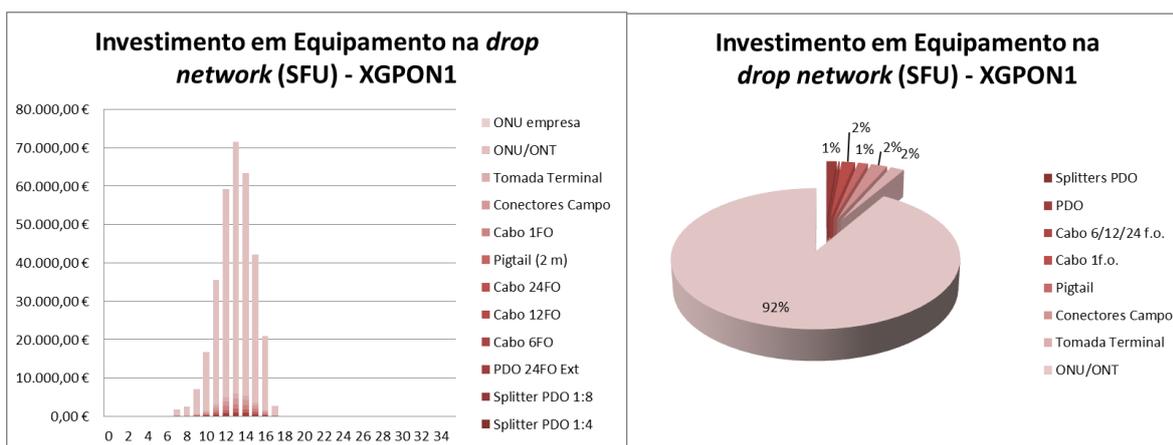


Figura 137 - Investimento em equipamento na drop network (SFU) com a tecnologia XGPON1

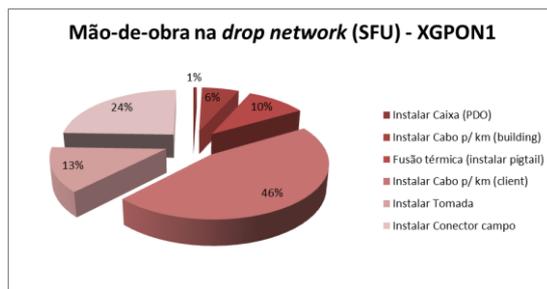


Figura 138 - Mão-de-obra na drop network (SFU) com a tecnologia XGPON1

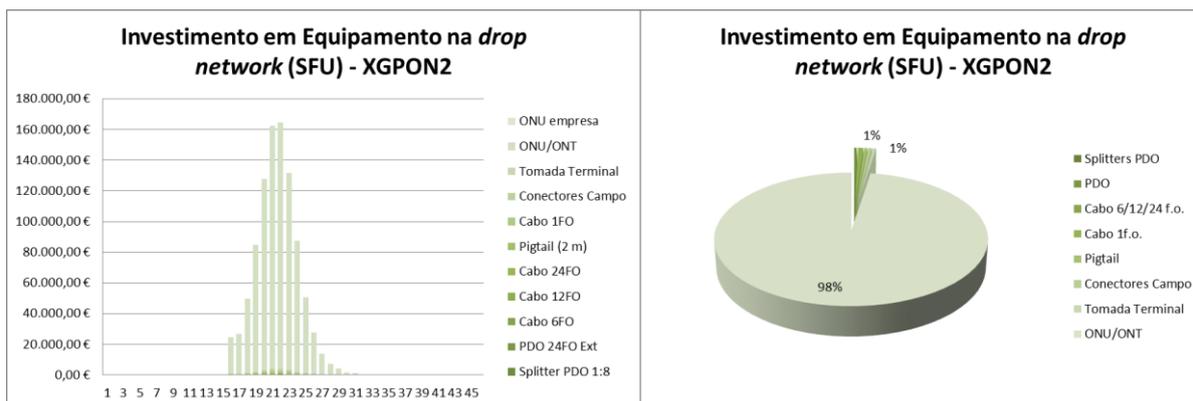


Figura 139 - Investimento em equipamento na drop network (SFU) com a tecnologia XGPON2

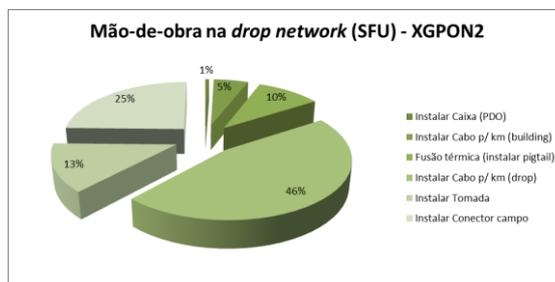


Figura 140 - Mão-de-obra na drop network (SFU) com a tecnologia XGPON2

Como se pode observar pelos gráficos acima apresentados, tanto em equipamento, como em mão-de-obra os investimentos concentram-se no subsegmento *client drop*. Em equipamento, o maior investimento é feito claramente nos equipamentos terminais ONU/ONT, representando cerca de 90% do investimento total neste segmento. Em mão-de-obra, os maiores investimentos são feitos na instalação dos cabos (*client drop*) com uma fatia de cerca de 45% e na instalação dos conectores campo com cerca de 25%.

6.8.4.1.3 Multi-Empresa

O conceito **Multi-Empresa** surge no caso de várias empresas partilharem o mesmo edifício, arbitrando um piso por edifício para cada empresa. O número de pisos dos edifícios empresariais é igual a 7 e com base nas regras de dimensionamento definidas, a solução de edifício escolhida é *floor box drop*.

Nas figuras seguintes podem observar-se os investimentos realizados, para as 3 tecnologias, neste segmento de rede, ao longo da duração do projecto.

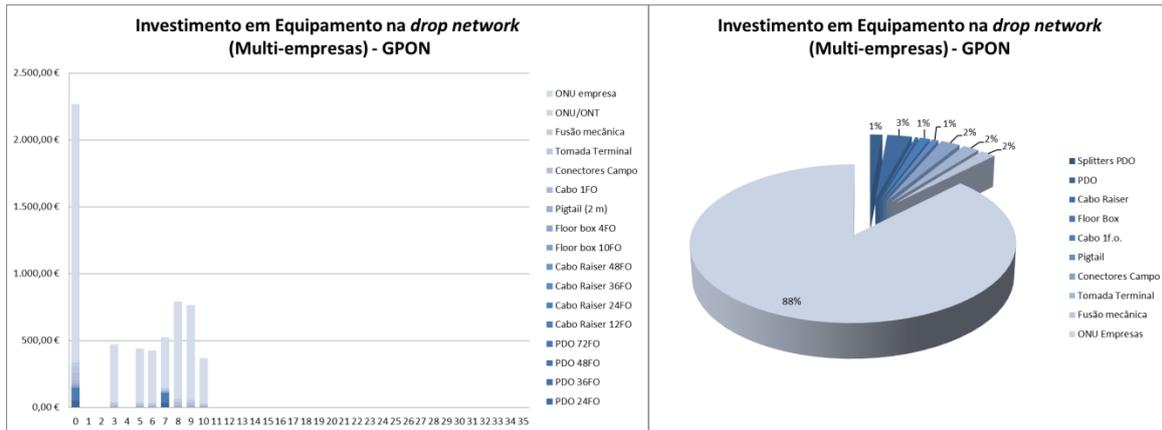


Figura 141 - Investimento em equipamento na *drop network* (Multi-empresas) com a tecnologia GPON

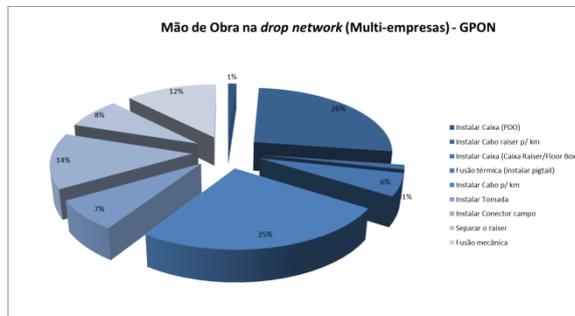


Figura 142 - Mão-de-obra na *drop network* (Multi-empresas) com a tecnologia GPON

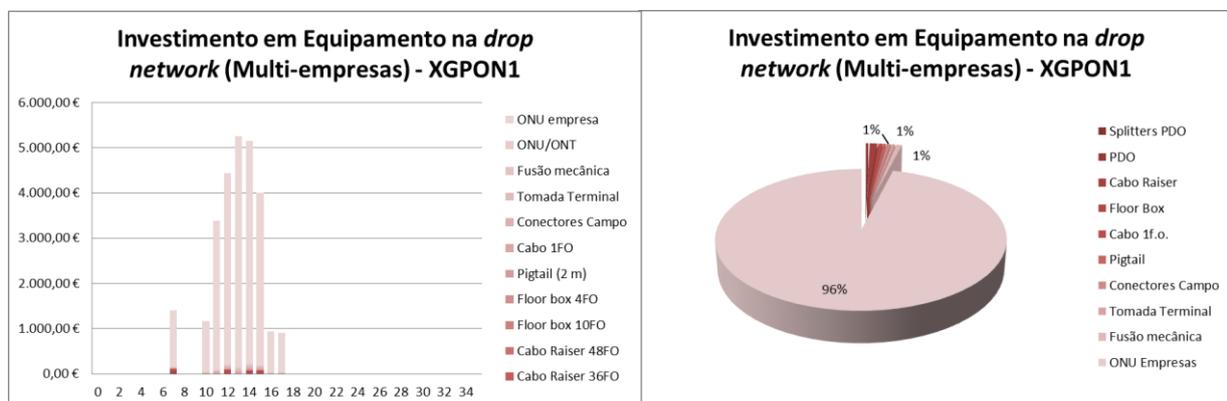


Figura 143 - Investimento em equipamento na *drop network* (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1

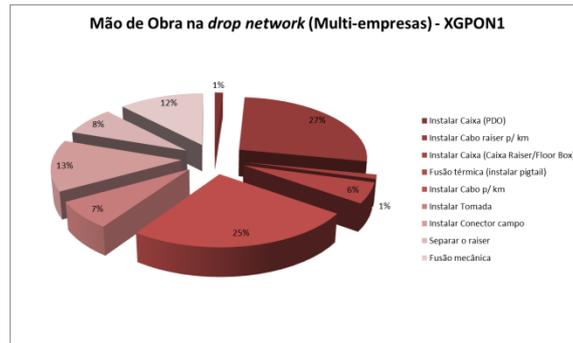


Figura 144 - Mão-de-obra na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1

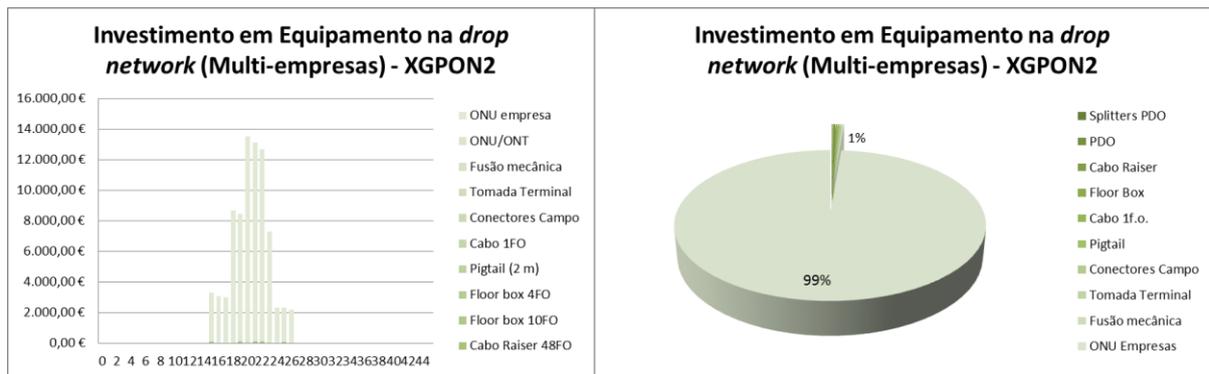


Figura 145 - Investimento em equipamento na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON2

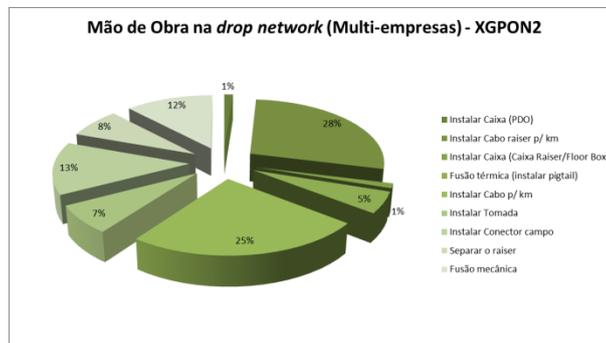


Figura 146 - Mão-de-obra na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1

Como se pode observar pelos gráficos acima apresentados, o maior investimento feito em equipamento evidencia-se nas ONU/ONT, representando cerca de 90% do investimento total neste segmento, chegando a atingir 99% quando se implementa a tecnologia XGPON2. Em mão-de-obra, os maiores investimentos são feitos na instalação dos cabos *raiser* e cabos da *client drop* com uma fatia de cerca de 30% e 25%, respectivamente.

6.8.4.1.4 Mono Empresa

O termo **Mono-empresa** surge na situação em que um edifício representa unicamente uma empresa, com a necessidade de instalar uma ONU por piso. O número de pisos dos edifícios empresariais é igual a 7 e, com base nas regras de dimensionamento definidas, a solução de edifício escolhida é *floor box drop*.

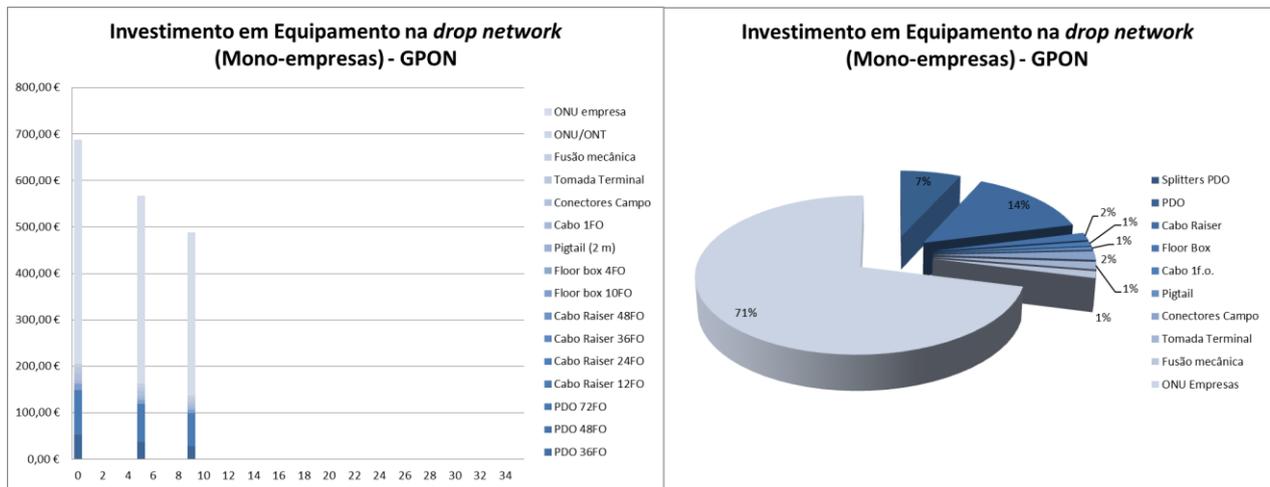


Figura 147 - Investimento em equipamento na drop network (Mono-empresas) com a tecnologia GPON

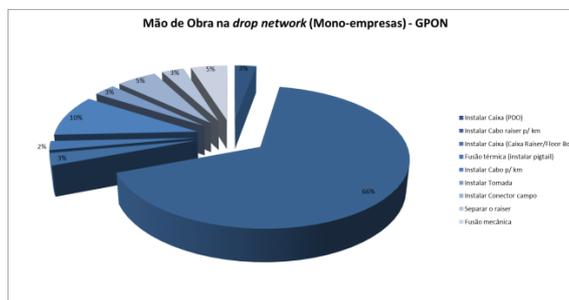


Figura 148 - Mão-de-obra na drop network (Mono-empresas) com a tecnologia GPON

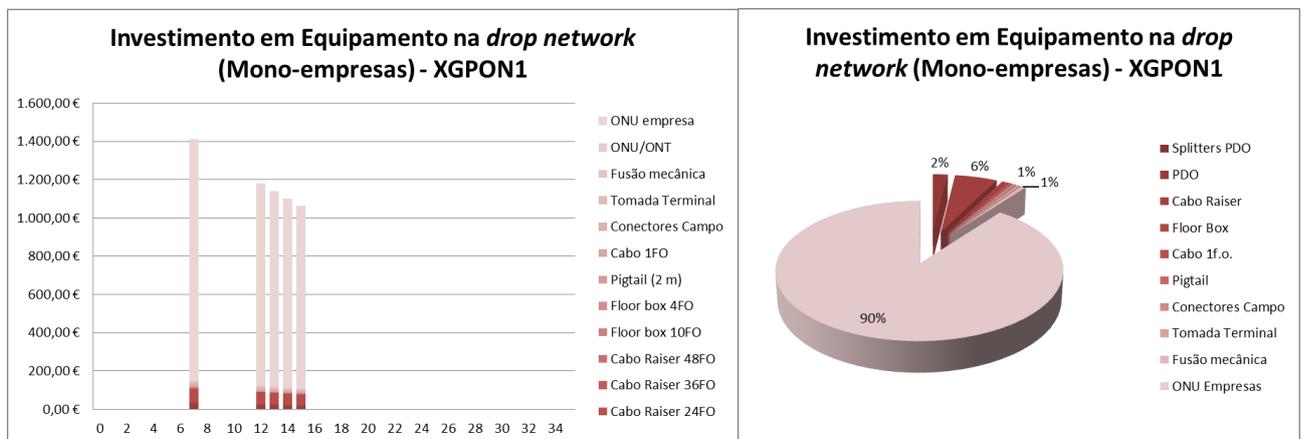


Figura 149 - Investimento em equipamento na drop network (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON1

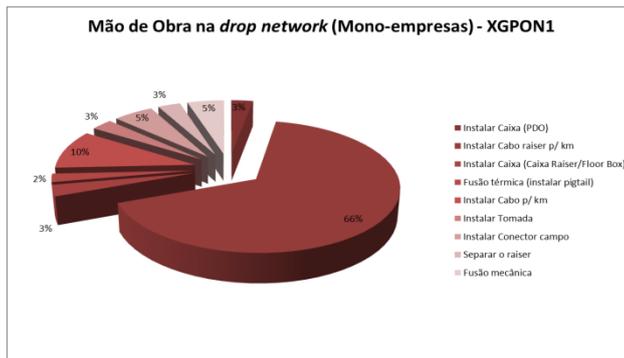


Figura 150 - Mão-de-obra na drop network (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON1

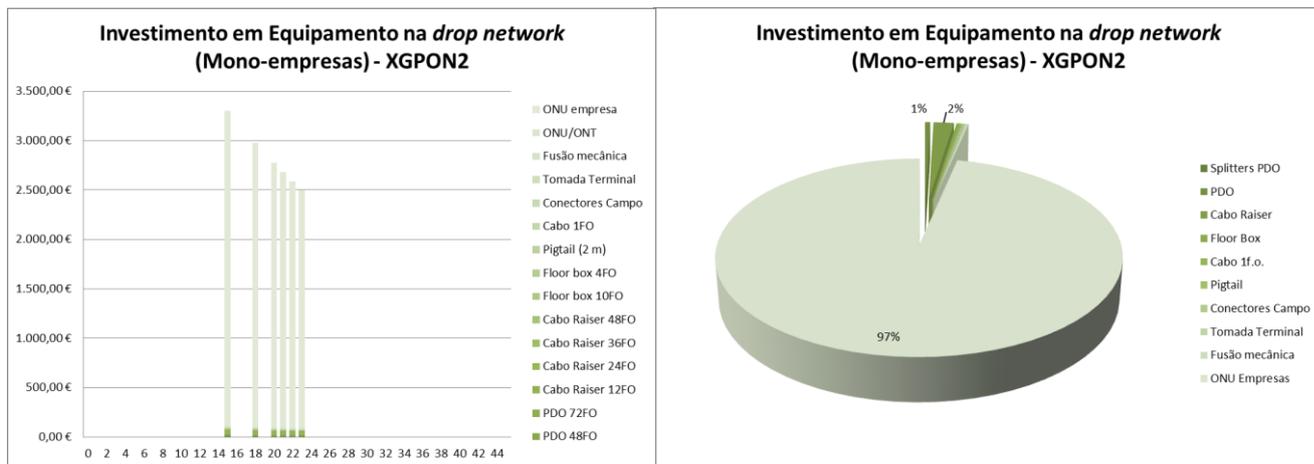


Figura 151 - Investimento em equipamento na drop network (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON2

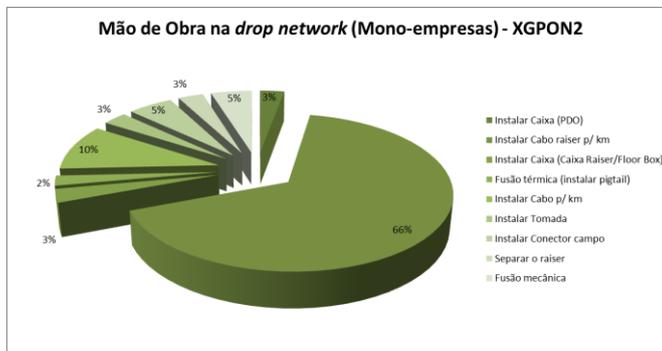


Figura 152 - Mão-de-obra na drop network (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON2

Pela análise dos gráficos anteriores, em semelhança com qualquer solução da drop network, o maior investimento em equipamento é feito em ONU/ONT, representando cerca de 70% do investimento total em equipamento para a tecnologia GPON, 90% para a tecnologia XGPON1 e 97% para a XGPON2. Em mão-de-obra, independentemente da tecnologia, os investimentos são feitos na instalação dos cabos raiser e dos cabos da client drop com uma fatia de cerca de 66% e 10%, respectivamente.

