Centro de Competências Exactas e de Engenharia

Universidade da Madeira

GPON / FTTH

FTTH _ Fiber to the Home

Cláudio Marcelo Livramento Gonçalves

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Redes

ORIENTADOR: Professor Doutor José Manuel Baptista

CO - ORIENTADOR: Engenheiro Filipe Ferreira

Prefácio

As redes de comunicação de nova geração, onde se incluem as tecnologias de fibra óptica, têm sido uma área na qual tem havido imensa investigação e desenvolvimento. As tecnologias de FTTx, em especial a FTTH, já são uma realidade em milhares de habitações em variadíssimos países.

A presente dissertação descreve um estudo da tecnologia GPON - *Gigabit Passive Optical Network* - nas instalações da *EMACOM*, Telecomunicações da Madeira, Unipessoal, Lda. Inicialmente são enumerados os requisitos necessários, quer seja por parte dos clientes como dos fornecedores. Em seguida apresenta-se o padrão do ITU-T G.984, contendo as várias camadas, tais como a camada física e a camada de convergência de transmissão, abordando também a estrutura das tramas e as principais características do referido padrão. Depois é dado a conhecer ao leitor os elementos que constituem uma rede GPON, sejam estes equipamentos passivos ou activos.

Seguidamente foi descrito o planeamento para o projecto proposto onde foram estudados os vários tipos de arquitectura utilizados pelo FTTH e definiu-se qual seria a melhor opção para a zona urbana considerada. Utilizou-se o ArcMap da ESRI Portugal - Sistemas e Informação Geográfica, S.A, criando uma base de dados e um esquema da própria rede num mapa da freguesia de São Martinho. Utilizou-se o AutoCad, onde foram elaborados vários sinópticos da rede da área escolhida, nos quais englobam a rede de alimentação, e a rede de distribuição. Toda a informação ilustrada nos sinópticos foi colocada numa folha de cálculo de Excel sendo mais rápida a sua pesquisa. Posteriormente, criou-se uma lista de material com as quantidades necessárias a utilizar para a sua implementação.

Para verificar a viabilidade do projecto em termos de potência óptica foi efectuado um cálculo do balanço de potência. Assim, é considerada a ligação mais distante para averiguar se existe potência óptica suficiente para cobrir essa ligação. Caso seja viável, então os outros pontos de distribuição ópticos com distâncias inferiores também estarão suficientemente alimentados em termos ópticos. São ainda abordados os vários tipos de perdas nas fibras ópticas, as definições de *link power* e *link loss budgets*.

Finalmente, foram efectuados testes de simulação com o programa OptiSystem simulando a ligação usada para o cálculo de potência podendo-se assim comparar valores e verificar o desempenho do sistema através do diagrama de olho obtido.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professor Doutor José Manuel Baptista e ao Engenheiro Filipe Ferreira, pela orientação, pela ajuda, pela motivação nos momentos mais difíceis, pelos conselhos permitindo seguir sempre o melhor rumo durante toda a tese e na vida social e profissional.

A todas as pessoas da EMACOM e EEM, com quem lidei directamente, pela forma como fui recebido num ambiente onde reina muita boa disposição e por toda a ajuda disponibilizada.

Aos meus amigos e colegas, que durante todo este percurso me ajudaram, me incentivaram, nos bons e maus momentos.

Em especial, a minha mãe como retribuição por todo o carinho, amor, motivação e insistência que me fez crescer e amadurecer durante este tempo tornando me numa pessoa melhor. Um muito obrigado do fundo do coração.

Índice

1. FTTH – *Fiber To The Home* 1
1.1 Evolução da *last mile* na banda larga 1
1.2 Necessidades do utilizador e do fornecedor. 2
1.3 Objectivo 3
1.4 Proposta de uma ideia 3
1.5 Tecnologias e ferramentas 3
1.6 Projectos semelhantes 4
1.7 Introdução 4
1.8 Constituição duma PON 5
1.9 Noções básicas de uma rede passiva para FTTH 6
1.9.1 Tipos de multiplexação 6
1.9.2 Topologias de repartição 7
1.9.3 Taxas de repartição da potência 8
1.10 EPON - Ethernet Passive Optical Network 8
1.11 GPON - *Gigabit Passive Optical Network* 11
1.12 Motivos para optar pelo GPON 13
1.13 Conclusão 15
2. GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) 16
2.1 Padrão G.984 do ITU-T 16
2.1.1 GPON dividido em camadas 16
2.1.2 Características de uma GPON 20
2.2 O sistema de transmissão óptico 22
2.3 Equipamentos Activos 23
2.3.1 OLT – *Optical Line Terminal* 24
2.3.2 ONT – Optical Network Termination 25
2.3.3 Solução alternativa: VDSL2 24 portas sem POTS 26
2.4 Equipamento Passivo 26
2.4.1 Tipos de cabos de fibra óptica 27
2.4.2 Caixas de junção 28