6.8.4.1.5 Total Drop Network

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos totais realizados na *drop network* para as 3 tecnologias, ao longo de toda a duração do projecto.

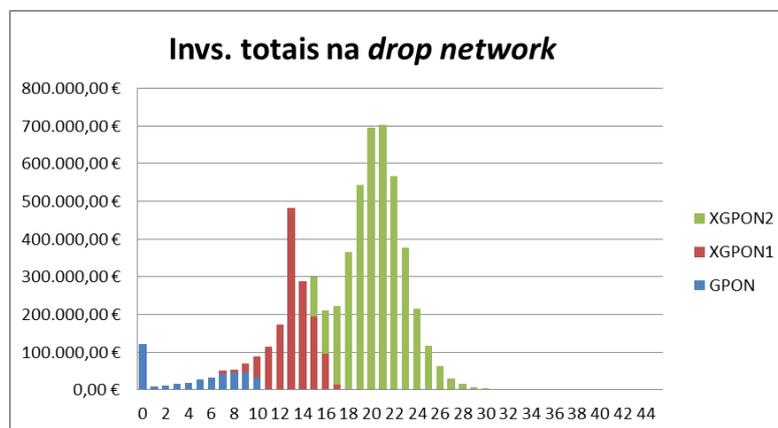


Figura 153 - Investimentos totais na *drop network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

No ano inicial de cada tecnologia é preciso implementar equipamento suficiente para servir o nível de partida do mercado e a partir daí aplicar a política “*pay as you grow*”, aumentando a capacidade da rede de maneira a servir novos clientes.

Conclusões relativas à *Drop Network*:

- Em relação ao investimento em equipamento, este concentra-se nos equipamentos ONU/ONT, independentemente de se tratar de um edifício residencial ou empresarial;
- Quanto à mão-de-obra, verifica-se que o investimento se concentra na instalação de cabos *raiser* ou de cabos na *client drop*.

Nas tabelas seguintes estão detalhados valores dos investimentos totais de cada tecnologia divididos em: equipamento e mão-de-obra.

Tabela 25 - Investimentos totais na *drop network* - tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

drop network GPON		Valor total	drop network XGPON1		Valor total	drop network XGPON2		Valor total
Equipamento	MDU	230.021,33 €	Equipamento	MDU	940.165,11 €	Equipamento	MDU	2.876.537,03 €
	SFU	81.756,92 €		SFU	323.678,89 €		SFU	966.612,53 €
	Multi-empresa	6.054,73 €		Multi-empresa	26.654,69 €		Multi-empresa	80.089,83 €
	Mono-empresa	1.742,72 €		Mono-empresa	5.892,49 €		Mono-empresa	16.817,43 €
Total equipamento		319.575,70 €	Total equipamento		1.296.391,19 €	Total equipamento		3.940.056,82 €
Mão-de-obra	MDU	61.099,62 €	Mão-de-obra	MDU	120.114,74 €	Mão-de-obra	MDU	149.215,84 €
	SFU	24.169,47 €		SFU	43.915,40 €		SFU	54.076,28 €
	Multi-empresa	854,37 €		Multi-empresa	1.661,73 €		Multi-empresa	2.018,40 €
	Mono-empresa	505,89 €		Mono-empresa	843,15 €		Mono-empresa	1.011,78 €
Total Mão-de-obra		86.629,35 €	Total Mão-de-obra		166.535,02 €	Total Mão-de-obra		206.322,30 €

6.9 Cenário 2

A configuração do **Cenário 2** (ver **Figura 154**) tem como objectivo servir um maior número de clientes a uma distância superior. Para tal é introduzido o conceito de *access node* (ou nó remoto) que é concretizado com a adição de um novo andar de splitting, instalando um novo *splitter* no PDO.

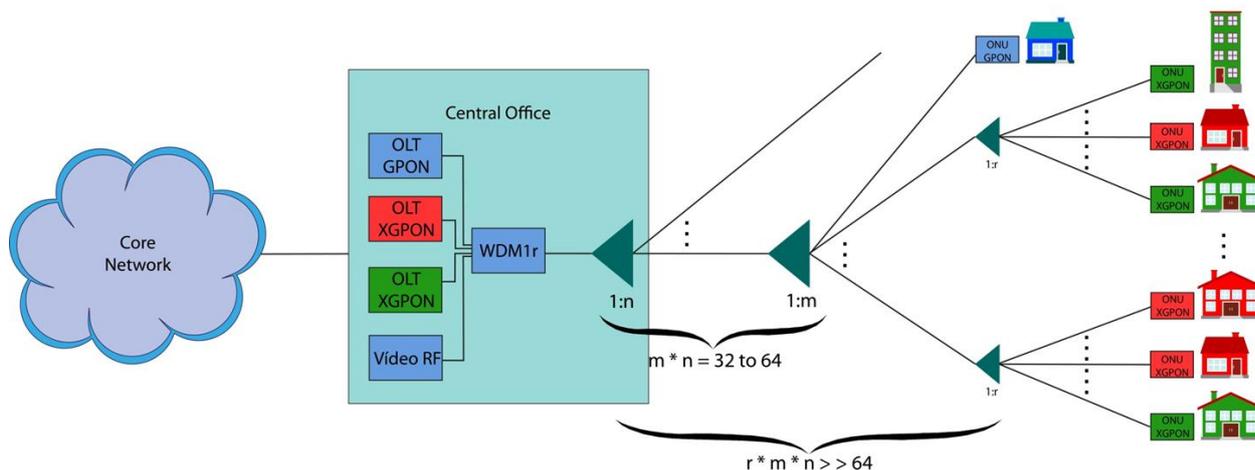


Figura 154 - Cenário 2 a) Aumento do *split ratio*

Esta configuração permite a opção de se usar três andares de divisão de forma a obter-se um *split ratio* superior a 64. O primeiro andar de *splitting* localiza-se no *Central Office*, o segundo encontra-se no nó remoto e o terceiro no armário de rua.

A configuração do **Cenário 2 b)** (ver a **Figura 155**) tem o mesmo objectivo da configuração do **Cenário 2**: servir um maior número de clientes. No entanto, em vez da adição de um novo andar de *splitting*, instalando um novo *splitter* no PDO, o aumento do *split ratio* é concretizado através da remotização das OLT ou da instalação dos *mid-span extenders*.

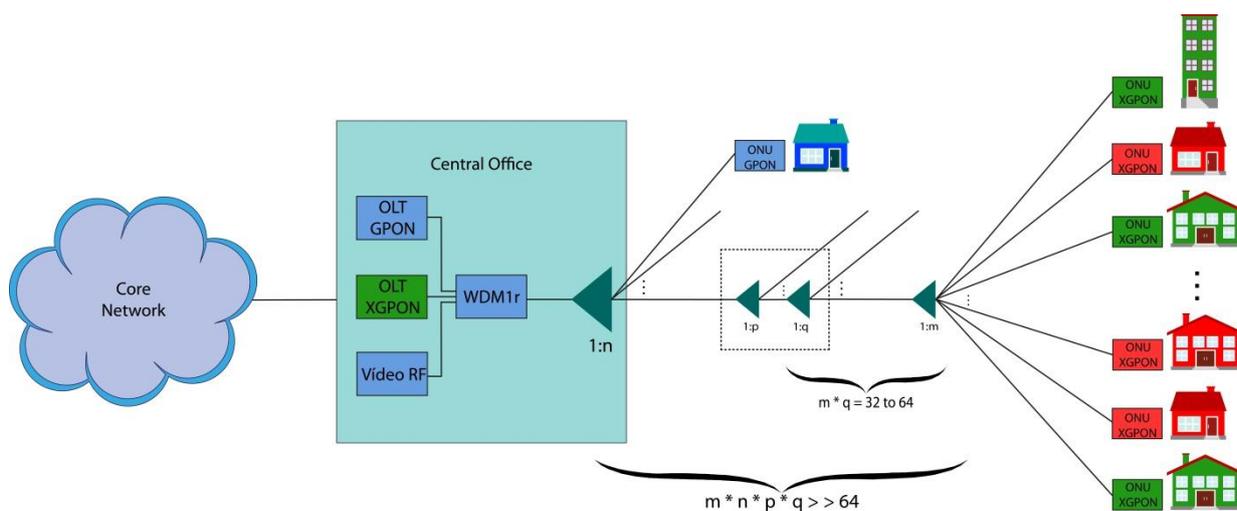


Figura 155 - Cenário 2 b) *Reach Extension*

Na figura anterior está representada uma arquitectura que permite o aumento do alcance que pode ser implementado quer pela remotização das OLT ou pela adição de *mid-span extenders*. Esta implementação pode ocorrer em duas fases distintas. Uma das fases acontece quando se dá a migração da tecnologia GPON para a tecnologia XGPON. A outra fase acontece quando o aumento do alcance já foi implementado na tecnologia GPON, onde duas situações podem ocorrer: o equipamento utilizado é compatível com as duas tecnologias ou é necessária a sua substituição por um que o seja.

Esta configuração permite a opção de se usar três andares de divisão de forma a obter-se um *split ratio* superior a 64. O primeiro andar de *splitting* localiza-se no *Central Office*, o segundo encontra-se no nó remoto e o terceiro no armário de rua.

Ambas as opções de configuração de rede do **Cenário 2 a) e b)** permitem suportar um *split ratio* de pelo menos 1:256 a nível lógico e um aumento do alcance da rede para as tecnologias XGPON1 e XGPON2.

A configuração escolhida foi a do **Cenário 2 a)**. Para esta configuração foram analisados os investimentos necessários para a implementação das tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2. Para tal dividiu-se a rede nos mesmos quatro segmentos: **Central Office, Feeder Network, Distribution Network e a Drop Network**.

6.9.1 Central Office

O *Central Office* é o segmento que comunica com a rede *core* e a rede de acesso e permite a troca de informação entre os dois segmentos de rede até ao utilizador final.

O dimensionamento do *Central Office* neste **Cenário 2** será feito exactamente como foi feito no **Cenário 1**. No *Central Office* existe uma correlação entre todos os equipamentos. Cada OLT é constituída por 16 cartas, e cada carta estão associadas 4 portos onde a cada porto estão ligados 64 assinantes. Também são necessários equipamentos como amplificadores RF, WDM *Combiners* e ODF.

Os investimentos são feitos nos seguintes equipamentos: OLT (portas, cartas, rack, subrack), RF/WDM *Combiner* (portas, rack), *Patchcord* (OLT-WDM, RF-WDM, *transmission WDM*), *Transmission Module*, *Patchcord (transmission splitter)*, *Splitting (splitters 1:2, subrack)* e ODF (*Fusion Module, rack*).

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos totais realizados no *Central Office* para as 3 tecnologias, ao longo da duração do projecto.

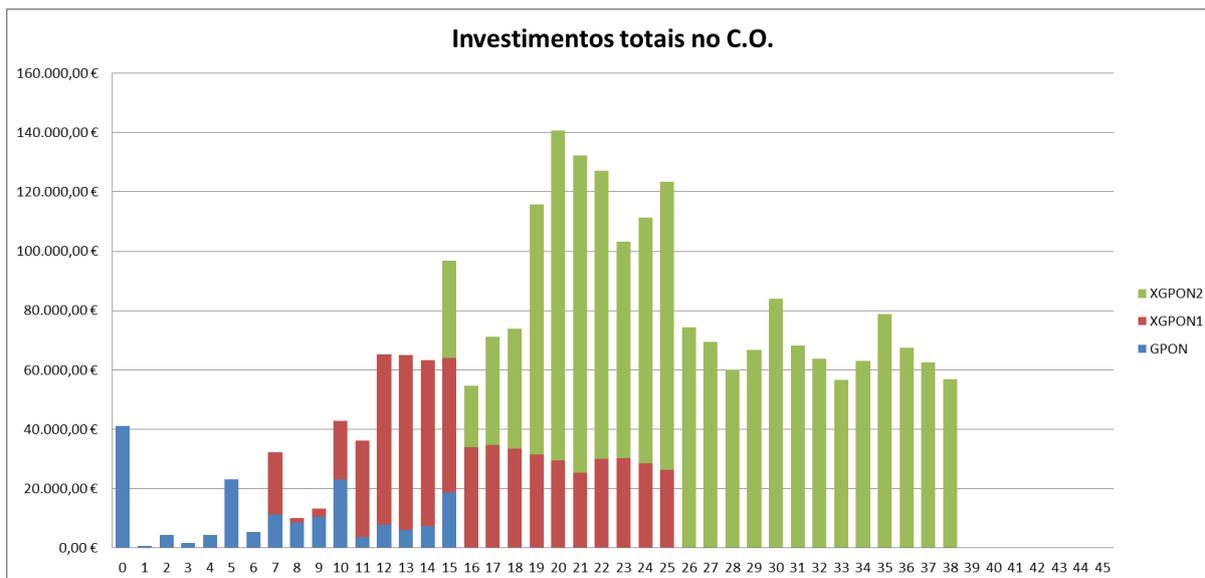


Figura 156 – Investimentos totais no *Central Office* ao longo dos anos com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

Grande parte dos custos está associada: às cartas OLT (portos OLT) e ao WDM *Combiner* (portos RF/WDM).

Na primeira tecnologia a ser implementada, a GPON, cerca de 30% dos investimentos são feitos no ano inicial do projecto, pois é imperativo instalar todos os equipamentos necessários para servir um número pequeno de assinantes. Com o aumento da adesão dos clientes aos serviços oferecidos, a capacidade máxima dos equipamentos instalados vai ser atingida e então, será necessário realizar novos investimentos. A capacidade da rede passará a adoptar a política “*pay as you grow*”, instalando equipamentos quando for necessário aumentar a capacidade da rede.

No início do projecto é implementada a tecnologia GPON evoluindo para a XGPON1 e depois para a XGPON2. Todo o equipamento susceptível de ser aproveitado continuará implementado, enquanto se dá a evolução para uma nova tecnologia. Desta maneira, é possível a coexistência de várias tecnologias no mesmo ODN.

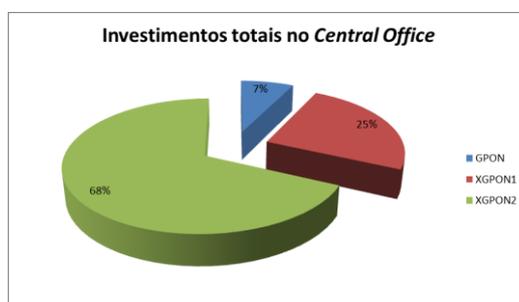


Figura 157 – Investimentos totais no *Central Office* com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

Apesar do aproveitamento de infraestruturas e equipamentos, novos equipamentos precisam de ser implementados e os preços dos mesmos sofrem inflação. O número de portos no WDM *Combiner*

aumenta com o surgimento de uma nova tecnologia, uma vez que é essencial para que estas partilhem o mesmo ODN. Também a substituição dos equipamentos activos é necessária: OLT e RF/WDM *Combiner* é feita de 5 em 5 anos. Daí se justifica o crescente aumento de custos em investimentos com a evolução de tecnologia (ver figura anterior).

Nas tabelas seguintes estão detalhados valores dos investimentos em equipamentos de cada tecnologia: GPON, XGPON1 e XGPON2.

Tabela 26 - Investimento no *central office* ao longo dos anos com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

C.O. GPON	Valor total	C.O. XGPON1	Valor total	C.O. XGPON2	Valor total
OLT	103.544,31 €	OLT	403.141,66 €	OLT	1.158.555,12 €
RF/WDM	56.198,74 €	RF/WDM	167.143,60 €	RF/WDM	466.364,99 €
TRANSITION MODULE	2.965,10 €	TRANSITION MODULE	7.339,27 €	TRANSITION MODULE	5.946,80 €
SPLITTER 1:2	1.110,27 €	SPLITTER 1:2	2.427,54 €	SPLITTER 1:2	1.806,82 €
TERMINATION PANEL	0,00 €	TERMINATION PANEL	0,00 €	TERMINATION PANEL	0,00 €
ODF-FUSION MODULE (12 PG)	8.792,91 €	ODF-FUSION MODULE (12 PG)	9.726,74 €	ODF-FUSION MODULE (12 PG)	10.107,86 €
PATCHCORD	705,22 €	PATCHCORD	1.855,58 €	PATCHCORD	1.810,36 €
RACKS E SUBRACKS	4.473,13 €	RACKS E SUBRACKS	6.650,00 €	RACKS E SUBRACKS	10.789,50 €
Total	177.789,68 €	Total	598.284,39 €	Total	1.655.381,45 €

6.9.2 Feeder Network

Este segmento de rede é constituído por cabos de 288 e 96 fibras ópticas (segmentos L1 e L2), dos quais cerca de 20% é fibra escura, numa topologia em árvore, ligando o *Central Office* aos armários de rua (SRO). Nestes armários de rua é colocado o segundo andar de *splitting*, *splitters* de 1:32. Numa primeira fase serão respeitados os dimensionamentos mínimos e depois tanto os armários de rua como os *splitters* vão ser instalados à medida que a taxa de adesão aumenta.

6.9.2.1 Investimento em Equipamento

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos em equipamento totais realizados na *Feeder Network* para as 3 tecnologias, ao longo da duração do projecto.

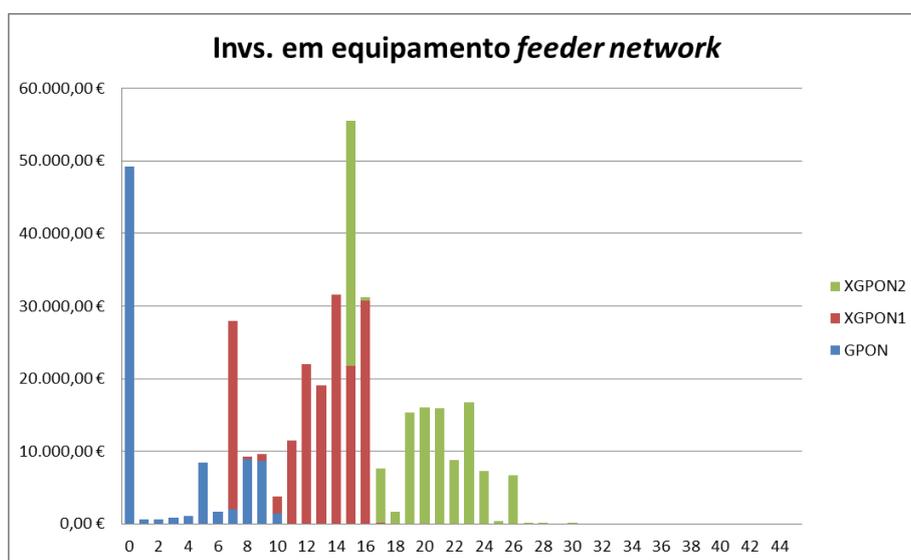


Figura 158 - Investimento total em equipamento na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Os investimentos em equipamento mais relevantes são os cabos de fibra óptica. Os investimentos no ano de surgimento da tecnologia respeitam os dimensionamentos mínimos e por isso são de grande importância nesse ano apesar do reaproveitamento feito de tecnologia para tecnologia. Verifica-se uma subida gradual desde a primeira tecnologia implementada até à última considerada. Este aumento é justificado pelo aumento de número de clientes a serem servidos por cada tecnologia.

6.9.2.2 Mão-de-obra

A mão-de-obra necessária é: a preparação dos cabos, instalação dos cabos, instalação da junta e a fusão entre as fibras (JFO). Cerca de 85% dos investimentos totais da mão-de-obra correspondem à instalação dos cabos de fibra óptica por quilómetro. No ano de aparecimento de uma tecnologia nova é imperativo respeitar o dimensionamento mínimo, daí se justifica que grande percentagem da mão-de-obra total seja feita nesse ano. A tecnologia XGPON2, uma vez que serve um maior número de clientes, irá ter custos de mão-de-obra superiores associados.

Na figura seguinte podem observar-se os custos em mão-de-obra realizados na *Feeder Network* para as 3 tecnologias, ao longo da duração do projecto.

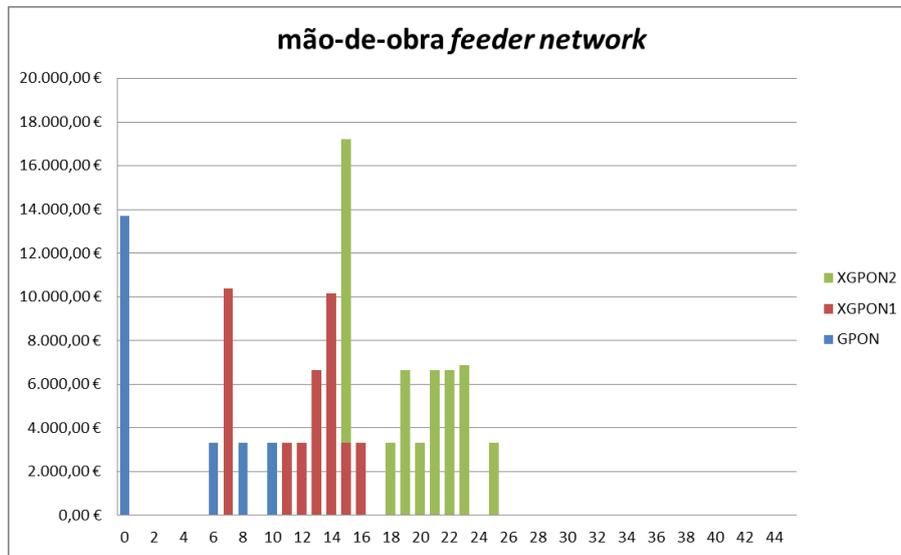


Figura 159 - Mão-de-obra total na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

6.9.2.3 Construção Civil

Na figura seguinte podem observar-se os custos em construção realizados na *Feeder Network* para as 3 tecnologias, ao longo dos anos. Os investimentos em construção civil são os investimentos mais significativos de toda a implementação da rede, independentemente da tecnologia escolhida. Dependem do tipo do solo da área a implementar, e são contabilizados ao quilómetro.

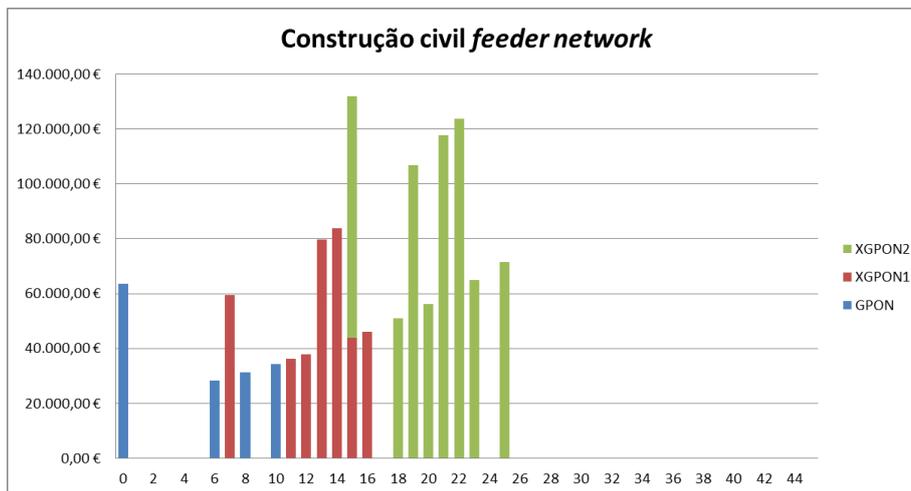


Figura 160 – Construção civil total na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

6.9.2.4 Investimentos totais na feeder network

Como foi referido anteriormente, o serviço do número mínimo de clientes é assegurado por um dimensionamento mínimo do segmento de rede. Na figura seguinte podem observar-se os investimentos totais das 3 tecnologias na *feeder network*, ao longo dos anos.

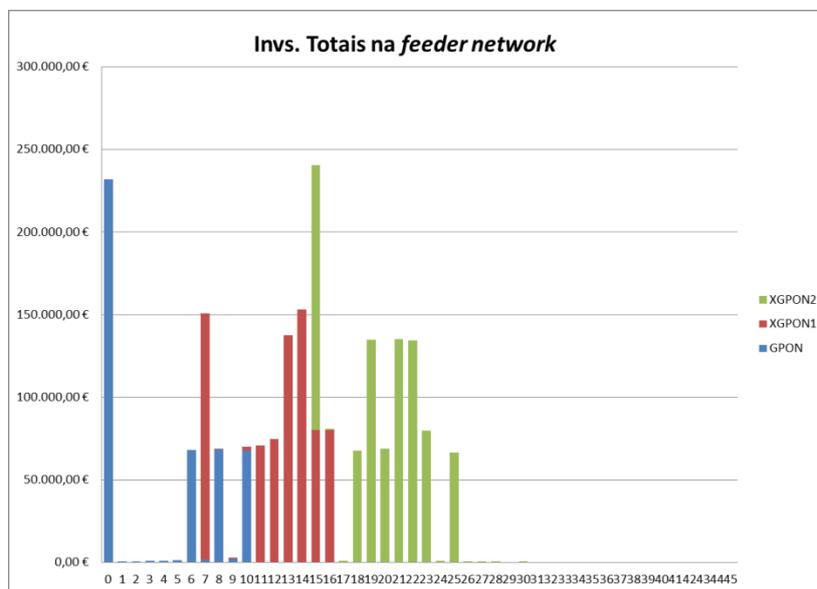


Figura 161 - Investimentos totais na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Uma vez que as tecnologias implementadas têm uma evolução contínua, o reaproveitamento das infraestruturas neste segmento de rede é concretizado, no mesmo ODN.

Nas tabelas seguintes estão representados os valores dos investimentos totais de cada tecnologia.

Tabela 27 - Investimentos totais na *feeder network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

<i>feeder network</i> GPON	Valor total	<i>feeder network</i> XGPON1	Valor total	<i>feeder network</i> XGPON2	Valor total
Construção civil	157.492,33 €	Construção civil	387.327,58 €	Construção civil	680.014,78 €
Mão de obra	23.680,94 €	Mão de obra	40.508,64 €	Mão de obra	50.686,70 €
Equipamento	81.908,21 €	Equipamento	145.076,65 €	Equipamento	123.233,37 €
Total	263.081,48 €	Total	572.912,87 €	Total	853.934,84 €

6.9.3 Distribution Network

A *distribution network* representa o segmento da rede de acesso que liga os SRO aos PDO.

6.9.3.1 Investimento em Equipamento

Na *Distribution Network* estão os segmentos de rede L3 e L4. No segmento L3 utilizam-se cabos de 96 fibras ópticas e no segmento L4 o tipo de cabo a ser escolhido depende da densidade de assinantes que se pretende servir, permitindo uma maior capilaridade da rede.

O investimento em equipamento estará dividido: em cabos de 96 fibras ópticas (L3), em cabos de 48 fibras ópticas (L4) e em armários, independentemente da tecnologia escolhida.

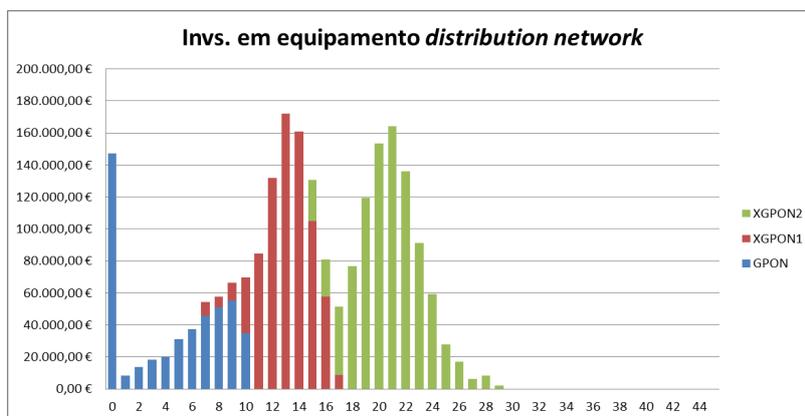


Figura 162 - Investimento total em equipamento na *distribution network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

6.9.3.2 Mão-de-obra

A mão-de-obra necessária é: a preparação dos cabos, instalação dos cabos, instalação da junta e a fusão entre as fibras (JFO). Cerca de 90% dos investimentos totais da mão-de-obra correspondem à instalação dos cabos de fibra óptica por quilómetro.

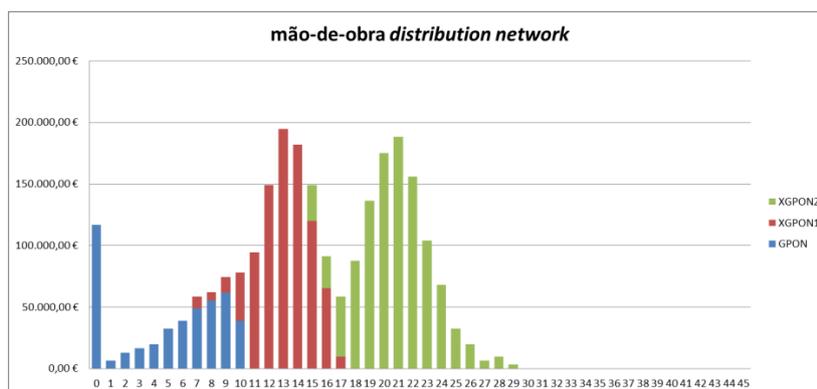


Figura 163 - Mão-de-obra total na *distribution network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

Na figura anterior podem observar-se os custos em mão-de-obra realizados na *Distribution Network* para as 3 tecnologias, ao longo dos anos do projecto.

6.9.3.3 Construção Civil

Na figura seguinte estão representados os investimentos em construção civil nos feitos na *Distribution Network*, ao longo dos anos (os custos no segmento L3 são superiores aos do L4).

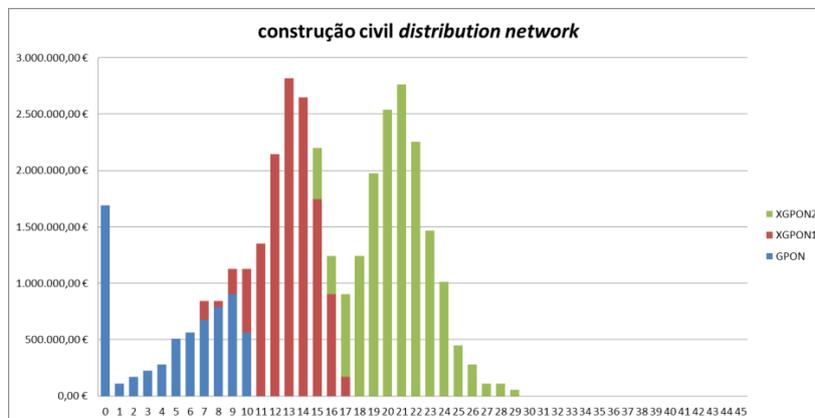


Figura 164 - Construção Civil Total na *distribution network* com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

6.9.3.4 Investimentos Totais na *distribution network*

Na figura seguinte estão representados os investimentos totais na *distribution network*, ao longo dos anos.

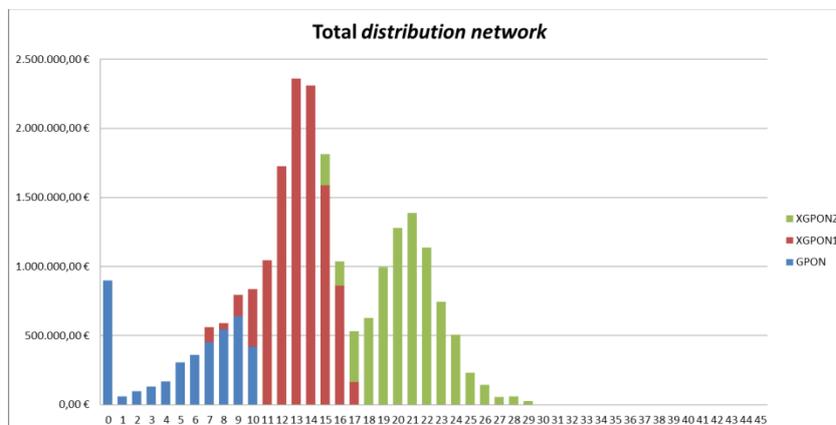


Figura 165 - Investimentos totais na *distribution network* por ano com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

No ano inicial de cada tecnologia é preciso implementar equipamento suficiente para servir o nível de partida do mercado e depois acompanhar a velocidade de crescimento do mercado.

Nas tabelas seguintes estão detalhados valores dos investimentos totais.

Tabela 28 - Investimentos totais na *distribution network* com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

<i>distribution network</i> GPON	Valor total	<i>distribution network</i> XGPON1	Valor total	<i>distribution network</i> XGPON2	Valor total
Construção civil	3.165.791,24 €	Construção civil	5.922.000,00 €	Construção civil	9.117.167,83 €
Mão de obra	447.950,76 €	Mão de obra	883.058,64 €	Mão de obra	1.090.662,72 €
Equipamento	462.863,82 €	Equipamento	782.298,11 €	Equipamento	954.071,21 €
Total	4.076.605,82 €	Total	7.587.356,75 €	Total	11.161.901,76 €

6.9.4 Drop Network

A alteração de maior interesse foi feita neste segmento de rede, A capacidade da rede que no **Cenário 1** era de 1x64, passa a ser de pelo menos 1x256 nas tecnologias XGPON1 e XGPON2. Na *Drop Network* é necessário considerar todos os elementos necessários para servir os clientes, desde o último ponto de distribuição até ao equipamento do mesmo (CPE).

A *drop network* é dimensionada de acordo com o número de UA por edifícios (empresariais ou residenciais) ou bairro residencial. Vai ser dividida em *drop* de edifício (até ao exterior do edifício) e *drop* do cliente (até ao interior do edifício).

Nos PDO (Ponto de distribuição óptica) utilizam-se armários de 24 fibras ópticas, para instalação exterior. É neles que vai ser instalado um novo andar de *splitting* de acordo com algumas regras:

Se o número de UA a ligar for inferior a 27, instalam-se splitters 1x4;

Se o número de UA a ligar for superior ou igual a 27, instalam-se splitters 1x8.

Nas secções seguintes estão representados os investimentos anuais para cada solução estudada: MDU (*Multi-dwelling Unit*). SFU (*Single Family Unit*), Multi-empresa ou Mono-empresa.

6.9.4.1 Multi Dwelling Unit (MDU)

O número de UA por edifício é igual a multiplicação do número de pisos (7 pisos) pelo número de fracções autónomas (4 por piso) e segundo as regras de dimensionamento definidas anteriormente é utilizada a solução *floorbox drop* para a *drop* de edifício.

A tecnologia GPON não sofreu qualquer alteração pelo que a capacidade máxima da rede é de 1x64. Para as tecnologias XGPON1 e XGPON2, de acordo com este cenário, o número de UA dos edifícios é superior a 27, pelo que foram utilizados *splitters* 1x8 no PDO.

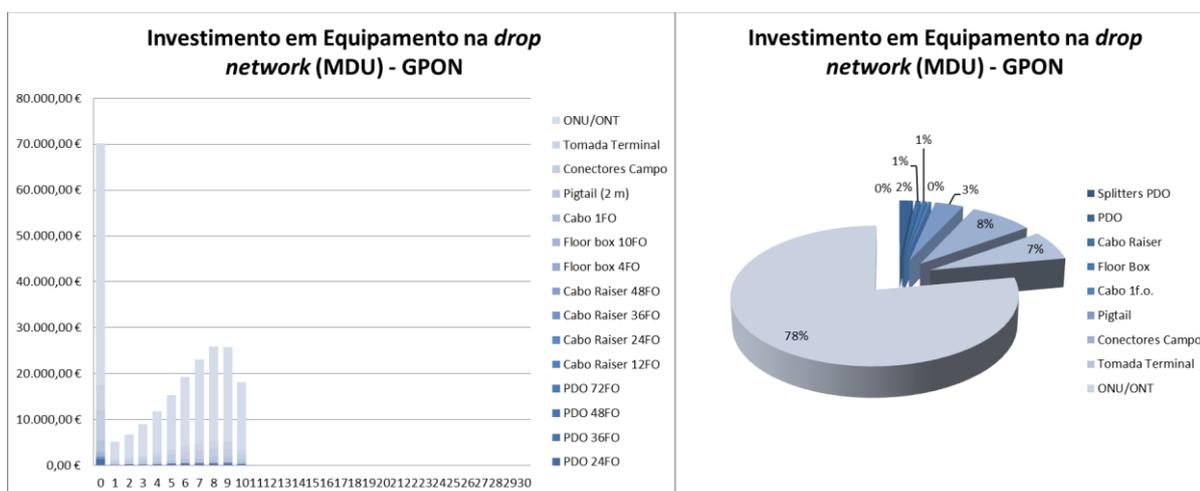


Figura 166 - Investimento em equipamento na drop network (MDU) com a tecnologia GPON

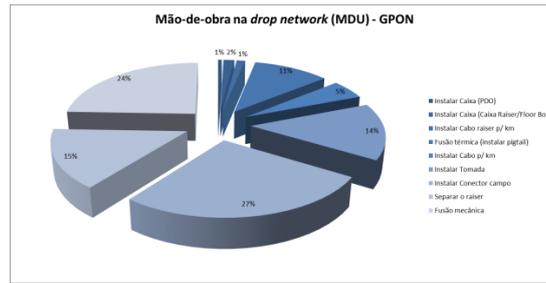


Figura 167 – Mão-de-obra na drop network (MDU) com a tecnologia GPON

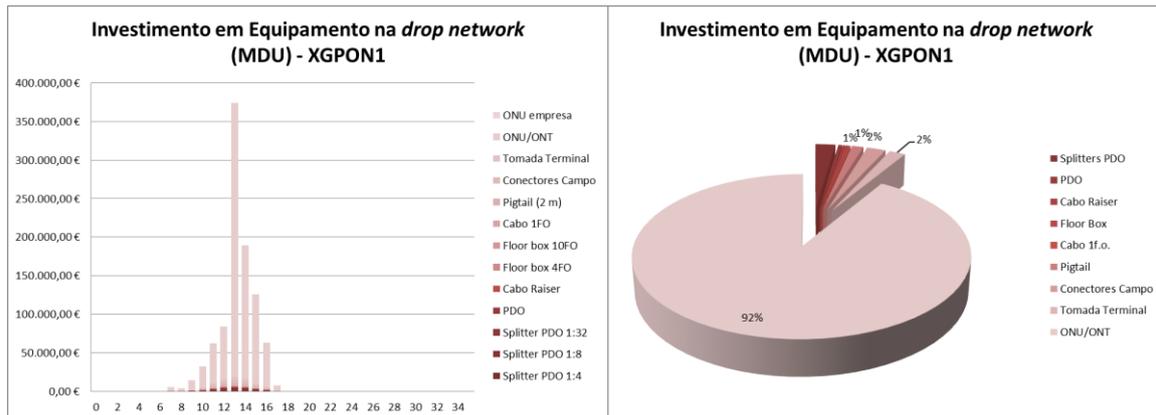


Figura 168 - Investimento em equipamento na drop network (MDU) com a tecnologia XGPON1

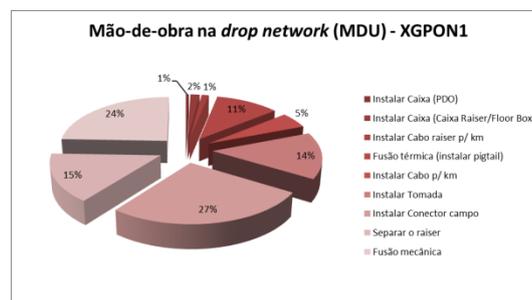


Figura 169 - Mão-de-obra na drop network (MDU) com a tecnologia XGPON1

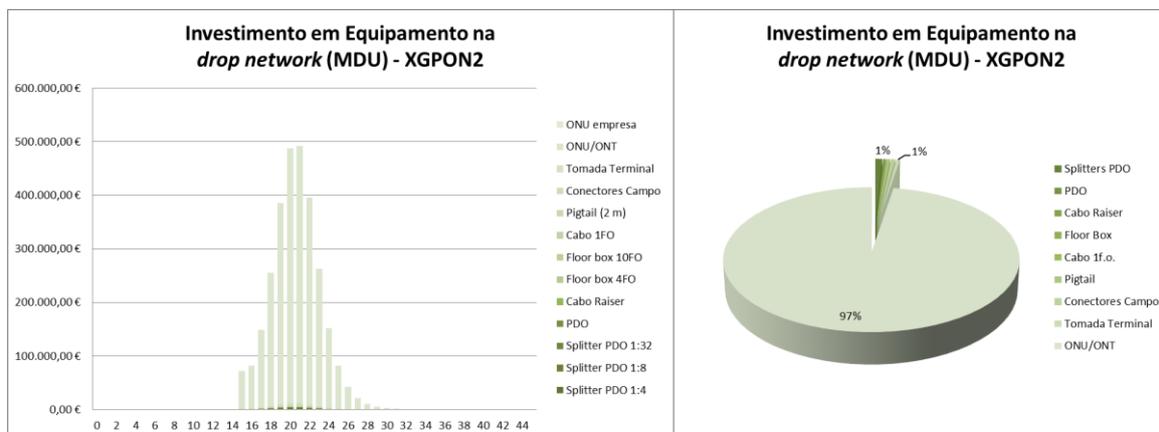


Figura 170 - Investimento em equipamento na drop network (MDU) com a tecnologia XGPON2

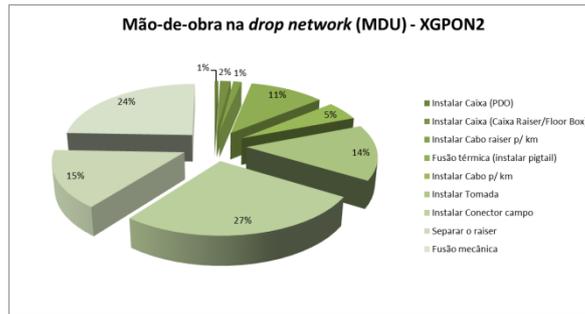


Figura 171 - Mão-de-obra na drop network (MDU) com a tecnologia XGPON2

No cenário analisado o número de UA dos edifícios é superior a 27, pelo que foram utilizados *splitters* 1x8 no PDO, para as tecnologias XGPON1 e XGPON2.