2.4.3 ODF – Distribuidores ópticos 29
2.4.4 Patch Cords 29
2.4.5 Pigtails 30
2.4.6 Repartidor óptico 30
2.5 Conclusão 31
3. Tipos de Arquitectura 32
3.1 Ponto-a-ponto vs Ponto-a-Multiponto 32
3.2 Arquitectura PON da rede aérea 33
3.3 Arquitectura PON da rede subterrânea 34
3.4 Rede no interior dos edifícios 34
3.4.1 Edifícios pequenos com menos de 12 habitações 35
3.4.2 Edifícios com menos de 100 habitações 35
3.4.3 Edifícios com mais de 100 habitações 35
3.5 VSDL – Uma alternativa para edifícios mais antigos 36
3.6 Arquitecturas PON com e sem segurança 36
3.6.1 Esquemas sem segurança 36
3.6.2 Esquemas com segurança 36
3.7 Arquitectura escolhida 38
3.8 Conclusão 38
4. Planeamento 39
4.1 Ferramentas Utilizadas 39
4.1.1 ArcGIS 39
4.1.2 O e-SIT 40
4.1.3 AutoCad 2009 LT 42
4.2 Procedimento 43
4.2.1 Área escolhida 43
4.2.2 Metodologia para a contagem de habitações e postos de transformação 43
4.2.3 Interligação dos PTs e os clientes. 45
4.2.4 Esquemas de interligação dos PTs. 47
4.2.5 Quantidades de fibra óptica e divisores de potência estimadas. 48
4.2.6 Esquema da rede GPON no *Arcview* 50
4.3 Cadastro da rede 52
4.3.1 Sinóptico da rede de alimentação 52
4.3.2 Sinóptico da rede de distribuição 55

4.3.3 Tabelas com a informação do cadastro. 58
4.3.4 Lista de material 62
4.4 Conclusão 64
5. Análise e simulação do projecto 65
5.1 Optical Power Budget 65
5.1.1 Perdas nas Fibras ópticas 65
5.1.2 Perdas nos acoplamentos entre fibras 66
5.1.3 Link Power e Link Loss Budgets 67
5.1.4 Cálculo do optical power budget 68
5.2 Simulação GPON/FTTH 74
5.2.1 Descrição da Ferramenta 74
5.2.2 Simulação 76
5.2.3 Procedimento 79
5.3 Conclusão 89
6. Conclusões 90
7. Bibliografia 91
Anexos 93

Índice de Figuras

Figura 1.1 - a) Topologia P2P em estrela. b) Topologia P2MP em árvore ou PON 2
Figura 1.2 - PON usando uma fibra com transmissão bidireccional para os serviços do *triple-play*: voz, dados e vídeo. [1] 5
Figura 1.3 - Arquitectura de uma rede passiva [2] 6
Figura 1.4 - Arquitectura de uma TDM-PON 7
Figura 1.5 - Topologias de repartição 7
Figura 1.6 - Sistema EPON [4] 9
Figura 1.7 - Configuração EPON [4] 9
Figura 1.8 - Operações do EPON para *downstream* [4] 10
Figura 1.9 - Controlo no sentido *upstream* [4] 10
Figura 1.11 - Diagrama de rede GPON com RF utilizando três comprimentos de onda. [5] 12
Figura 1.12 - *Triplexer* utilizado no GPON [5] 12
Figura 1.13 - Componentes nos cabeçalhos EPON [6] 14
Figura 2.1 - Pilha de protocolos para fluxos de dados num nó GPON [8] 16
Figura 2.2 - Encapsulamento de *downstream* das tramas do utilizador em tramas GEM [8] 18
Figura 2.3 - T-Cont baseado em ATM e GEM [9] 19
Figura 2.4 - Trama GPON *Downstream* 19
Figura 2.5 - Trama GPON *Upstream*.....20
Figura 2.6 - Processo DBA [10] 21
Figura 2.7 - Fibra monomodo e multimodo 22
Figura 2.8 - Solução GPON 7342 ISAM da Alcatel-Lucent [11] 23
Figura 2.9 - *Optical Line Terminal* [11] 24
Figura 2.10 -Carta OLT GLT4-A [11] 25
Figura 2.11 – ONT [11] 25
Figura 2.12 - VDSL2 de 24 portas sem POTS [11] 26
Figura 2.13 - Esquema de um cabo CABELTE de 48 FO (4x12) [13] 27
Figura 2.14 - Desenho esquemático de um cabo com 72 FO (6 x12) [14] 28
Figura 2.15 - Constituição da caixa de junção [15] 29
Figura 2.16- ODF DOBEX-2U [15] 29
Figura 2.17 - Patch Cord SM e MM da Optroncomm [16] 30
Figura 2.18 - *Pigtail* SC [16] 30
Figura 2.19 - Repartidor óptico PLC de 1:64 [18] 31
Figura 3.1- Ponto-a-Multiponto [19] 32
Figura 3.2 – Exemplo típico de arquitectura distribuída [20] 33
Figura 3.3 - Arquitectura aérea [21] 33
Figura 3.4 - Exemplo de uma rede subterrânea [21] 34
Figura 3.5 - Ligação até 12 habitações [21] 35
Figura 3.6 - Arquitecturas PON sem segurança: a) em árvore; b) em barramento. [22] 36
Figura 3.7 - Exemplo com fibra dupla [22] 37

Figura 3.8 - Exemplo com fibra dupla e duas cartas OLT [22] 37
Figura 3.9 - Arquitectura em anel [22] 37
Figura 3.10 - Arquitectura PON *full duplex* [22] 38
Figura 4.1- Interface da aplicação e-SIT 40
Figura 4.2 - Barra de ferramentas do e-SIT 41
Figura 4.3 - Pesquisa de uma rua no e-SIT 41
Figura 4.4 - Resultado da pesquisa da R. Dr Pita 42
Figura 4.5 - Área seleccionada para o projecto 43
Figura 4.6 – Tabela com a quantidade dos pontos de energia.....44
Figura 4.7 - Esboço no mapa A0 45
Figura 4.8 - Interligação da fibra entre Subestação do Amparo até os vários PTs 46
Figura 4.9 - Selecção dos pontos de energia 47
Figura 4.10 – Interligação dos repartidores ópticos de potência até o utilizador.....48
Figura 4.11- Esquema unifilar dos vários PT e da fibra 49
Figura 4.12 – Formula em Visual Basic para o cálculo da distância 50
Figura 4.13 - Esquema completo da rede GPON no ArcView.....51
Figura 4.14 - Tabela de atributos da camada PEE.....51
Figura 4.15 - Zona escolhida para a construção do sinóptico 52
Figura 4.16 - Referência do cabo de alimentação 53
Figura 4.17 - Representação do PT no sinóptico. 53
Figura 4.18 - Sinóptico da rede de alimentação 54
Figura 4.19 - Referência do cabo de distribuição. 55
Figura 4.20 - Representação do PDO470/8 56
Figura 4.21 - Sinóptico da rede de distribuição 57
Figura 5.1 - Folha de cálculo do *optical power budget [26].* 70
Figura 5.2 - Esquema base do cálculo do *Optical Power Budget*.....71
Figura 5.3 - Esquema de uma ligação GPON 73
Figura 5.4 - Interface gráfica do OptiSystem 8.0 75
Figura 5.5 - Definições da simulação.....76
Figura 5.6 - Calcular o projecto.....77
Figura 5.7 - Janela do cálculo do projecto. 77
Figura 5.8 - Esquema completo da simulação de uma ligação GPON/FTTH 78
Figura 5.9 - Esquema básico de uma ligação entre OLT e ONU [28].....79
Figura 5.10 - Propriedades dos Transmissores WDM para os 1490nm e 1550nm.....80
Figura 5.11 - a) Bloco WDM Add. b) Propriedades do WDM Add. 80
Figura 5.12 - Potência óptica na saída do bloco WDM Add. 81
Figura 5.13 - a) Bloco Circulador óptico. b) Propriedades do circulador. 81
Figura 5.14 - Medidor de potência a saída do circulador.....81
Figura 5.15 - Propriedades do cabo de 72 FO 82
Figura 5.16 - Rede alimentação GPON. 83
Figura 5.17 - Medidor de potência a saída do repartidor óptico 83
Figura 5.18 - a) Bloco Repartidor óptico. b) Propriedades do Repartidor óptico. 83
Figura 5.19 - Medidor de potência a saída do repartidor óptico 84
Figura 5.20 - Rede Distribuição.....85
Figura 5.21 - Bloco ONU 85

Figura 5.22- Subsistema de um receptor óptico 86
Figura 5.23 - Propriedades dos blocos fotodetector APD e filtro de Bessel.....86
Figura 5.24- Analisador BER no ONU 1 87
Figura 5.25 - Analisador de BER no ONU 2.....88
Figura 5.26 - Diagrama de olho e tabela retirados do T-REC-G.984.2 88
Figura 5.27 - Medidor de potência antes do ONU1.....89

Índice de Tabelas

Tabela 1-1 - Débitos utilizados pelo GPON 13
Tabela 1-2 – Resumo das características do GPON e EPON [7] 15
Tabela 2-1 – Características ópticas da solução 7342 ISAM 24
Tabela 2-2 - Tabela com identificação das cores das fibras ópticas 28
Tabela 4-1 - Cadastro da rede de alimentação 58
Tabela 4-2 - Cadastro da rede de distribuição PT470 59
Tabela 4-3 - Distância e quantidade de fibras ópticas. 60
Tabela 4-4 - Comprimento total de cada tipo de cabo. 60
Tabela 4-5 - Cadastro da rede de distribuição 61
Tabela 4-6 - Lista de Material Passivo FTTH 63
Tabela 5-1 - Atenuações de materiais diferentes e espaçamentos entre repetidores [24] 66
Tabela 5-2 - Vários tipos de perdas por acoplamento das fibras. [25] 67
Tabela 5-3 - Valores típicos utilizados no *optical power budget* [26] 69
Tabela 5-4- Tabela com os valores das atenuações máximas dos elementos 71
Tabela 5-5 - Quantidades utilizadas para o cálculo do balanço de potência 71