Neste segmento de rede é preciso ter em conta os investimentos associados à instalação de cabos de fibra óptica, pois é necessário instalar cabos para levar fibra a todos os pisos e instalar cabos para ligar cada UA. Os maiores investimentos em equipamento, no subsegmento *building drop*, são os PDO, *splitters* no PDO, cabos *raiser* e *floor boxes*. Para o subsegmento *client drop* o maior investimento realizado é claramente o ONU/ONT, representando cerca de 90% do investimento total neste segmento.

Assim como no cenário anterior, em relação à mão-de-obra, os maiores investimentos são: a instalação/separação dos cabos *raiser*, os conectores de campo e as fusões: térmica e mecânica.

6.9.4.2 Single Family Unit (SFU)

A SFU (*Single Family Unit*) ou moradia unifamiliar, é considerado como uma solução integrada num conjunto de moradias ou urbanização, de 24 SFU (no máximo). Uma vez que o máximo será 24 SFU, este número de UA será sempre inferior a 27, pelo que foram implementados *splitters* 1x4 no PDO, para as tecnologias XGPON1 e XGPON2. A tecnologia GPON foi dimensionada de acordo com o dimensionamento do **Cenário 1**.

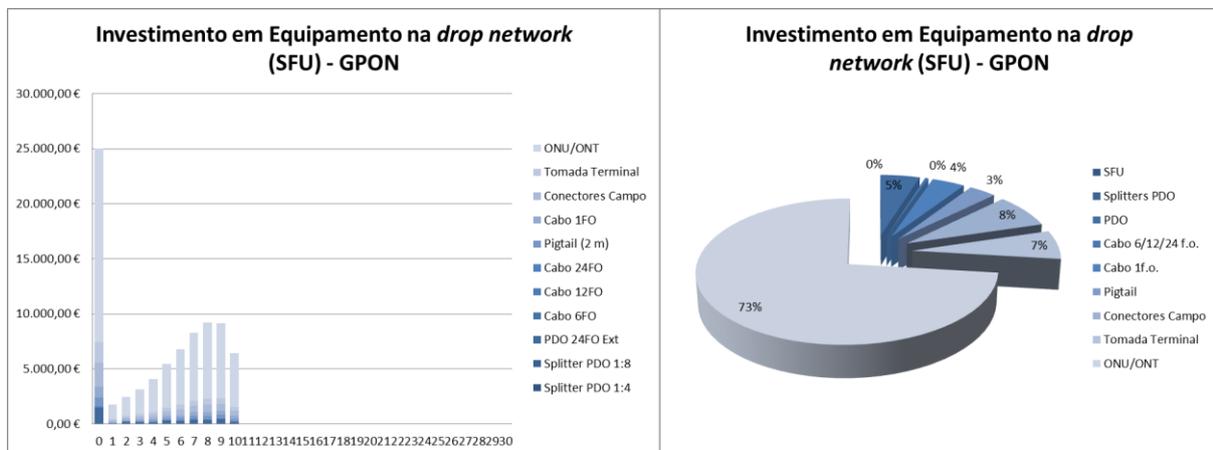


Figura 172 - Investimento em equipamento na drop network (SFU) com a tecnologia GPON

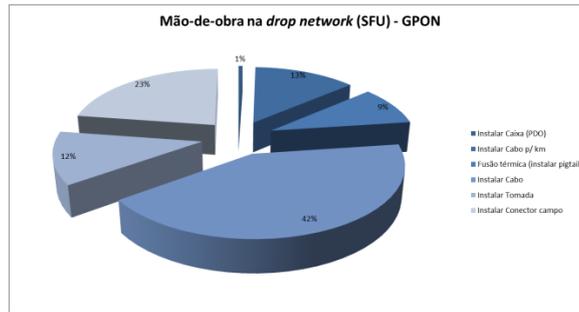


Figura 173 - Mão-de-obra na drop network (SFU) com a tecnologia GPON

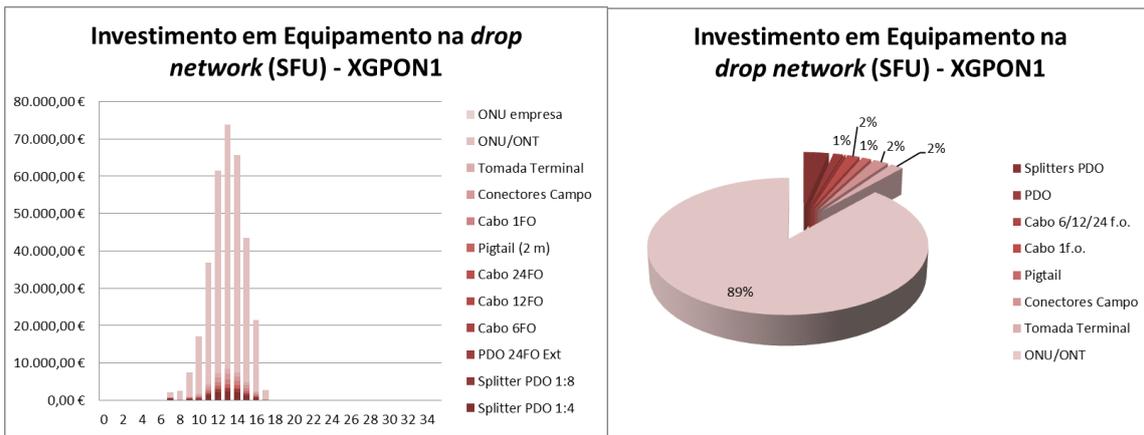


Figura 174 - - Investimento em equipamento na drop network (SFU) com a tecnologia XGPON1

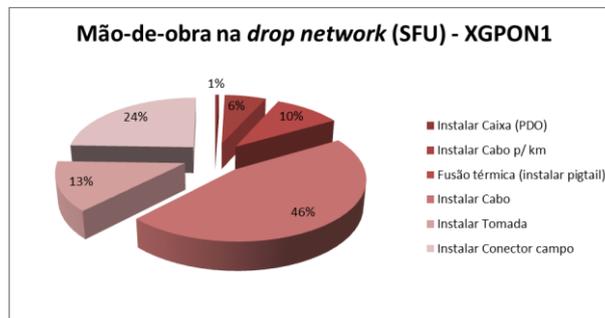


Figura 175 - Mão-de-obra na drop network (SFU) com a tecnologia XGPON1

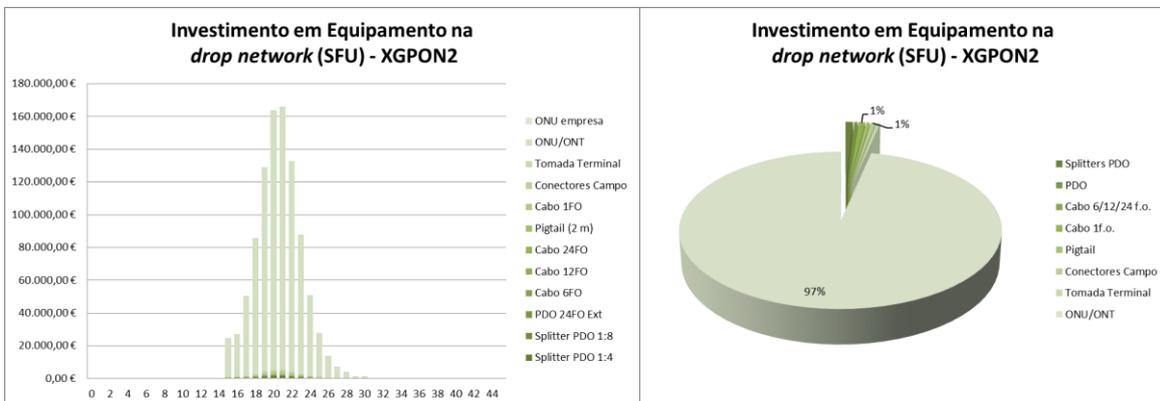


Figura 176 - Investimento em equipamento na drop network (SFU) com a tecnologia XGPON2

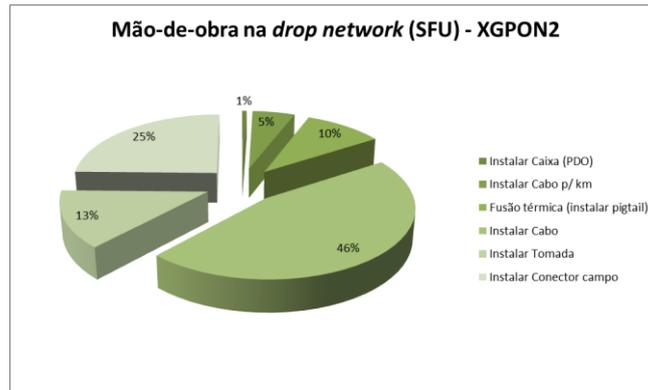


Figura 177 - Mão-de-obra na drop network (SFU) com a tecnologia XGPON2

Pela análise dos gráficos anteriores, o maior investimento é feito nos equipamentos terminais ONU/ONT, representando cerca de 90% do investimento total neste segmento de rede.

Na mão-de-obra, os maiores investimentos são feitos na instalação dos cabos (*client drop*) com uma fatia de cerca de 45% e na instalação dos conectores campo com cerca de 25%. Tanto em equipamento, como em mão-de-obra os investimentos concentram-se no subsegmento *client drop*.

6.9.4.3 Multi-Empresa

Esta solução é implementada quando várias empresas partilham o mesmo edifício, sendo que cada empresa tem um único piso do edifício. O número de pisos dos edifícios empresariais é igual a 7 e, com base nas regras de dimensionamento definidas, será implementada uma *floor box* por empresa.

Se o número de UA a ligar for inferior a 27 instalam-se *splitters* de 1x4 no PDO, se o número de UA for superior ou igual a 27, instalam-se *splitters* 1x8 no PDO, apenas nas tecnologias XGPON1 e XGPON2.

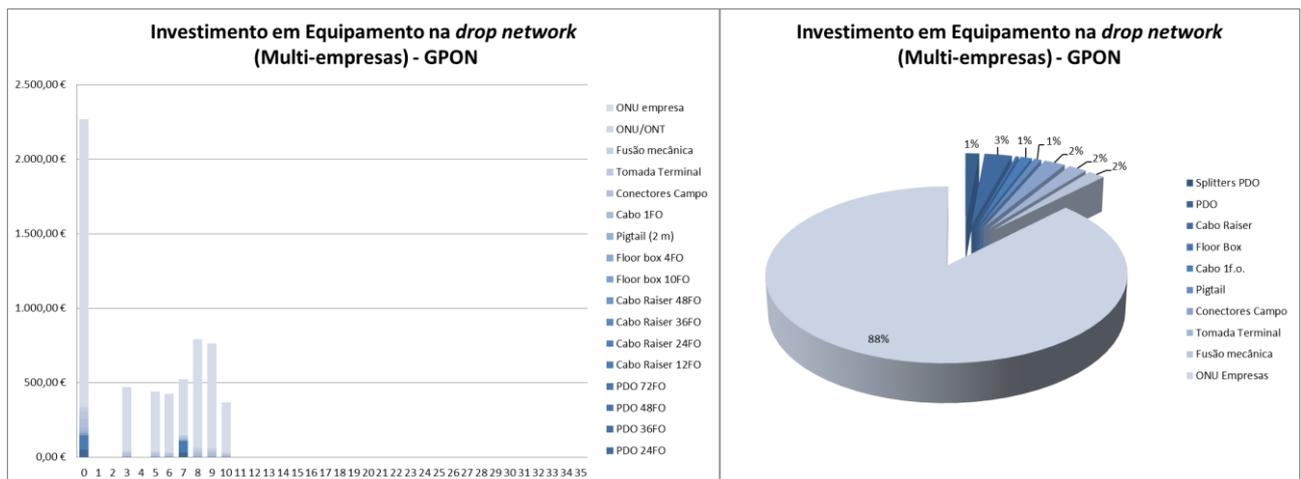


Figura 178 - Investimento em equipamento na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia GPON

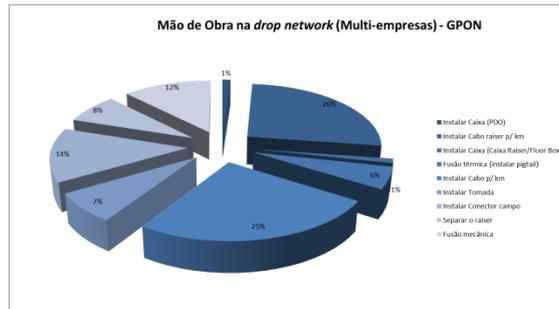


Figura 179 - Mão-de-obra na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia GPON

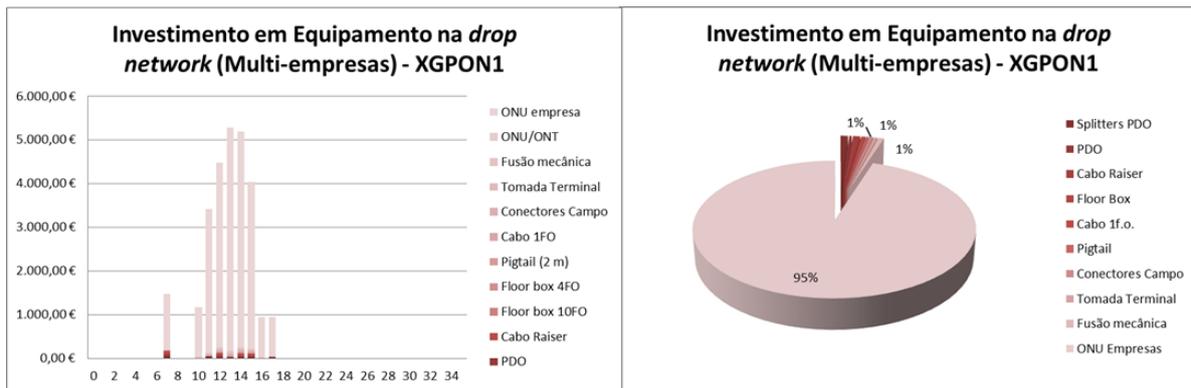


Figura 180 - Investimento em equipamento na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1

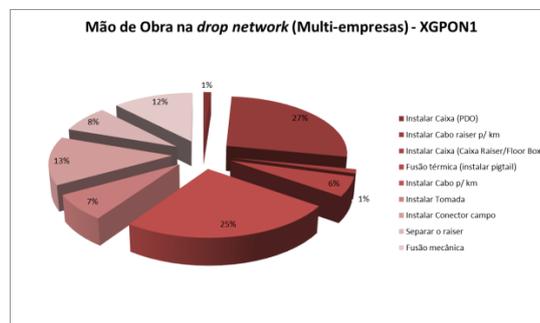


Figura 181 - Mão-de-obra na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1

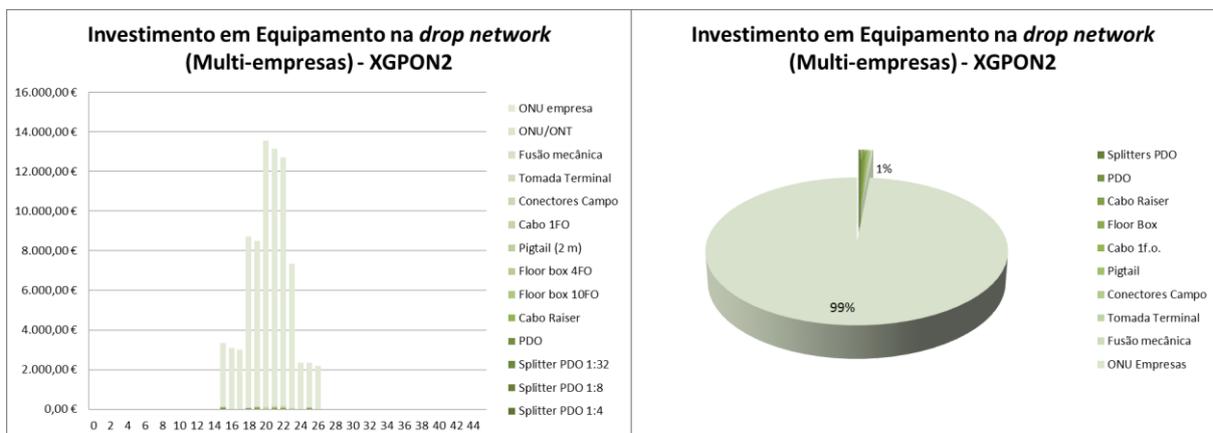


Figura 182 - Investimento em equipamento na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON2

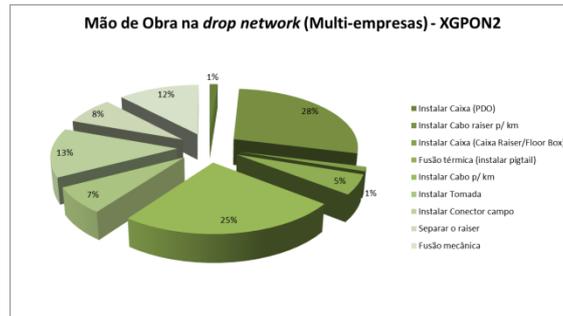


Figura 183 - Mão-de-obra na drop network (Multi-empresas) com a tecnologia XGPON1

Como se pode observar pelas imagens anteriores, o maior investimento feito em equipamento evidencia-se nas ONU/ONT, representando cerca de 90% do investimento total neste segmento. Em mão-de-obra, os maiores investimentos são feitos na instalação dos cabos *raiser* e cabos da *client drop*.

6.9.4.4 Mono Empresa

Cada edifício representa apenas uma empresa (Mono-empresa), com a instalação de uma ONU por piso. O número de pisos dos edifícios empresariais é igual a 7. A implementação do novo andar de *splitagem* é feita de acordo com a seguinte regra: se o número de UA a ligar for inferior a 27 instalam-se *splitters* de 1x4 no PDO, se o número de UA for superior ou igual a 27, instalam-se *splitters* 1x8 no PDO, apenas nas tecnologias XGPON1 e XGPON2.

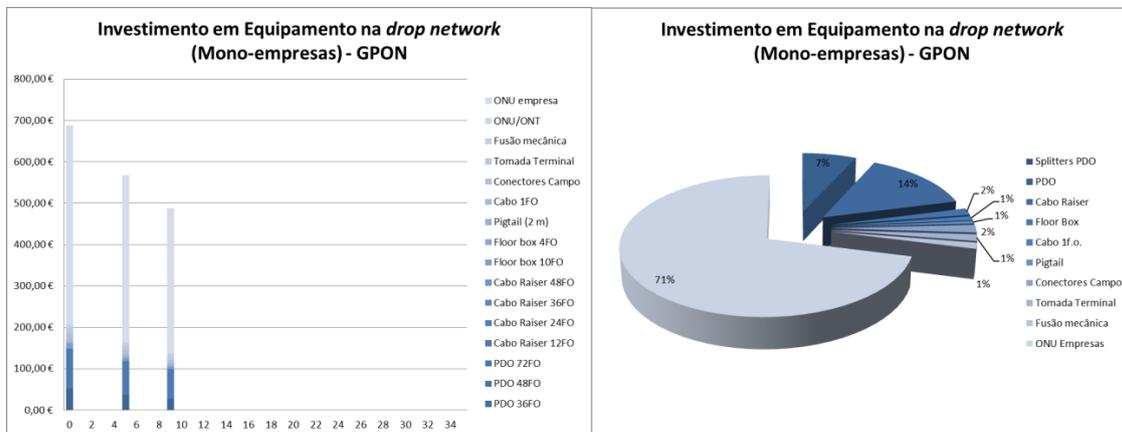


Figura 184 - Investimento em equipamento na drop network (Mono-empresas) com a tecnologia GPON

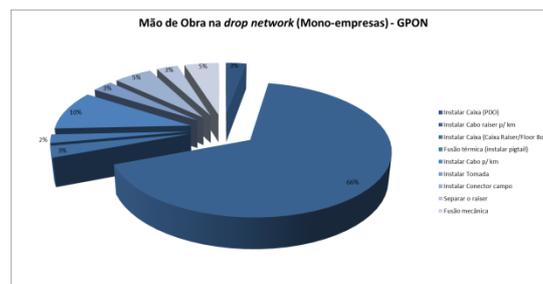


Figura 185 - Mão-de-obra na drop network (Mono-empresas) com a tecnologia GPON

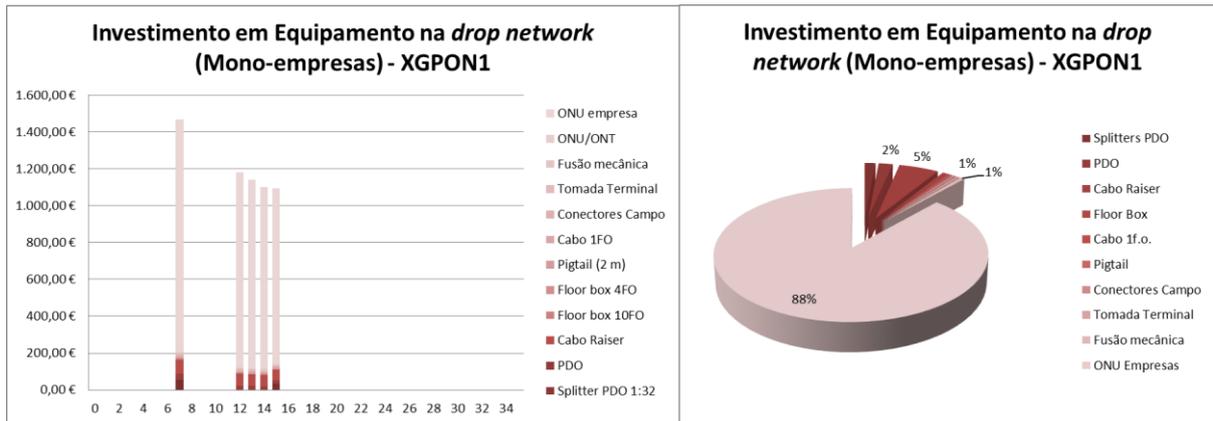


Figura 186 - Investimento em equipamento na *drop network* (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON1

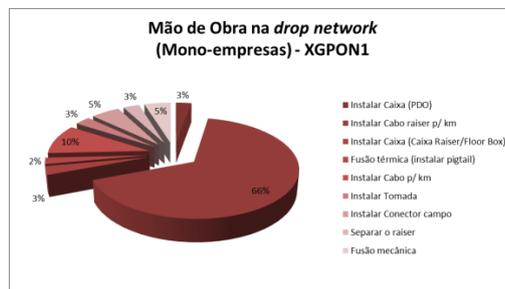


Figura 187 - Mão-de-obra na *drop network* (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON1

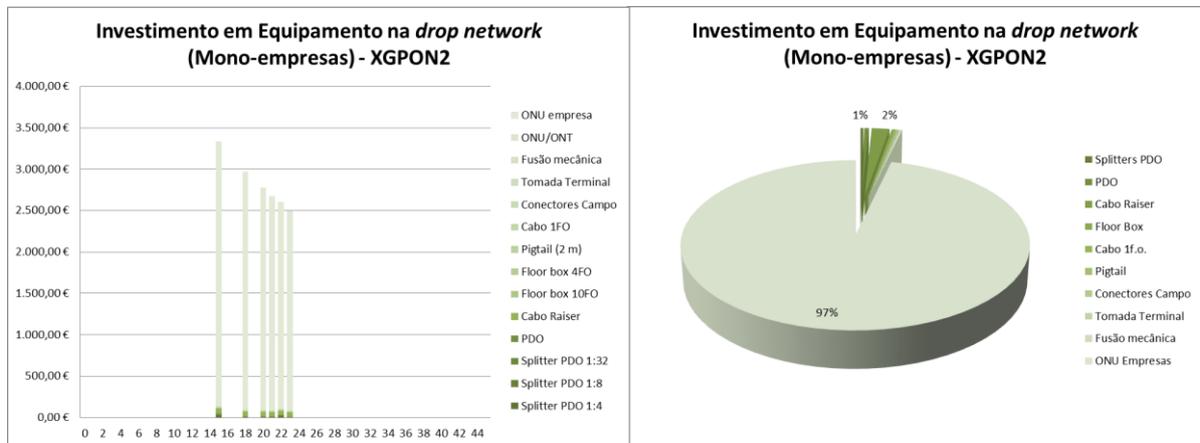


Figura 188 - Investimento em equipamento na *drop network* (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON2

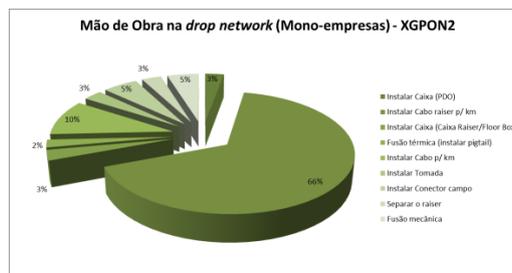


Figura 189 - Mão-de-obra na *drop network* (Mono-empresas) com a tecnologia XGPON2

Em semelhança com qualquer solução adoptada na *drop network*, pela análise das figuras anteriores, o maior investimento em equipamento é feito em ONU/ONT. Em mão-de-obra, independentemente da tecnologia, os investimentos são feitos na instalação dos cabos *raiser* e dos cabos da *client drop*.

6.9.4.5 Total Drop Network

Na figura seguinte podem observar-se os investimentos feitos na *drop network* para as 3 tecnologias, ao longo dos anos do projecto.

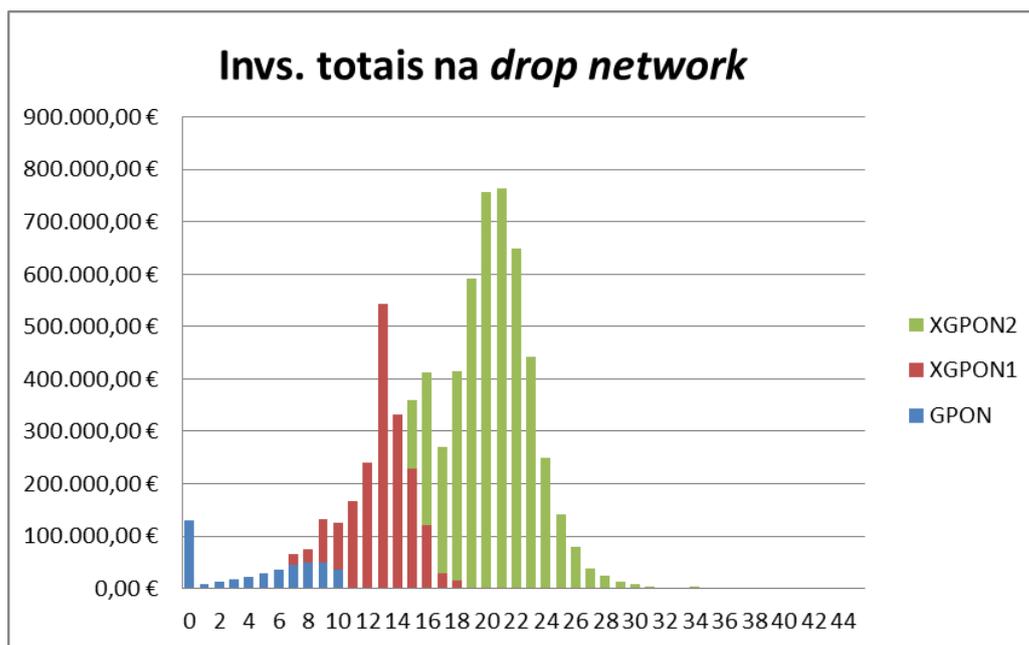


Figura 190 - Investimentos totais na *drop network* com as tecnologias: GPON, XGPON1 e XGPON2

No ano inicial de cada tecnologia é preciso implementar equipamento suficiente para servir o nível de partida do mercado e a partir daí aplicar a política “*pay as you grow*”, aumentando a capacidade da rede de maneira a servir novos clientes. A capacidade da rede aumenta, da GPON com um rácio de 1x64 utilizadores para um rácio de pelo menos 1x256 utilizadores, na XGPON1 e XGPON2.

Nas tabelas seguintes estão detalhados valores dos investimentos totais de cada tecnologia divididos em: equipamento e mão-de-obra.

Tabela 29 - Investimentos totais na *drop network* - tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

drop network GPON		Valor total	drop network XGPON1		Valor total	drop network XGPON2		Valor total
Equipamento	MDU	248.411,91 €	Equipamento	MDU	1.788.646,86 €	Equipamento	MDU	3.883.438,95 €
	SFU	88.267,88 €		SFU	611.587,01 €		SFU	1.062.892,82 €
	Multi-empresa	6.054,73 €		Multi-empresa	26.922,13 €		Multi-empresa	80.271,55 €
	Mono-empresa	1.742,72 €		Mono-empresa	10.980,08 €		Mono-empresa	16.869,30 €
Total equipamento		344.477,25 €	Total equipamento		2.438.136,08 €	Total equipamento		5.043.472,61 €
Mão-de-obra	MDU	65.996,55 €	Mão-de-obra	MDU	129.719,44 €	Mão-de-obra	MDU	161.156,76 €
	SFU	25.556,57 €		SFU	47.414,65 €		SFU	58.393,20 €
	Multi-empresa	854,37 €		Multi-empresa	3.661,73 €		Multi-empresa	4.518,40 €
	Mono-empresa	505,89 €		Mono-empresa	2.343,15 €		Mono-empresa	2.511,78 €
Total Mão-de-obra		92.913,38 €	Total Mão-de-obra		183.138,97 €	Total Mão-de-obra		226.580,14 €

6.10 Visão global dos Investimentos

Nesta secção apresenta-se um resumo global dos investimentos e resultados económicos mais relevantes para a avaliação do projecto.

6.10.1 Cenário 1 TOTAL

O **Cenário 1** descreve a evolução da tecnologia GPON ao longo do tempo. Como já foi referido, a primeira evolução será a XGPON1 e a segunda evolução imediata será a XGPON2. As 3 tecnologias irão coexistir num mesmo ODN e existirá um momento ao longo do projecto onde estarão activas as 3 tecnologias em simultâneo.

Na tabela seguinte encontra-se o valor dos investimentos realizados para cada tecnologia, discriminados por segmento de rede.

Tabela 30 – Cenário 1: Investimentos totais com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

GPON	Valor total	XGPON1	Valor total	XGPON2	Valor total
C.O.	177.789,68 €	C.O.	598.284,39 €	C.O.	1.655.381,45 €
feeder network	263.081,48 €	feeder network	572.912,87 €	feeder network	853.934,84 €
distribution network	4.076.605,82 €	distribution network	7.587.356,75 €	distribution network	11.161.901,76 €
drop network	406.205,05 €	drop network	1.462.926,21 €	drop network	4.146.379,12 €
Total	4.923.682,03 €	Total	10.221.480,23 €	Total	17.817.597,18 €

O aumento gradual de valor capital investido em cada segmento de rede, de tecnologia para tecnologia, deve-se ao aumento ou de potência dos equipamentos, logo por consequente um aumento de complexidade dos equipamentos. Apresenta-se, cada vez mais, uma rede ramificada que serve um maior número de clientes e que atinge distâncias superiores.

Na imagem seguinte estão representados os investimentos totais feitos neste cenário.

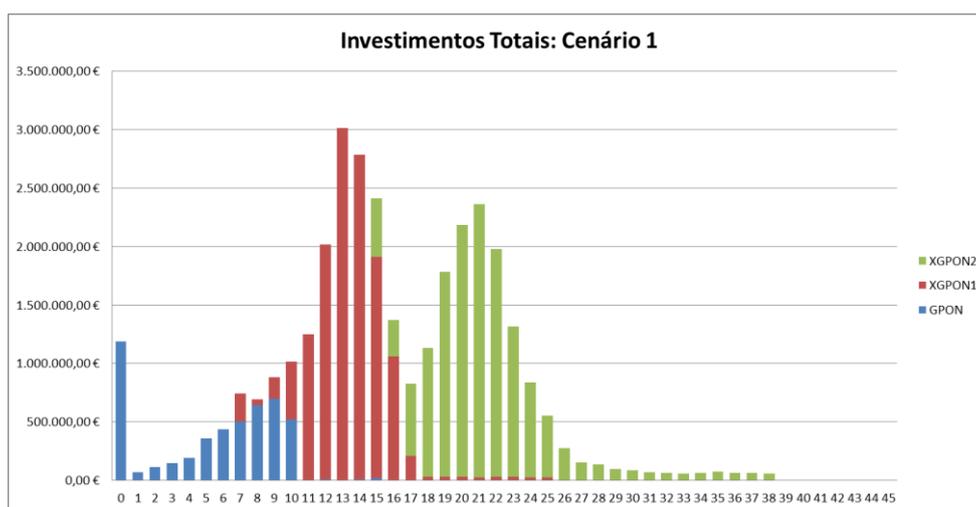


Figura 191 – Cenário 1: Investimentos totais ao longo da duração do projecto

No primeiro ano da GPON é feito um grande investimento que serve de base para toda a infraestrutura da área que se pretende servir. Nos anos seguintes serão implementados, de acordo

com as necessidades do mercado, os fundamentos necessários para o servir. A substituição do equipamento eléctrico de 5 em 5 anos também é considerada, ao longo de todo o projecto. Quando surge uma nova tecnologia, esta aproveitará tudo o que for compatível e susceptível de ser aproveitado. Uma vez que a nova tecnologia, quer seja a XGPON1, quer seja a XGPON2, no início terá poucos clientes, pelo que o investimento inicial será feito apenas na Central Local e depois será feito progressivamente, a pedido dos clientes finais, nos terminais dos mesmos.

Na figura seguinte estão representados os rácios de cada tecnologia, associados aos segmentos de rede (*Central Office, feeder network, distribution network e drop network*).

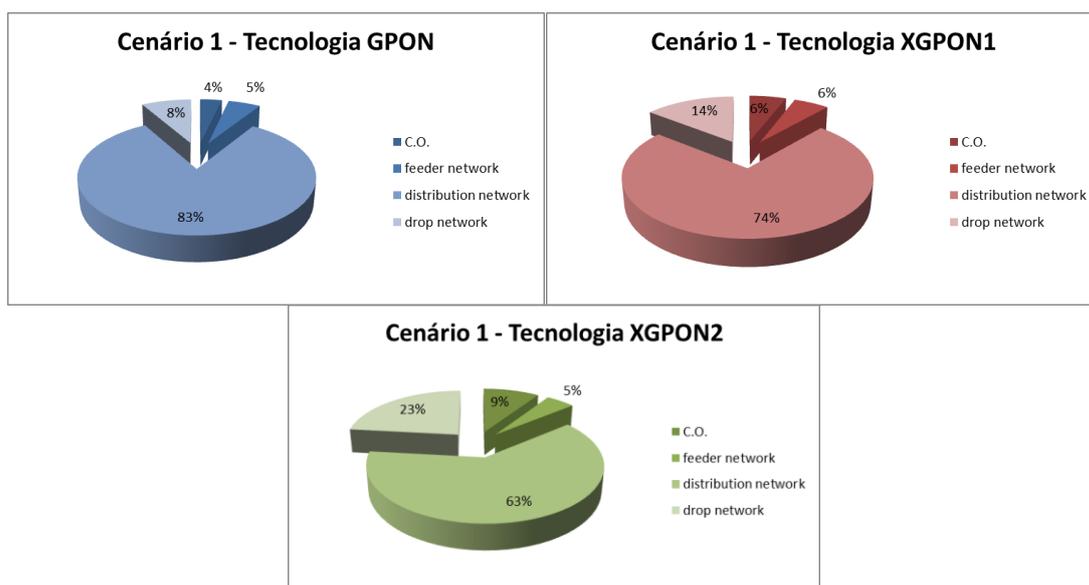


Figura 192 – Cenário 1: Investimento total com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

6.10.2 Cenário 2 TOTAL

O **Cenário 2** descreve a evolução da tecnologia GPON para a tecnologia XGPON1 e depois para a tecnologia XGPON2, ao longo do tempo. As 3 tecnologias irão coexistir num mesmo ODN e existirá um período de tempo do projecto onde estarão as 3 tecnologias implementadas e a funcionar em simultâneo.

Na tabela seguinte estão representados os valores dos investimentos realizados para cada tecnologia, por segmento de rede.

Tabela 31 – Cenário 2: Investimentos totais com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

GPON	Valor total	XGPON1	Valor total	XGPON2	Valor total
C.O.	188.698,13 €	C.O.	643.169,05 €	C.O.	1.786.181,63 €
feeder network	263.081,48 €	feeder network	639.317,09 €	feeder network	853.934,84 €
distribution network	4.076.605,82 €	distribution network	7.587.356,75 €	distribution network	11.161.901,76 €
drop network	437.390,64 €	drop network	2.621.275,04 €	drop network	5.270.052,75 €
Total	4.965.776,07 €	Total	11.491.117,92 €	Total	19.072.070,99 €

Pela análise da tabela anterior, verifica-se um aumento gradual de valor capital investido em cada segmento de rede, de tecnologia para tecnologia. Este aumento deve-se à evolução dos equipamentos (potência), ao número de clientes e à distância que aumenta substancialmente para as tecnologias XGPON1 e XGPON2 neste cenário.

Na imagem seguinte estão representados os investimentos totais feitos no **Cenário 2**, ao longo dos anos, para as diferentes tecnologias.

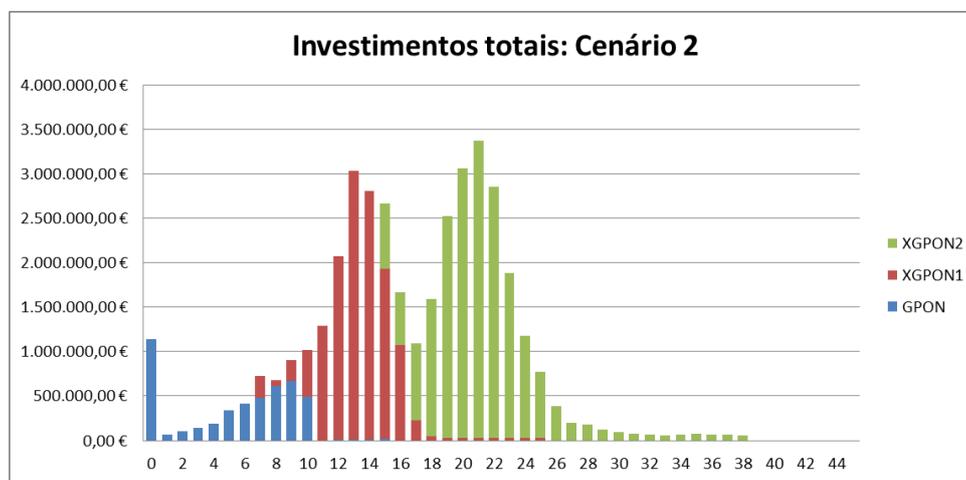


Figura 193 - Cenário 2: Investimentos totais por ano ao longo do projecto

À semelhança do **Cenário 1**, no primeiro ano da GPON é feito um grande investimento que serve de base para toda a infraestrutura a implementar. Nos anos seguintes, a rede irá crescer de acordo com as necessidades do mercado. A grande diferença dos cenários será o *split ratio* e o alcance da rede. Enquanto que a tecnologia GPON satura aos 64 clientes finais num alcance de 20km, as tecnologias XGPON1 e XGPON2 serão capazes de servir de 1:64 a 1:256 de 20km até 60km.

Uma vez que as tecnologias são evoluções das anteriores, é possível reaproveitar grande parte dos investimentos feitos, principalmente as infraestruturas existentes de construção com custos significativos. A substituição do equipamento eléctrico de 5 em 5 anos também é considerada, ao longo de todo o projecto.

Na figura seguinte estão representados os rácios de cada tecnologia, associados aos diferentes segmentos de rede.