Abreviaturas

APD – *Avalanche Photodiode*
ADSL - *Asymmetric Digital Subscriber Line*
ADSS - *All-Dielectric Self-Supporting Aerial*
APC – *Angled Physical Contact*
ATM – *Asynchronous Transfer Mode*
AES – *Advanced Encryption Standard*
BPON – *Broadband Passive Optical Network*
CAPEX - *Capital Expenditures*
CWDM – *Coarse Wavelength Division Multiplexing*
CO – *Central Office*
DBA – *Dynamic Bandwidth Allocation*
DBRu – *Dynamic Bandwidth Report upstream*
DFB – *Distributed Feed-Back*
DSL – *Digital Subscriber Line*
DWDM – *Dense Wavelength Division Multiplexing*
EPON – *Ethernet Passive Optical Network*
ESRI - *Environmental Systems Research Institute*
EFM – *Ethernet in the First Mile*
FBT - *Fused Biconic Technology*
FC – *Ferrule Connector*
FDDI - *Fiber Distributed Data Interface*
FEC - *Forward Error Correction*
FRP - *Fiber-Reinforced Polymer*
FTTH – *Fiber To The Home*
G-EPON – *Gigabit Ethernet Passive Optical Network*
GEM – *GPON Encapsulation Method*
GPON – *Gigabit Passive Optical Network*
GTC – *GPON Transmission Convergence*
HDTV – *High-Definition Television*
IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
ITU – *International Telecommunications Unit*
IP – Iluminação Pública
IP – *Internet Protocol*
LC – *Lucent Connector*
MLM – *Multilongitudinal Mode*
MMF – *Multimode Fiber*
NID – *Network Interface Device*
OAM – *Operations And Maintenance*
ODF – *Optical-fiber Distribution Frame*
ODN – *Optical Distribution Network*
OLT – *Optical Line Terminal*
OMCI - *ONT Management and Control Interface*
ONT – *Optical Network Terminal*
ONU – *Optical Network Unit*
OPEX - *Operational Expenditure*
P2P – *Point To Point*

P2MP – *Point To Multi-Point*
PCBd - *Physical Level Control Block downstream*
PDO – Ponto de Distribuição Óptico
PE – *Polyethylene*
PLC - *Planar Lightwave Circuit*
PLOAM – *Physical Layer Operations and Maintenance*
PLOAMu - *Physical Layer Operations and Maintenance upstream*
PLOu – *Physical Layer Overhead upstream*
PLSu – *Physical Leveling Sequence upstream*
PMD – *Physical Medium Dependent*
PON – *Passive Optical Network*
POTS – *Plain Old Telephone Service*
PSTN - *Public Switched Telephone Network*
PS – *Power Splitter*
PT – Posto de Transformação
RAM – Região Autónoma da Madeira
SLM – *Single Longitudinal Mode*
SMA - *SubMiniature version A*
SMF – *Single Mode Fiber*
SC - *Standard Connector*
ST – *Straight Tip (Connector)/ Square Top*
SONET - *Synchronous optical networking*
SPC - *Super Physical Contact*
T-CONT – *Transmission Containers*
TC – *Transmission Convergence*
TDM – *Time Division Multiplexing*
UPC – *Ultra Physical Contact*
VP – *Virtual Path*
VCI – *Virtual Circuit Identifier*
VDSL - *Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line*

1. FTTH – *Fiber To The Home*

No presente capítulo é feita uma introdução ao FTTH. Inicialmente foi abordado o tema da evolução da *last mile*, das necessidades dos utilizadores e fornecedores exigindo sempre tecnologias mais avançadas. Depois é indicado os objectivos, as tecnologias e as ferramentas utilizadas neste projecto, sendo também referido outros projectos semelhantes. Posteriormente é anunciado alguma informação sobre as redes passivas para o FTTH, tendo-se também abordado duas principais tecnologias FTTH, o GPON e o EPON, dentro das quais se escolheu uma das tecnologias e os motivos pela sua escolha.

1.1 Evolução da *last mile* na banda larga

Ao longo dos anos, o meio de transmissão utilizado na designada *last mile* para as comunicações fixas, seja nos serviços de voz ou de dados tem sido o cobre (através de cabo coaxial ou cabo de par entrançado). No entanto, com vários estudos e demonstrações em campo, foi previsto que esta última componente duma infra-estrutura de telecomunicações, seria alterada para fibra óptica também dando lugar à tecnologia FTTx, onde se inclui o *Fiber to the Home* [1].

A pressão colocada pela evolução das tecnologias (software, hardware), pelos provedores de serviços de Internet, pelos próprios utilizadores que exigem cada vez mais capacidade, em termos de largura de banda fazem com que as soluções de cobre implementadas mais avançadas começam a chegar ao seu limite. Neste momento existem arquitecturas padronizadas de forma a se obterem sistemas que podem ser implementados com maior facilidade.