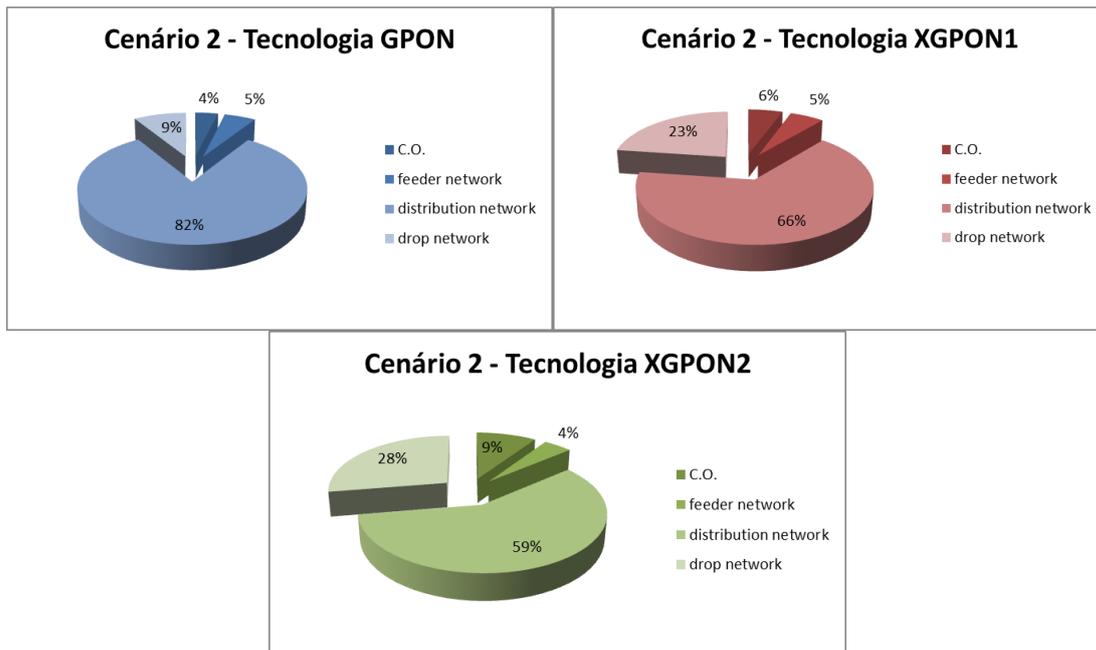


Figura 194 – Cenário 2: Investimento total com as tecnologias GPON, XGPON1 e XGPON2

6.10.3 CAPEX

Os investimentos realizados, para esta tipologia, ao longo do período de duração do projecto encontram-se ilustrados nas figuras seguintes para o **Cenário 1**, **Cenário 2** e sobreposição dos mesmos, respectivamente.

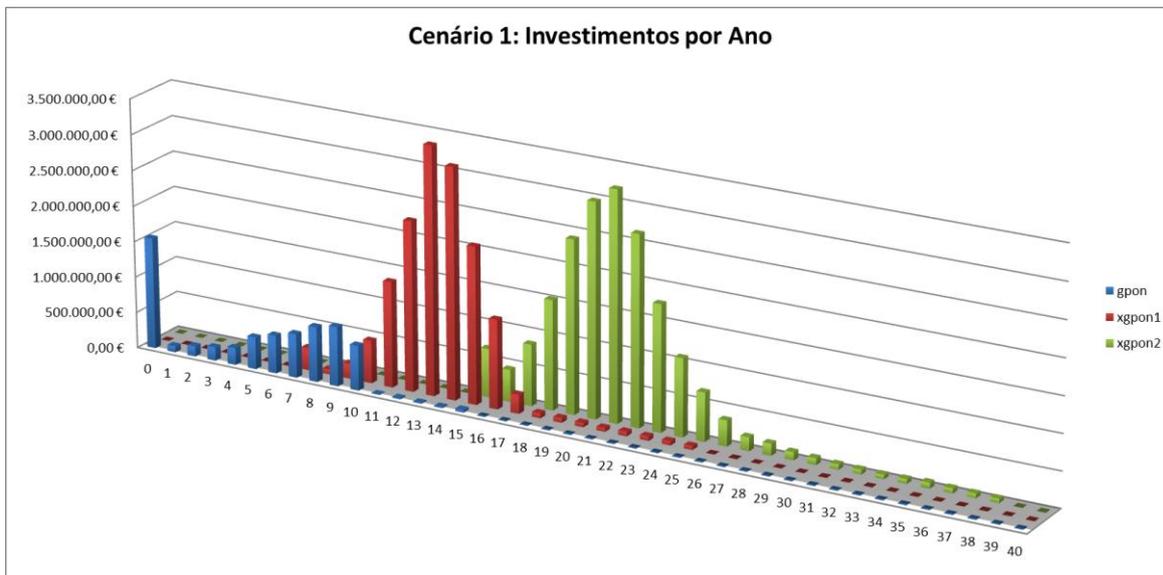


Figura 195 – CAPEX Cenário 1

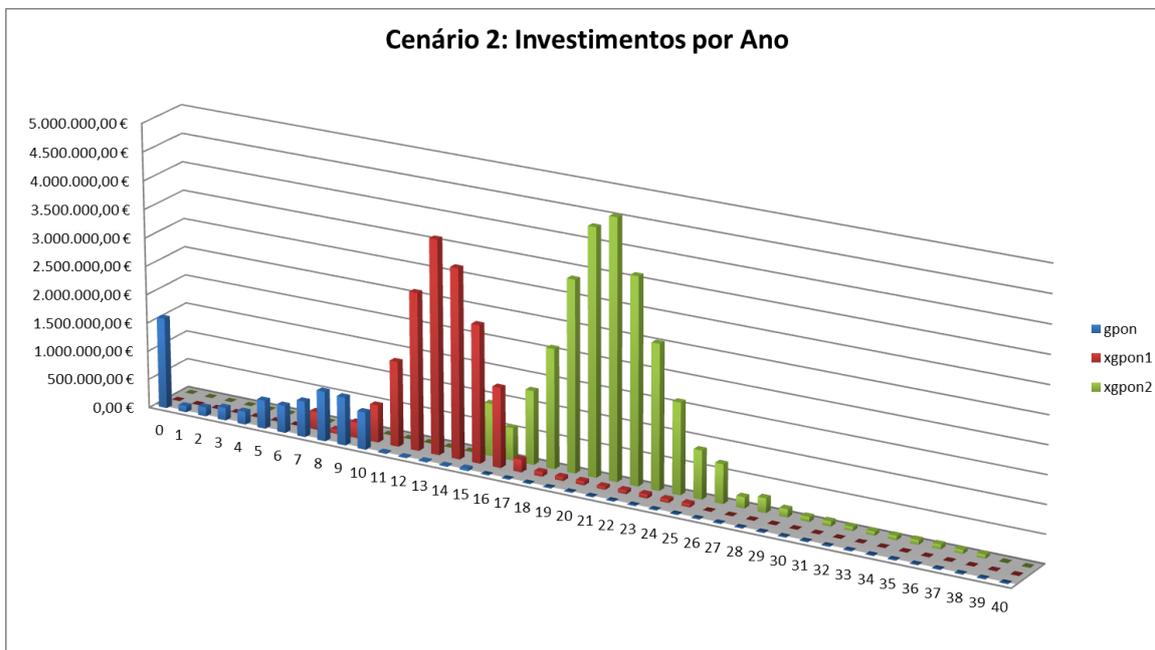


Figura 196 – CAPEX Cenário 2

Considerando o somatório do CAPEX dos diversos segmentos da rede e os dois cenários estudados, obtém-se o seguinte gráfico:

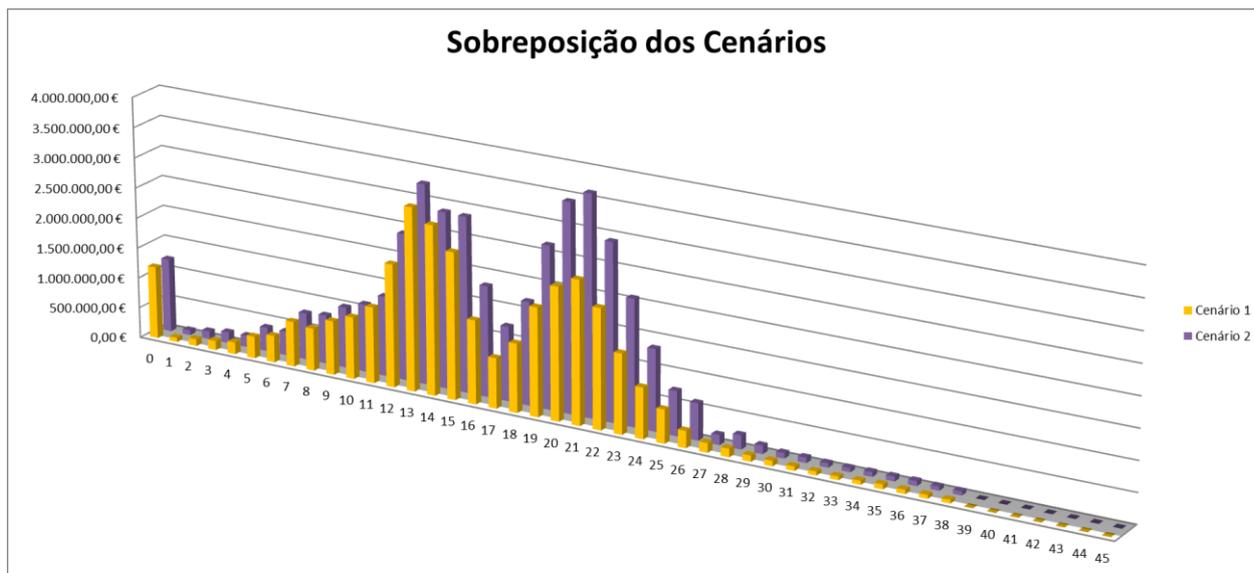


Figura 197 – CAPEX: Sobreposição dos cenários

O comportamento económico acima exposto reflecte as diferentes velocidades de crescimento do mercado, a evolução temporal do preço dos componentes, a substituição de equipamentos e depreciação anual do valor do dinheiro.

Para as tipologias adoptadas nos **Cenário 1** e **2**, os investimentos realizados no primeiro ano da primeira tecnologia a implementar (GPON), que pretendem servir um número mínimo de assinantes, representam a necessidade de instalação de equipamentos de suporte no *Central Office*, em armários de rua (SRO), em juntas de *splitting* (JSO), *splitters* e cablagem na *feeder* e *distribution network*. Toda esta base será o suporte para a implementação das tecnologias seguintes, não sendo necessário um investimento tão significativo nos instantes iniciais da implementação das tecnologias XGPON1 e XGPON2. Após o primeiro ano, com o aumento da adesão dos assinantes aos serviços, os investimentos são realizados de uma forma faseada consoante a velocidade de crescimento do mercado.

As diferentes velocidades de crescimento do mercado, adoptadas para cada tecnologia, têm diferentes impactos no custo real do projecto, sendo que os valores investidos no **Cenário 2** são superiores ao valor investido no **Cenário 1**.

Os picos de investimentos situam-se nos anos: 0, 13 e 21, que correspondem ao início do projecto e aos períodos de grande crescimento para as tecnologias novas, sendo que os clientes das tecnologias anteriores transitam para estas e novos aderem à mesma.

Nas figuras seguintes estão representados os investimentos para os cenários em estudo, por segmento, ao longo da duração do projecto.

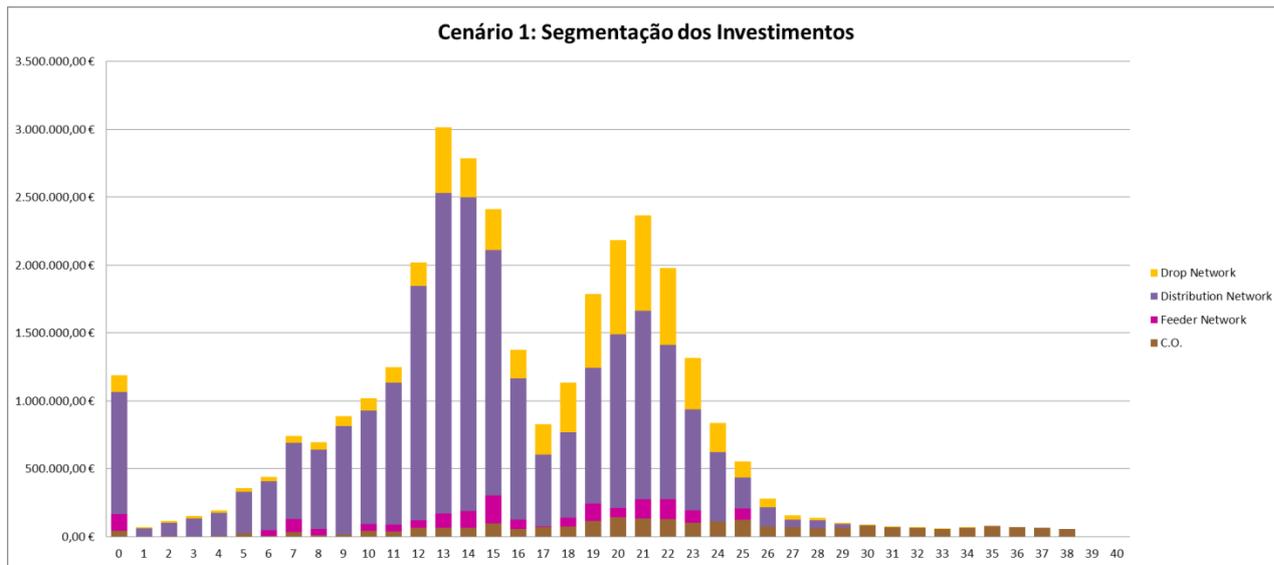


Figura 198 – Segmentação dos Investimentos do Cenário 1 ao longo da duração do projecto

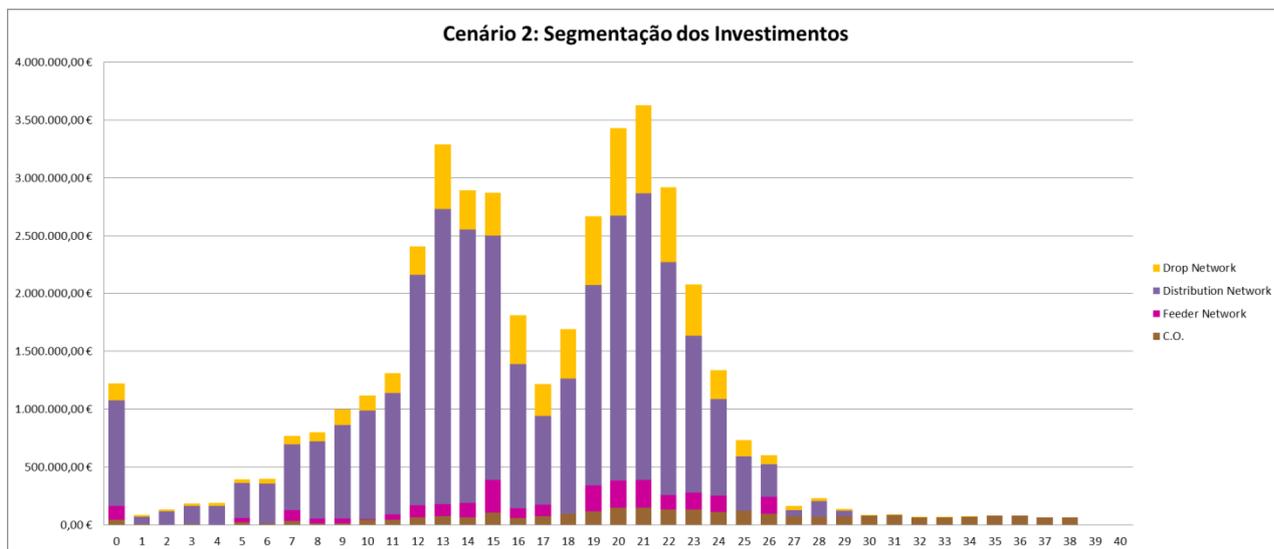


Figura 199 - Segmentação dos Investimentos do Cenário 2 ao longo da duração do projecto

Nas figuras anteriores pode-se observar que os investimentos efectuados se concentram na *distribution network*, uma vez que foram considerados os investimentos em construção civil (abertura de valas, construção de condutas, mão de obra) na *feeder* e *distribution network*. Aos investimentos em construção civil foi aplicada uma taxa de actualização de 5%.

No **Cenário 2** verifica-se um ligeiro aumento dos investimentos feitos na *drop network* em relação ao **Cenário 1**, que se deve ao facto de ser adicionado um novo andar de *splitting* neste segmento.

Nas figuras seguintes está representado o rácio que relaciona a partição dos investimentos por segmento de rede, para cada cenário.

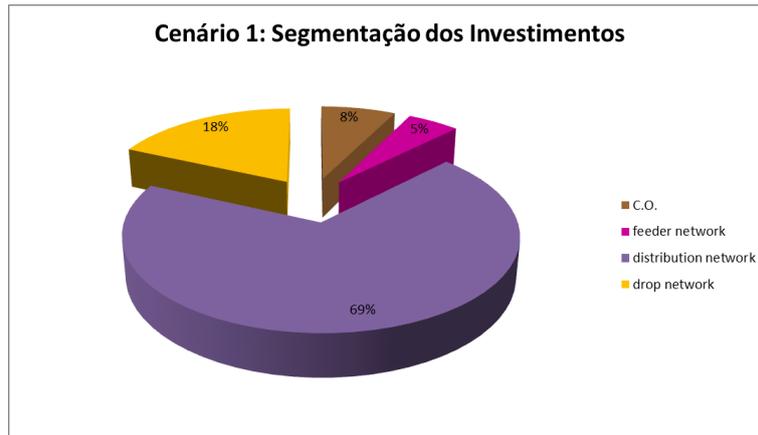


Figura 200 - Segmentação dos Investimentos do Cenário 1 ao longo da duração do projecto

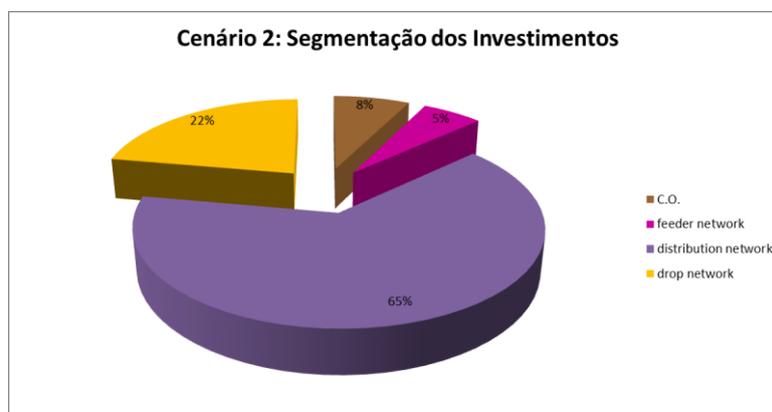


Figura 201 - Segmentação dos Investimentos do Cenário 2 ao longo da duração do projecto

Para os cenários estudados, conclui-se que a *distribution network* representa a maior fatia de investimentos seguida da *drop network*.

O aumento gradual de valor de capital investido em cada segmento de rede, de tecnologia para tecnologia, deve-se ao aumento ou de potência, de complexidade dos equipamentos, ou de número de clientes a servir ou mesmo de distância a servir.

A substituição dos equipamentos activos é feita de 5 em 5 anos, para toda a rede independentemente da tecnologia implementada. A substituição de equipamentos terminais dos clientes (CPE) não foi considerada para nenhum dos cenários.

6.10.4 OPEX

O OPEX é calculado a partir de uma percentagem de 10% do CAPEX do respectivo cenário e de um valor fixo por assinantes: cliente UA equivale a 120€ e cliente Empresa equivale a 200€. Verifica-se que quanto mais elevado é o CAPEX e mais rápida é a adesão dos clientes maior serão os encargos em OPEX.

O OPEX reflecte o investimento anual necessário para satisfazer o mercado que já possui, realizando operações de gestão e manutenção de toda a rede.

Na imagem seguinte estão representados os custos operacionais dos dois cenários, sendo visível que no **Cenário 2** estes são superiores em relação ao **Cenário 1**, o que se justifica com o aumento da rede em tamanho (clientes servidos e alcance conseguido).