O acesso é considerado como a porção que fica situada entre o CO (central Office), usualmente colocado no fornecedor de serviços, e na residência do cliente, que é a parte da infra-estrutura que não evoluiu completamente para fibra óptica e onde permanece o desafio. É um facto, que com o uso do cobre e da radiofrequência, existem serviços que não podem ser prestados devido a limitação da largura de banda. Mas, existem outros factores que também podem incapacitar a prestação dos serviços, tais como, a atenuação do sinal, custos primários e os custos dos serviços a longo prazo. Uma outra vantagem de combinar todos os serviços de comunicação num só meio, é que se obtém apenas um processo de gestão resultando numa única factura por mês. O esquema mais comum utilizado para interligar o *user premises* (conjunto de casas, empresas e blocos de apartamentos) através de fibra óptica ao CO das operadoras de telecomunicações que fornecem os serviços é demonstrado na Figura 1.1. Numa ligação em estrela, existe um porto no CO para cada utilizador enquanto numa rede óptica passiva (PON), existe uma para cada N utilizadores, sendo o valor de N entre 8 a 64. As designações são abreviadas para P2P (ponto-a-ponto) e P2MP (ponto-a-multiponto) [1].

O elemento óptico-electrónico no CO colocado no início da ligação é referido, universalmente, como *optical line terminal* (OLT). O elemento colocado no utilizador é o *optical network unit* (ONU), embora recentemente, tenha sido atribuído vários nomes ao

mesmo. Os nomes poderão ser *network interface devices* (NID), *optical network terminal* (ONT).

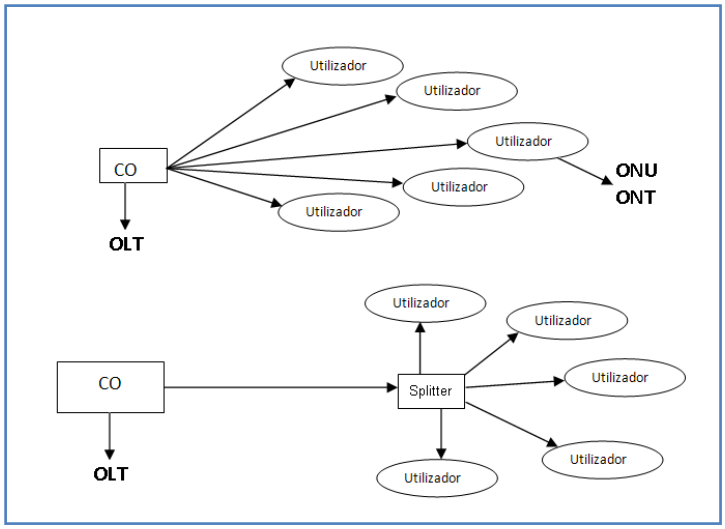


Figura 1.1 - a) Topologia P2P em estrela. b) Topologia P2MP em árvore ou PON

1.2 Necessidades do utilizador e do fornecedor.

A necessidade de mais largura de banda pode ser dividida em duas classes:

- Transferência de ficheiros de tamanho médio que requerem baixo atraso, por exemplo difusão de televisão, serviços interactivos e vídeo-conferência, monitorização de vídeos de segurança, jogos interactivos, telemedicina e telecomutação.

- Transferência de ficheiros cujo atraso não seja tão importante, no entanto, a duração da transferência longa torna-se muito incomodativa, por exemplo: *video-on-demand*, vídeo e anexos de e-mail (imagens), ficheiros de cópias de segurança, partilha de programas e downloads.

Um dos principais impulsionadores para o FTTH é a HDTV. Enquanto, a televisão convencional requer 20MB/s sem compressão e 4 MB/s por canal quando é comprimido com MPEG-2, a HDTV necessita de 120 MB/s sem compressão e cerca de 15 a 19 MB/s quando comprimido com MPEG-2 [1].

Devido à evolução do *last mile* para a fibra, tornou-se numa oportunidade de negócio para diferentes sectores na economia global. Em termos de tecnologia, de aplicações, as entidades reguladoras continuam a conduzir a evolução para o FTTH, sendo os aspectos enumerados em seguida, os mais importantes:

- Arquitecturas do sistema
- Fabricantes da tecnologia base: fibra, lasers de baixo custo
- Fabricantes de caixas: COs, OLT's, ONU's para os utilizadores, "set-top boxes";
- Desenvolvimento das tecnologias de instalação: Abertura de valas, fusões, equipamentos de teste;
- Fabricantes de sistemas;

- Operadoras de telecomunicações que detém o monopólio mas que têm que alugar as suas instalações (valas, condutas) devido a nova legislação.