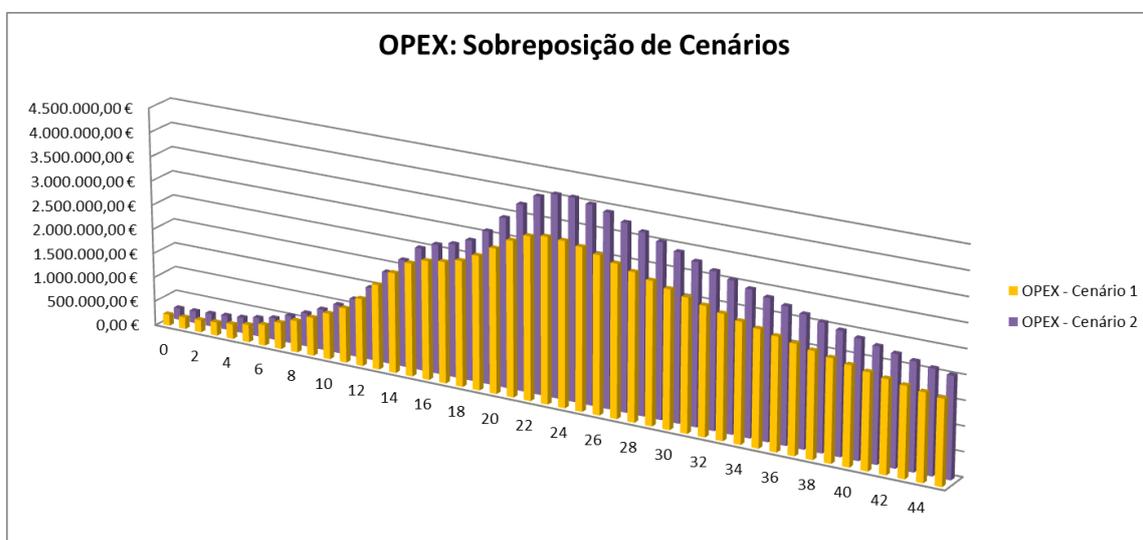


Figura 202 – OPEX: Sobreposição de cenários

6.10.5 Receitas

Para o cálculo das receitas é necessário ter em consideração a dimensão do mercado, isto é, o número de potenciais assinantes e a taxa de penetração dos serviços oferecidos. Com base na tabela da **Secção 6.5**, é possível extrair a seguinte evolução temporal das receitas para os respectivos cenários.

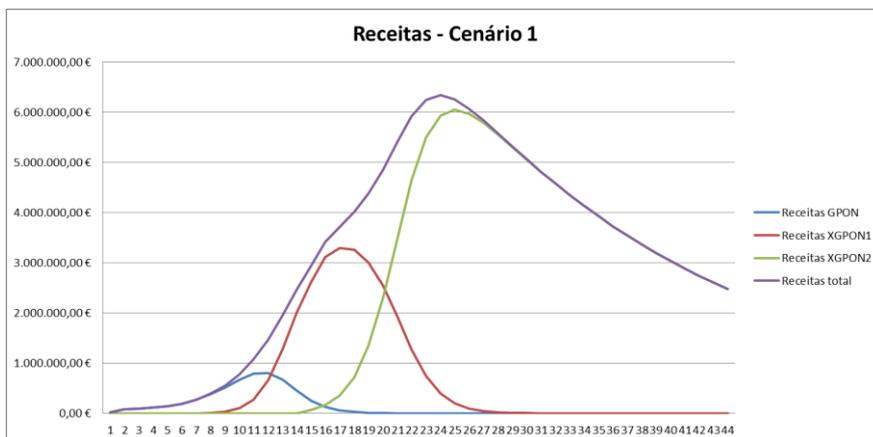


Figura 203 – Receitas: Cenário 1

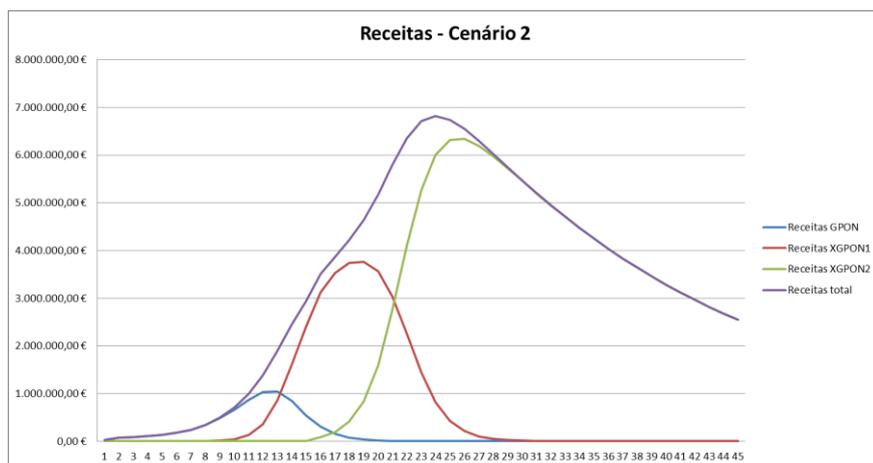


Figura 204 – Receitas: Cenário 2

Nos dois cenários verifica-se que as receitas geradas vão crescendo, ao mesmo ritmo da curva de crescimento do mercado associado a cada tecnologia. A partir de um certo ano existe uma quebra no crescimento das receitas, isso deve-se à estagnação do crescimento do mercado, à taxa de erosão de 5% que as tarifas vão sofrer em cada ano e à passagem de clientes para os novos serviços.

A diferença entre os dois cenários estudados subsiste no número de clientes servidos com uma e outra topologia. No primeiro cenário a saturação da rede é atingida para um menor número de clientes, reflectindo-se num menor valor de receitas.

As receitas geradas nos diferentes cenários são da mesma ordem de grandeza para diferentes tecnologias, pois a dinâmica de crescimento de mercado é a mesma.

6.10.6 Resultados económicos

Existem vários parâmetros que permitem identificar a viabilidade económica de um projecto. Entre eles destacam-se os seguintes:

- **VAL (Valor Actual Líquido):** valor actual (ou actualizado) de todos os *cash flow*.
- **TIR (Taxa Interna de Rentabilidade):** representa uma taxa de juro tal que se o capital investido tivesse sido colocado a essa taxa, obteríamos exactamente a mesma taxa de rentabilidade final.
- **Tempo de Recuperação (*payback period*):** período necessário para que o *cash balance* se torne positivo.

Na tabela seguinte são apresentados os resultados económicos mais relevantes relativamente a esta solução tecnológica (VAL, TIR e Tempo de Recuperação).

Tabela 32 – Resultados económicos

	Cenário 1	Cenário 2
VAL	13.338.594,75 €	7.591.897,11€
TIR	15,95%	12,47%
Período de Recuperação	Ano 4	Ano 5

Nas figuras seguintes estão representados os resultados económicos que permitem analisar a viabilidade económica do projecto (CAPEX, OPEX, Receitas, Fluxo e Balanço).

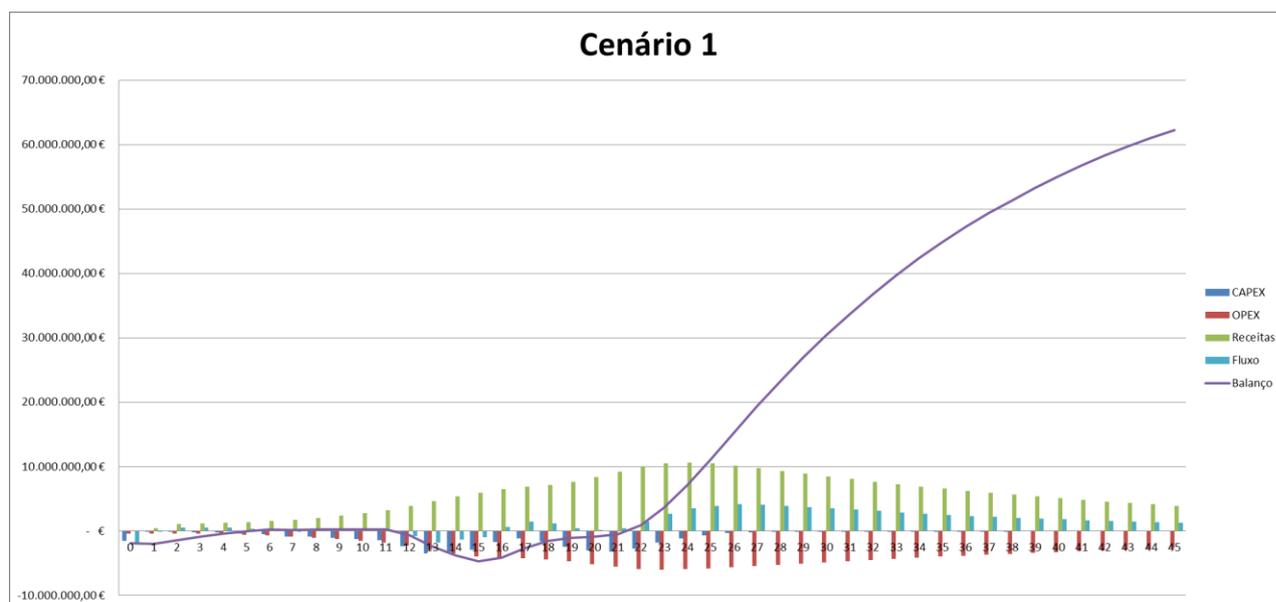


Figura 205 – Cenário 1: Resultados económicos

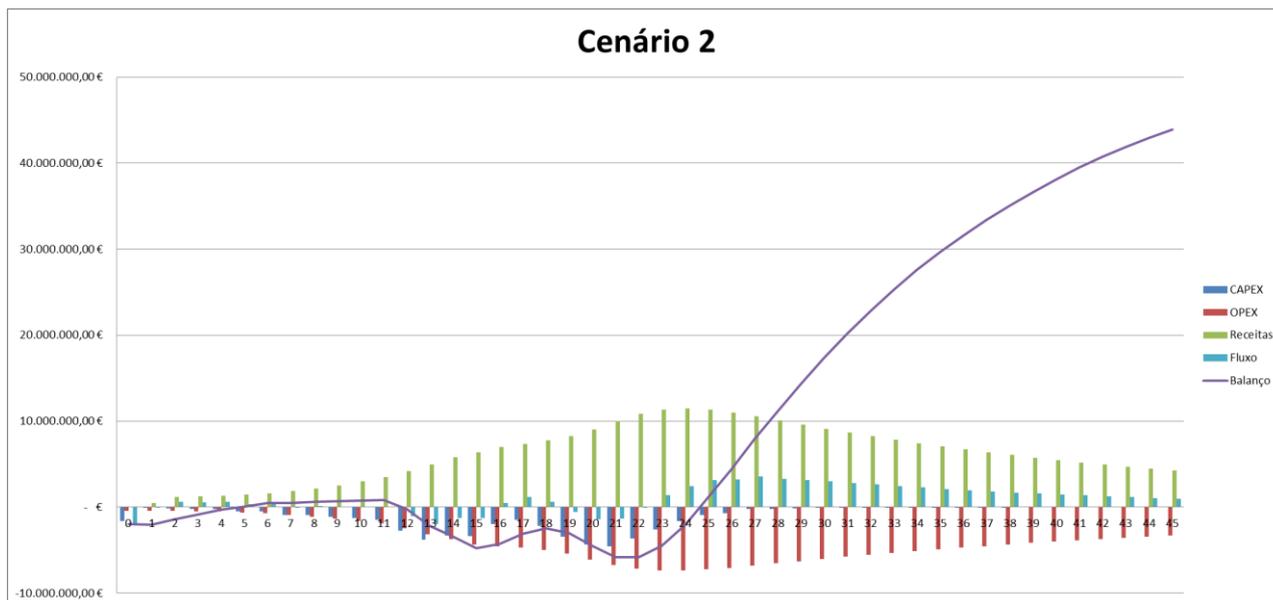


Figura 206 - Cenário 2: Resultados económicos

Nos cenários estudados a duração do projecto irá corresponder a 45 anos, onde a tecnologia GPON é implementada no ano 0 atingindo o seu pico no ano 10, a tecnologia XGPON1 surge no ano 7 e atinge a sua saturação aos 17 anos e a tecnologia XGPON2 surge no ano 15, atingindo a maturidade no ano 37.

No **Cenário 1** o fluxo líquido anual (*cash-flow*) começa a ser positivo no quarto ano do projecto, uma vez que na tecnologia GPON, grande parte dos investimentos é feita logo no início do projecto. Este mantém um valor positivo quase nulo durante uns anos, até que surge a tecnologia XGPON1 e esta começa a ganhar uma importância relevante no ano 12, tornando o balanço negativo. Com as receitas a entrar, o balanço vai crescendo apesar de continuar negativo, até que surge uma nova tecnologia, a XGPON2. Decai novamente com a introdução de uma nova tecnologia, atingindo o valor positivo no ano 21 e crescendo sempre a partir daí.

No **Cenário 2** todo o processo é semelhante, sendo que o *payback period* equivale ao ano 5. As curvas que representam um balanço negativo do projecto, visíveis no gráfico, devem-se à introdução de novas tecnologias. A partir do ano 24, o balanço de todos os investimentos/receitas, cresce gradualmente.

A partir do ano 24 verifica-se um decréscimo das receitas, quer para o **Cenário 1** ou para o caso do **Cenário 2**.

Pela análise efectuada, poderá afirmar-se que devido ao facto de existir um crescente aumento do número de clientes, os dois Cenários vão apresentar um VAL positivo e tão elevado quanto seria de esperar. A Taxa Interna de Rentabilidade é acima de 10%, considerada aceitável, tornando o projecto atractivo. O Período de Recuperação do Projecto é de quatro anos para o **Cenário 1** e de cinco anos para o **Cenário 2**.

6.10.7 Análise de Sensibilidade

Um projecto de análise económica, realizado previamente ao investimento, conta com um conjunto de parâmetros de entrada que são estimados. Estes parâmetros vão influenciar, de diferentes formas, o comportamento do projecto e respectivos resultados económicos. A análise de sensibilidade pretende verificar qual o impacto da variação dos parâmetros de entrada nos resultados económicos.[39] Considerando o caso de estudo apresentando para os diferentes cenários, foi efectuada uma análise de sensibilidade para cada uma delas. Foram definidos dois grupos de parâmetros a variar: um dos grupos considera os parâmetros ligados ao dimensionamento físico da **rede** e o outro grupo considera os parâmetros ligados à dimensão de **mercado** e receitas geradas pelo mesmo.

Esta análise de sensibilidade foi realizada considerando uma variação de 20% dos parâmetros de entrada.

6.10.7.1 Rede

Considera os parâmetros ligados ao dimensionamento físico da rede como: o custo equipamentos activos (Carta OLT, RF WDM *Combiner*), os diferentes comprimentos da rede de acesso (L1, L2, L3 e L4) e cablagem, custo dos armários de rua (SRO), custo dos *splitters* e mão-de-obra.

Nos gráficos seguintes está representada a análise de sensibilidade no que respeita à variação dos parâmetros descritos para os indicadores económicos: VAL e TIR.

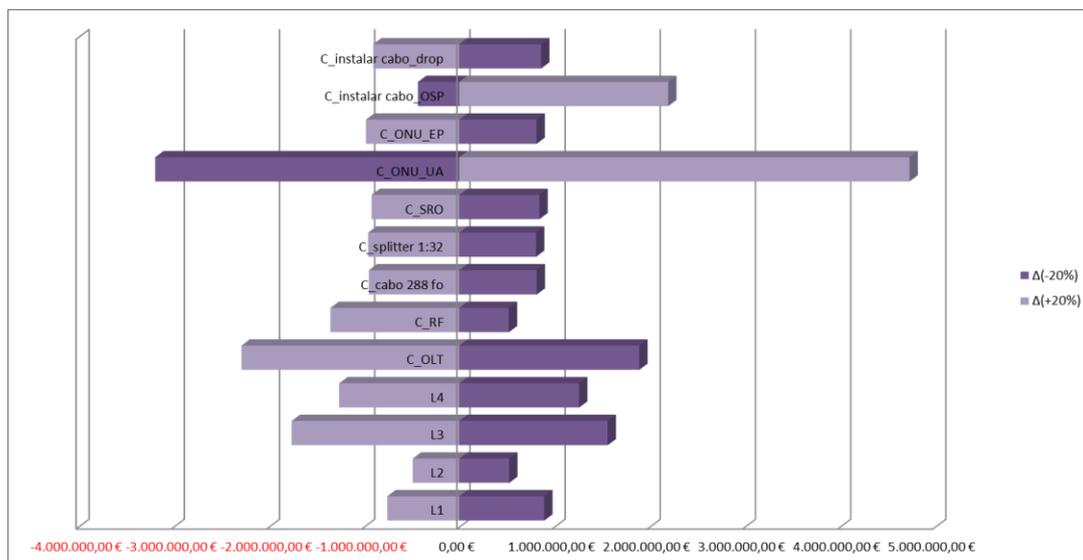


Figura 207 – Análise de Sensibilidade: Rede – VAL

Dos diversos parâmetros avaliados destaca-se o impacto da variação dos seguintes:

- No custo das ONU para utilizadores residenciais (C_ONU_UA) uma variação positiva de 20% do seu custo representa uma diminuição do VAL em cerca de 35% em relação ao valor inicial.

- Uma variação positiva do custo de instalação de cabo na rede de acesso (C_instalar_cabo_OSP) apresenta uma variação no VAL em cerca de 16%.
- Custo de carta OLT (C_OLT), uma variação positiva de 20% do seu custo representa uma diminuição do VAL em 17%.

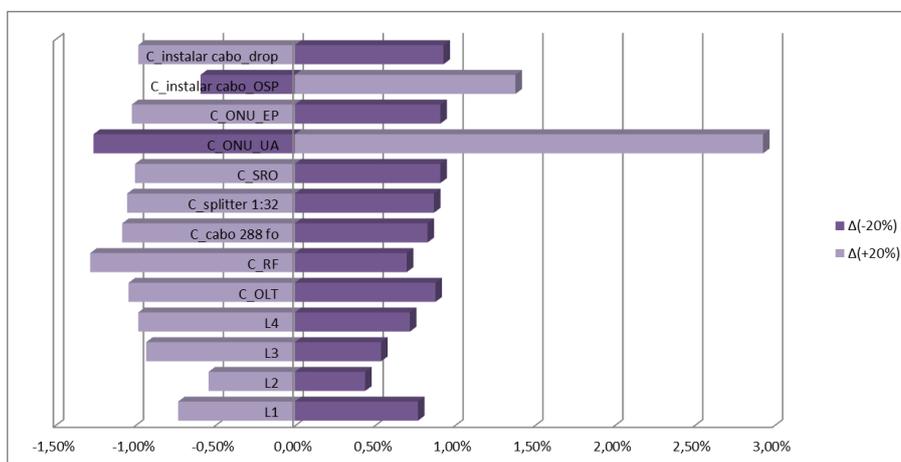


Figura 208 – Análise de Sensibilidade: Rede - TIR

Dos diversos parâmetros avaliados destaca-se o impacto da variação dos seguintes:

- No custo do ONU para utilizadores residenciais (C_ONU_UA) uma variação positiva de 20% do seu custo representa uma diminuição do TIR em 2,93% e uma variação negativa um aumento do TIR em 1,26%. Este facto deve-se, principalmente, ao número de assinantes e ao custo do equipamento ONU associado a cada tecnologia;
- Uma variação do custo de instalação de cabo na rede de acesso (C_instalar_cabo_OSP) apresenta uma variação no TIR em cerca de 1,38% salientando a importância deste factor.

6.10.7.2 Mercado

Considera parâmetros ligados à dimensão do mercado, onde está incluído o número de potenciais assinantes residenciais (UA) e empresariais (multi e mono empresa), o nível de partida esperado e o nível de saturação esperado da globalidade do mercado e a percentagem atribuída a MDU e SFU. Consideram-se ainda aos parâmetros associados às receitas geradas pelo mercado: tarifários 1, 2, 3 e 4 oferecidos aos clientes residenciais e tarifários empresariais oferecidos às multi e mono empresas.

À semelhança da secção anterior, representam-se nos gráficos seguintes a análise de sensibilidade no que respeita à variação dos parâmetros descritos para os indicadores económicos: VAL e TIR.

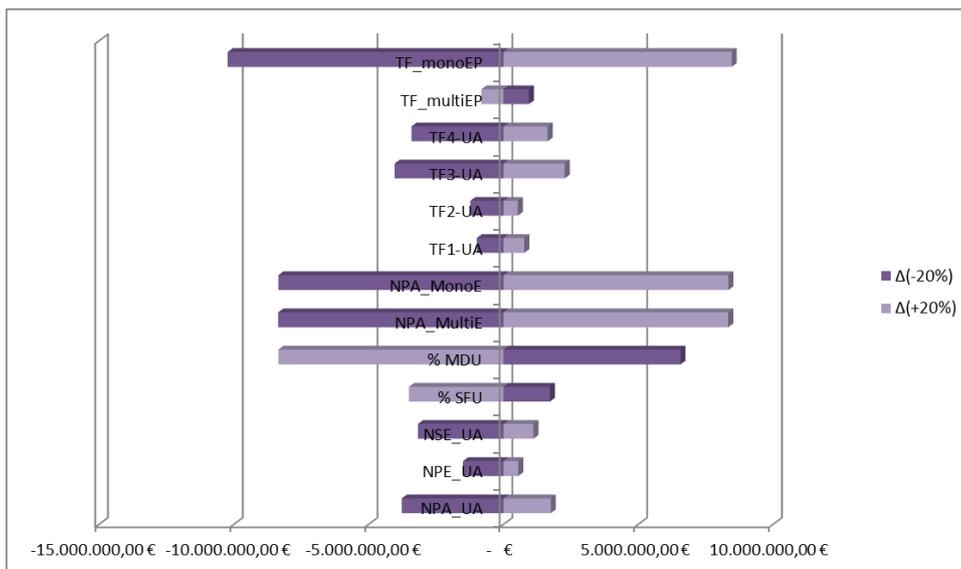


Figura 209 - Análise de Sensibilidade: Mercado - VAL

Dos diversos parâmetros avaliados destaca-se o impacto da variação dos seguintes:

- O valor do tarifário oferecido aos assinantes empresariais, tratando-se de ser uma mono-empresa (TF_MonoEP) quando sujeito a uma variação positiva de 20% do seu custo representa um aumento do VAL em cerca de 60%. Este facto é justificado com o número de utilizadores associados a este tarifário (20% do mercado empresarial) e o valor que estes tarifários assumem são de elevada importância que aumenta significativamente quando a tecnologia evolui;
- O número de potenciais assinantes empresariais (NPA_MonoE e NPA_MultiEP) e número de potenciais assinantes residenciais (NPA-UA) outros factores muito relevantes, pois estes definem a dimensão do mercado e conseqüentemente o valor económico do projecto, as variações de 20% representam neste contexto cerca de um aumento de 60% do VAL para os assinantes empresariais e de um aumento de 10% do VAL para os assinantes residenciais;

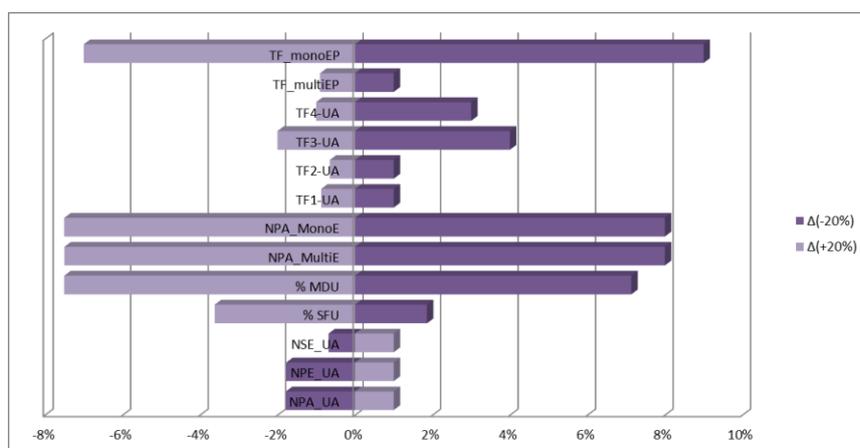


Figura 210 – Análise de Sensibilidade: Mercado - TIR

Dos diversos parâmetros avaliados destaca-se o impacto da variação dos seguintes:

- O valor do tarifário oferecido aos assinantes empresariais, tratando-se de ser uma mono-empresa (TF_MonoEP) quando sujeito a uma variação positiva de 20% do seu custo representa uma variação do TIR em cerca de 8%.
- O número de potenciais assinantes empresariais (NPA_MonoE e NPA_MultiEP) e número de potenciais assinantes residenciais (NPA_UA) outros factores muito relevantes, pois estes definem a dimensão do mercado e consequentemente o valor económico do projecto, as variações de 20% representam neste contexto cerca de um aumento de 8% do TIR para os assinantes empresariais e de um aumento de cerca de 2% do TIR para os assinantes residenciais.

7. Considerações Finais

Seguem-se as principais conclusões relativas ao trabalho realizado e algumas propostas de trabalho futuro que poderão dar continuidade ao estudo efectuado nesta dissertação.

7.1 Conclusões

Esta dissertação teve como motivação base o estudo e compreensão da arquitectura de rede FTTH, solução GPON, implementada actualmente em Portugal, assim como os cenários de evolução passíveis de serem concretizados. Este estudo incidiu em diversos aspectos ao nível de engenharia e da economia, na tentativa de compreensão do impacto económico das diferentes soluções de engenharia na mesma zona habitacional.

A familiarização com o estado da arte das actuais redes de acesso foi realizada, assim como a compreensão das limitações actuais existentes nestas redes. A escolha da melhor solução de rede depende de múltiplos factores, pelo que é necessário estudar a viabilidade dos projectos de implementação de redes de telecomunicações. Assim, estudou-se a estrutura e organização das actuais redes de telecomunicações, analisaram-se as tecnologias das redes de interligação, de acesso e de cliente e fez-se um levantamento das suas arquitecturas e soluções de rede. Por um lado, a crescente necessidade de maior largura de banda, os novos serviços e dependência de uma comunicação em tempo real leva-nos a procurar soluções de nova geração para as redes de acesso. Por outro lado, é imperativo proteger os investimentos dispendiosos efectuados pelos operadores na implementação das actuais redes de telecomunicações.

Todos estes factores e a evidência de que o desenvolvimento e implementação de uma nova rede de telecomunicações requerem um amplo investimento de capital e uma gestão competente de recursos, levam-nos ao estudo de cenários de migração que possibilitem a coexistência das tecnologias actuais com as suas evoluções.

Foram realizados, ao longo do projecto, estudos de curvas logísticas de adesão e abandono, associadas ao comportamento global do mercado. Este estudo permitiu obter uma visão de comportamentos praticáveis face a diferentes cenários de evolução da actual tecnologia implementada em Portugal, GPON.

Foi estudada a arquitectura de rede FTTH, utilizando a tecnologia GPON, XGPON1 e XGPON2. Para tal, analisaram-se três curvas de comportamento de mercado distintas, aplicadas a dois cenários diferentes. Para cada tecnologia criou-se uma base de dados que apresenta os elementos de custo a utilizar na projecção de redes de acesso e efectuou-se, em simultâneo, uma análise tecno-económica para cada um dos cenários. Para se fazer a análise de viabilidade de cada tipologia foi necessário realizar um estudo que determinasse as possibilidades de sucesso económico e financeiro dessa tipologia. Foram elaborados vários casos, para diferentes cenários e diferentes tecnologias, tendo-se registado resultados interessantes em todos eles. Através deste

estudo foram efectuadas previsões dos proveitos e dos custos gerados pelo projecto e calculados diversos indicadores de viabilidade, tais como a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o Valor Actual Líquido (VAL) e o Período de Recuperação do Investimentos ou *Payback Period*. Das tipologias analisadas, a que melhor se adequa ao cenário urbano estudado é a apresentada no **Cenário 1**.

Para além dos estudos realizados neste trabalho, há aspectos que são considerados interessantes mas que, devido a limitações de tempo e de algumas dificuldades encontradas (disponibilização de detalhe de informações sobre os equipamentos e o preços associados), foram excluídos desta análise. (Estes aspectos são referidos na **Secção 7.2**).

Face ao exposto, é de concluir que apesar de todas as dificuldades inerentes a este projecto, os objectivos que nortearam a elaboração desta dissertação terão sido, na sua globalidade, atingidos com sucesso.

7.2 Trabalho Futuro

O objectivo desta dissertação teve por base criar, desenvolver e analisar métodos de avaliação técnico-económica das actuais redes de telecomunicações e os seus possíveis cenários evolutivos. Trata-se de uma problemática inserida numa área em expansão e crescimento, que como tal, muitos aspectos são passíveis de estudo, aperfeiçoamento ou modificação. Apresentam-se de seguida algumas sugestões sobre possíveis trabalhos futuros que poderiam ajudar a consolidar o trabalho efectuado.

- Concretização do **Cenário 2** com a adição de equipamentos de aumento de alcance como os *mid-span extenders*;
- Considerar o tempo de vida dos equipamentos terminais dos utilizadores (CPE) e a sua substituição, de 5 em 5 anos;
- Considerar tempo de vida das infraestruturas implementadas e a sua substituição, de 20 em 20 anos;
- Optimização da fibra escura para *upgrade* futuro;
- Adição de diferentes tipos de serviços de acordo com um estudo do perfil socioeconómico, de maneira a definir serviços concretos para zonas distintas, adoptando diferentes soluções de rede;
- Divisão do mercado pela adição de aspectos de concorrência entre operadores, onde existe uma partilha de infraestruturas;
- Apenas foi considerado o cenário evolutivo da tecnologia GPON para a XGPON. As tecnologias LR-PON e WDM-PON, uma vez que não estão normalizadas, foram excluídas desta análise técnico-económica. Seria interessante, assim que estas adquiram uma maturidade suficiente, se dimensionem, nas mesmas condições, os cenários onde estas tecnologias sejam uma possível solução para a evolução da actual GPON.

8. Referências Bibliográficas

- [1]. DUARTE, A. Manuel de Oliveira. (2009). Rede e Serviços de Telecomunicações: Conceitos, Modelos e Estruturas Fundamentais das Redes de Telecomunicações. *notas de estudo*. Universidade de Aveiro.
- [2]. DUARTE, A. Manuel de Oliveira, Coelho, S., Carrilho, D. C., Madureira, R. C., Silva, J. M., & Félix, H. S. (9 de Fevereiro de 2011). Custos Associados às Infraestruturas de Telecomunicações à Escala Local. *Relatório Interno*. Aveiro: GSBL.
- [3]. ANACOM. (2008). Estudo sobre o impacto das Redes de Próxima Geração no mercado.
- [4]. DUARTE, A. Manuel de Oliveira, & Coelho, Sara. (Janeiro de 2010). Fibra Óptica na Rede de Acesso: Tecnologias e Soluções. Universidade de Aveiro.
- [5]. *infocellar*. Obtido em 9 de Janeiro de 2011, de <http://www.infocellar.com/networks/new-tech/PON/PON-real.htm>
- [6]. *fttxtra*. Obtido em 9 de Fevereiro de 2011, de <http://www.fttxtra.com/ftth/gpon/extending-gpons-reach/>
- [7]. Ferreira da Rocha, J. (2010-2011). CAP3 - O Modelo de Camadas. *Apontamentos de Redes Ópticas*. DETI - Universidade de Aveiro.
- [8]. Bond, R. (30 de Julho de 2008). ITU PON - Past, Present, and Future. FTTH Council - Telcordia.
- [9]. DUARTE, A. Manuel de Oliveira. (2009). Análise Tecno-Económica de Redes de Telecomunicações. *notas de estudo*. Universidade de Aveiro.
- [10]. *ITU-T*. Obtido em 2011, de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/e>
- [11]. Lee, C., Sorin, W., & Kim, B. (Dezembro 2006). Fiber to the Home Using a PON Infrastructure. *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 24, NO 12*.
- [12]. Davey, R., Grossman, D., Rasztoivits-Wiech, M., Payne, D., Nettet, D., & Kelly, A. (Janeiro 2009). Long-Reach Passive Optical Networks. *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 27, N. 1*.
- [13]. Koonen, T. (20 de Abril de 2009). Optical Communication Networks (5TT00) - Access Networks. TTE-ECO group, COBRA Institute.
- [14]. *fttxtra*. Obtido em 9 de Janeiro de 2011, de <http://www.fttxtra.com/ftth/active-ethernet-overview-and-tutorial/>
- [15]. Pires, J. (14 de Abril de 2009). Seminário sobre Redes Ópticas de Nova Geração. Aveiro.
- [16]. *enotes*. Obtido em 9 de Janeiro de 2011, de http://www.enotes.com/topic/Fiber_to_the_x
- [17]. Tsubokawa, M. (2009). FTTH technologies in the NTT Network. *DigiWorld Summit 09*, 30-34.
- [18]. Eckard, D. Fiber to the Home: Next-Gen Technologies. Alcatel-Lucent & FTTH Council.
- [19]. *fttxtra*. Obtido em 5 de Fevereiro de 2011, de <http://www.fttxtra.com/ftth/10g-gpon-brief-overview/>
- [20]. *fttxtra*. Obtido em 2 de Fevereiro de 2011, de <http://www.fttxtra.com/ftth/potential-vendors-of-10g-epon-systems/>
- [21]. Sameer, A. M. (24 de Agosto de 2009). 10G EPON - Unleashing the Bandwidth Potencial. ZTE Corporation.
- [22]. Huan, S., Byoung-Whi, K., & Biswanath, M. (2008). Long-Reach Optical Access Networks: A Survey of Research Challenges, Demonstrations, and Bandwidth Assignment Mechanisms.
- [23]. Stoyanov, B. (27 de Novembro de 2009). GPON What's next. CMU-UA.
- [24]. Davey, R. Progress in PON research in PIEMAN and MUSE. BT.
- [25]. Dahlfors, S. (2009). Comparison of 10 Gbit/s PON vs WDM-PON. *Next generation optical access technologies* (pp. 9-10). ECOC'2009.

- [26]. *wordpress*. Obtido em 9 de Janeiro de 2011, de <http://surpluseq.wordpress.com/2008/07/26/despite-economics-wdm-pon-remains-in-the-mix/>
- [27]. *Conocimientos DWDM Technology*. (s.d.). Obtido em 3 de Fevereiro de 2011, de http://conocimientosdwdmtechnology.blogspot.com/2010_03_01_archive.html
- [28]. Silva, G. E. (2010). Estudo de topologias para redes WDM-PON. USP.
- [29]. *ufrj*. Obtido em 24 de Março de 2011, de http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/rafael_ribeiro/WDM-PON.html
- [30]. *CISCO Systems Inc*. 24 de Março de 2011, http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps5455/product_data_sheet0900aecd806a1c36.pdf
- [31]. *padtec*. 24 de Março de 2011, de <http://www.padtec.com.br/>
- [32]. *CORDIS*. 12 de Março de 2011, de ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/future-networks/projects-sardana-factsheet-217122-2_en.pdf
- [33]. *CORDIS*. Obtido em 23 de Março de 2011, de ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/future-networks/projects-sardana-concertation200803g_en.pdf
- [34]. *nextg networks*. 24 de Março de 2011, <http://www.nextgnetworks.net/technology/cwdm.html>
- [35]. Payne, D. (2007). The All Optical Network. BT.
- [36]. *CORDIS IST*. 4 de Fevereiro de 2011, de <http://www.ist-pieman.org/>
- [37]. *ANACOM*. 25 de Agosto de 2011, de <http://www.anacom.pt/render.jsp?contentId=1072656>
- [38]. *teleco*. 12 de Setembro de 2011, de http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo1/pagina_4.asp
- [39]. DUARTE, A. Manuel de Oliveira, & Silva, J. (2010). Análise Tecno-Económica em Telecomunicações – O caso FTTX. Aveiro, Portugal: DETI - UA.
- [40]. DUARTE, A. Manuel de Oliveira. (2011). Migração de uma rede de acesso ADSL para FTTH: Aspectos de Análise Tecno-Económica e de Simulação de Mercados. Aveiro, Portugal: DETI - UA.
- [41]. Verburgge, S. et al. (2009). Practical steps in techno-economic evaluation of network deployment planning. Department of Information Technology, UGent/IBBT.
- [42]. Bourgart, F. (2010). Optical Access Transmission: XG-PON system aspects. *FTTH Conference 2010*. Lisboa: France Telecom - Orange Labs.
- [43]. Stawiarski, M. (2010). How to build a Network for the Next 25 Years.
- [44]. BROADWAN Deliverable D21
- [45]. Sá, R. (2007). *Sistemas e Redes de Telecomunicações*. FCA - Editora de Informática, Lda.
- [46]. Hülsermann, R., & Gladisch, A. (2011). Applying a Discounted Cost Model and a Time-Dependent Demand Model to Access Network Cost Evaluation. *CTTE*. Berlin, Germany.
- [47]. Kani, J., & Suzuki, K. (2009). Standardization Trends of Next-generation 10 Gigabit-class Passive Optical Network Systems. NTT Technical Review.
- [48]. *thaicabletv*. 3 de Fevereiro de 2011, de <http://thaicabletv.blogspot.com/2010/05/gpon-tutorial.html>
- [49]. Yoshinori Ishii, & Haruo Yamashita. (2009). Optical Access Transport System - GE-PON Platform. FUJITSU Sc1.
- [50]. EPON vs. GPON - A comparative Study. (22 de November de 2004).
- [51]. T. Orphanoudakis et al. (2009). Performance evaluation of GPON vs EPON for multi-service access. *International Journal of Communication Systems*, 187-202.
- [52]. DUARTE, A. Manuel de Oliveira. (2012). PDH/SDH. *Notas de estudo*. Universidade de Aveiro
- [53]. http://www.cisco.com/en/US/docs/optical/15000r5_0/15454/sdh/reference/guide/e50etopl.html, a 21 de Janeiro de 2012.
- [54]. http://www.teachict.com/as_a2_ict_new/ocr/A2_G063/333_networks_coms/lans_wans/miniweb/pg4.htm, a 21 de Janeiro de 2012.
- [55]. Sultan, D. (2 de 2011). GPON, the Ultimate Pertinent of Next Generation Triple-Play Bandwidth Resolution. *JOURNAL OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGY*.

9. Anexo I

9.1 Modelo OSI: Camadas de rede

A *International Organization for Standardization* desenvolveu o Modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) como uma norma para a arquitectura de rede, para garantir a compatibilidade entre os diversos tipos de rede.

O Modelo está dividido em sete camadas, em que cada uma tem características específicas, que desempenham funções e fornecem serviços para as camadas superiores. Existem implementações que exigem a interacção com uma variedade de camadas quer superiores, quer inferiores. [7]



Figura 211 – Modelo OSI

Camada física (Physical Layer): Define a relação entre o dispositivo e o meio físico, ou seja, fornece à camada de dados uma conduta associada a uma largura de banda. [7]

Camada de ligação de dados (Data Link Layer): Responsável pela formação das tramas, multiplexagem e demultiplexagem dos dados enviados sobre a camada física. Esta camada pode incorporar controlo de erros e a sub-camada MAC (*Media Access Control*). Esta sub-camada MAC destina-se a coordenar o acesso de nós diferentes a uma camada física comum. [7]

Camada de rede (Network Layer): Desempenha a função de encaminhamento extremo-a-extremo, que consiste em entregar no destino correcto as mensagens enviadas por uma fonte. O protocolo dominante é o IP que disponibiliza um processo de encaminhamento de pacotes extremo-a-extremo numa rede de comutação de pacotes. [7]

Camada de transporte (Transport Layer): É responsável pela entrega correcta de mensagens sequenciais em ligações extremo-a-extremo. Controla o fluxo de informação, segmentação e controle de erros. Incorpora protocolos de transporte como o TCP e o UDP.

Camada de sessão (Session Layer): Controla (estabelece, gera e termina) as sessões (ligações) entre aplicações diferentes. Responde a pedidos da camada superior (camada de apresentação).

Camada de apresentação (Presentation Layer): Assegura a compatibilidade entre camadas de aplicação de sistemas diferentes. Encripta e comprime dados.

Camada de aplicação (Application Layer): Fornece serviços às aplicações do utilizador (por exemplo: HTTP, FTP, DNS, DHCP).

9.2 Adaptação do Modelo OSI

Dada a grande variedade de redes e protocolos existentes, deverão considerar-se pilhas protocolares diferentes, colocadas umas em cima das outras. Cada pilha incorpora diversas subcamadas que podem disponibilizar funções semelhantes às das camadas do Modelo OSI. [7]

Exemplo da figura seguinte representa o caso de IP sobre ATM sobre SDH.

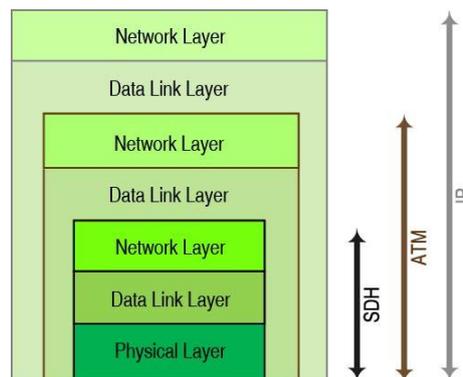


Figura 212 – IP sobre ATM sobre SDH (adaptado de [7])

A rede IP trata a camada ATM como a sua camada de ligação e a camada ATM trata a camada SDH como a sua camada de ligação.

Numa transmissão extremo-a-extremo, o *router* emissor, envia pacotes IP que são convertidos em células ATM que são transmitidos através de uma rede ATM. A rede ATM vai tratar a rede SDH como a sua camada de ligação que comuta e encaminha conexões e multiplexa os dados ATM, enviando-os para um meio físico. No *router* receptor, as células ATM são reconvertidas em pacotes IP. A rede IP trata então a rede ATM como a sua camada de ligação, que fornece a conexão extremo-a-extremo, que por sua vez incorpora camadas de rede, ligação e dados. Contudo, internamente a camada SDH incorpora também funcionalidades das camadas de rede, ligação de dados e física.

Vantagens em utilizar camadas múltiplas na rede, com funções semelhantes:

- Uma dada camada pode ser mais eficiente ao executar a função de multiplexagem a certos ritmos de transmissão.
- O mesmo se aplica às funções de protecção. A camada óptica lida melhor com um tipo de avaria e as camadas SDH ou IP resolvem outras avarias. [7]