1.3 Objectivo

Este projecto que foi efectuado nas infra-estruturas da EMACOM, tem como objectivos principais definir a arquitectura de uma rede de fibra óptica GPON/FTTH e especificar os elementos passivos e activos utilizados na rede com as suas características e funções. Uma vez que não foi possível fazer os testes em campo, devido à indisponibilidade do fornecimento de equipamentos, foi considerado que fosse feito um cadastro detalhado da rede de alimentação e da rede de distribuição de uma área escolhida. Além disso, este projecto teve também como objectivo analisar o desempenho do sistema para considerar a sua viabilidade em termos ópticos. Assim, foi analisada uma ligação, cuja distância fosse a de maior valor, utilizando a ferramenta OptiSystem 8.0 para estudar o desempenho do sistema.

1.4 Proposta de uma ideia

Dado o que nos foi pedido, e visto que neste momento na Região Autónoma da Madeira o tema GPON é uma tecnologia que está em estudo tanto por parte da EMACOM como por parte da PT, tendo esta última avançado para a sua implementação no terreno, pretendeu-se elaborar um estudo escolhendo uma freguesia do Funchal como público-alvo, de forma ter a noção da viabilidade de um projecto desta envergadura na RAM. Numa primeira fase estudou-se o padrão GPON G.984 do ITU e o FTTH para conhecer as suas características de forma a iniciar o estudo.

Com este projecto será possível obter um contributo social e económico para a evolução da tecnologia actual na Região. Com o objectivo de oferecer uma qualidade de vida melhor aos habitantes em termos de serviços disponíveis. Um serviço actual é o MEO Fibra, através da PT e o ZON Fibra da ZON com os seus pacotes de serviços de televisão, vídeo em demanda, telefone fixo e banda larga.

1.5 Tecnologias e ferramentas

A tecnologia estudada na dissertação foi a GPON/FTTH (*Fiber to the Home)*. As ferramentas de pesquisa utilizadas foram: a Internet; livros; artigos de revistas; documentação cedida pelas empresas fornecedoras de sistemas GPON/FTTH. As ferramentas de software mais importantes para a execução da tese de mestrado foram:

- O ArcMap 8.3, em concreto um módulo do ArcView pertencente ao ArcGIS que é um software de informação geográfica.
- O AutoCad LT 2009 onde foi efectuado o cadastro da rede.

- O Optisystem 8.0 numa versão de experimentação, da Optiwave Systems Inc. para efectuar a simulação de uma ligação GPON para comparar os valores obtidos teoricamente.

1.6 Projectos semelhantes

Por todo mundo, e mesmo a nível europeu existem vários projectos-piloto e outros já efectuados que já passaram essa fase e foram implementados por vários fabricantes cada um com a sua solução e a sua tecnologia a nível de equipamentos passivos. Os mais conhecidos e com quem se teve contacto foram os projectos da Ericsson, Nokia Siemens e Alcatel-Lucent. No entanto, outros fabricantes encontram-se em espera para ver qual será a maior aposta em termos de mercado, pois neste momento existem duas tecnologias concorrentes: a EPON e a GPON.

Exemplos:

- Por parte da Nokia Siemens foi efectuada no Kuwait, uma substituição da rede de acesso de cobre pela fibra óptica em que cada fibra com GPON tem uma capacidade de até cerca de 2,5 Gbits/s
- A Alcatel-Lucent tem projectos por todo o mundo para fornecer a solução GPON/FTTH para fornecer IPTV e HDTVs.
- A Cisco é uma das empresas que neste momento aposta na EPON, por exemplo, nas cidades suecas de Lunds e Alvesta. Alvesta beneficia de uma as redes de banda larga na Europa baseado na rede Cisco IP de Nova Geração (IP NGN). A rede de fibra óptica interliga 12,000 habitações usando a tecnologia Cisco E-FTTH – Ethernet Fiber-To-The-Home e oferece acessos descendentes e ascendentes de 1 Gbps.

1.7 Introdução

Actualmente, as implementações das redes passivas ópticas FTTH são em estrela (P2P) ou em árvore com repartidores de potência (P2MP), sendo baseadas em *Gigabit Ethernet* ou em A*synchronous Transfer Mode* (ATM). Considerando como base os padrões definidos pelo *Institute of Eletrical and Electronics Engineers* (IEEE) para sistemas baseados em Ethernet e o *International Telecomunications Union* (ITU) para os sistemas baseados em ATM. Numa PON, existem apenas divisores passivos entre as instalações centrais e as redondezas dos clientes, em algum caso pontual que seja necessária amplificação, esta também é toda óptica, existindo apenas elementos electrónicos nos extremos. As redes passivas são redes em fibra óptica numa configuração em árvore, enviando e recebendo os sinais ópticos, numa gama de comprimentos de onda diferentes, com grande espaçamento espectral entre eles da ordem dos 20 nm para *downstream* e 100 nm *upstream* [1].

1.8 Constituição duma PON

A Figura 1.2 mostra detalhadamente uma PON típica que está preparada para fornecer os serviços do *triple-play* a um conjunto de utilizadores:

- Várias ligações telefone de par entrançado RJ-11 (POTS – *Plain Old Telephone Service*) servido no CO.
- 10, 100 ou mesmo 1000BaseT Ethernet para serviços de dados de conectores RJ-45 em cabo de Categoria 5, servido pelo CO por um ou mais routers IP com IP sobre as interfaces Ethernet.
- Distribuição de televisão quer seja analógica ou digital, derivada de satélites ou de instalações de microondas.

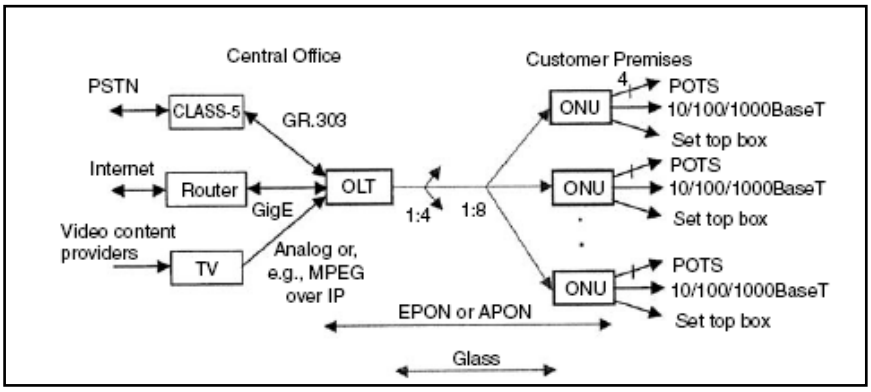


Figura 1.2 - PON usando uma fibra com transmissão bidireccional para os serviços do *triple-play*: voz, dados e vídeo. [1]

No CO, um OLT liga uma estrutura em árvore de uma ou duas fibras, que é conectada às várias unidades ópticas de rede (ONU), através de divisores. A transmissão bidireccional utilizando uma fibra óptica é feita através da junção dos comprimentos de onda *downstream* e *upstream.* A transmissão por meio de duas fibras ópticas é feita utilizando uma fibra óptica para cada sentido.

Neste momento, existem vários tipos de redes passivas ópticas. As redes baseadas em ATM são designadas por APON, que deram lugar às *Broadband Passive Optical Network* (BPON), que são utilizadas pelos serviços de banda larga dos operadores de televisão por cabo transportando apenas células, e a *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) que transporta tanto células como pacotes ou mesmo ambos, padronizadas pelo ITU-T. Nas redes passivas ópticas baseadas na tecnologia Ethernet, designadas por EPON, utilizam os protocolos Ethernet para acesso. A evolução da EPON para a ordem dos gigabits é conhecida por G-EPON o que cria alguns conflitos em termos de designação com a GPON.

Algo que se acordou relativamente as várias tecnologias do IEEE e do ITU-T para BPONs, GPONs, e EPONs é que os dados binários, voz ou vídeo no sentido *downstream*, usam o comprimento de onda de 1490 nm e no sentido *upstream*, iriam utilizar o comprimento de onda de 1310 nm. O vídeo analógico utiliza o comprimento de onda de 1550 nm no sentido *downstream*.

1.9 Noções básicas de uma rede passiva para FTTH

A rede de acesso (Figura 1.3) contém um OLT, que fica no CO ou *HeadEnd* onde é gerida através de um interface gráfica de gestão nos servidores situados na rede de *uplink*, a fibra óptica é o meio de transporte da informação, sendo que a mais utilizada é a monomodo. O ONU/ONT é o elemento óptico que fica situado no utilizador final onde é feita divisão dos serviços, pelo próprio dispositivo, pretendidos pelo cliente nomeadamente serviços de dados, de voz e interactivos.

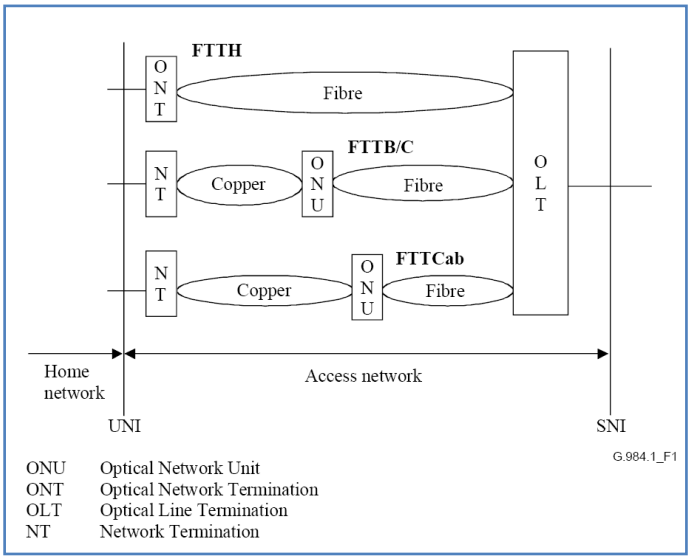


Figura 1.3 - Arquitectura de uma rede passiva [2]

Entre o OLT e os ONUs, visto que se pretende cobrir uma determinada área será necessário utilizar um repartidor de sinal óptico (um *power-splitter*) que poderá abrigar até 64 utilizadores por repartidor.

No cenário FTTH foram considerados as seguintes categorias de serviço:

- Serviços de banda larga assimétrica que contém: Serviços digitais de difusão, *video-on-demand*, download de ficheiros;
- Serviços de banda larga simétrica: Conteúdos de difusão, E-mail, Trocas de ficheiros, E-learning, Telemedicina, Jogos online;
- POTS e ISDN. A rede de acesso tem que ter a capacidade para fornecer de maneira flexível, banda estreita para serviços de telefones.

1.9.1 Tipos de multiplexação

Neste momento, existem dois tipos estruturas de arquitecturas de redes passivas utilizando dois métodos de multiplexação diferentes: a TDM-PON, que utiliza a multiplexação por divisão de tempo, no qual será baseado o estudo da presente arquitectura e a WDM-PON em que é feita a multiplexação por comprimento de onda. Na Figura 1.4, observa-se uma arquitectura de uma rede passiva óptica com multiplexação por divisão de tempo.

Uma TDM-PON utiliza um repartidor de potência do sinal passivo como terminal remoto. O sinal enviado pelo OLT é difundido por todos os ONUs através do repartidor de potência. O mesmo é multiplexado no domínio do tempo, obtendo-se assim um intervalo de tempo para cada ONU. Cada ONU reconhece a informação que lhe é enviada através de rótulos de endereços embutidos no sinal. As PONs comerciais nomeadamente, a BPON, GPON e EPON surgem nestas categorias.

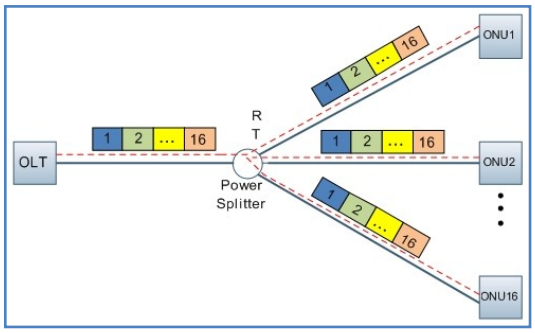


Figura 1.4 - Arquitectura de uma TDM-PON

Numa WDM-PON é utilizado o mesmo princípio, embora neste caso sejam utilizados vários comprimentos de onda. Um OLT utiliza um comprimento de onda para cada ONU A WDM-PON permite mais segurança e melhor escalabilidade. No entanto, os equipamentos WDM são neste momento mais dispendiosos, o que torna esta tecnologia economicamente menos atractiva [3].

1.9.2 Topologias de repartição

As razões para a repartição de potência são: a partilha do custo e a largura de banda fornecida pelo OLT entre os vários ONUs, reduzindo a quantidade de fibra óptica no campo. Além da simples estratégia de repartição de um andar (topologia em estrela), os repartidores ópticos também poderão ser colocados em cascata, e em casos extremos poderá ser utilizada uma topologia em barramento, que é formada pela fibra e pelos ONUs, onde são ligados em vários locais diferentes durante o trajecto projectado através de repartidores 1:2, como se pode visualizar na Figura 1.5.

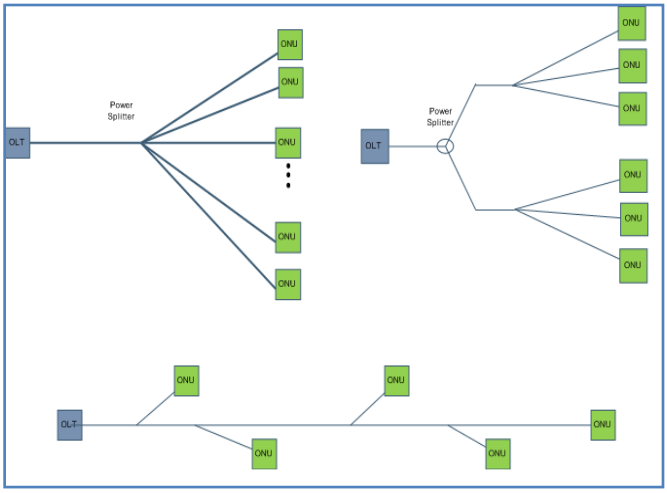


Figura 1.5 - Topologias de repartição

Actualmente, a arquitectura de divisão de potência tornou-se para cada caso, uma situação pontual, pois depende da localização geográfica dos utilizadores, da própria rede e do custo inerente de gerir vários repartidores simultaneamente. No entanto, é mais fácil gerir um único repartidor óptico para distribuição tornando a divisão mais fácil e também por outro lado permite minimizar as perdas nos conectores e da repartição.

Para o caso de uma topologia em barramento, o ONU mais afastado do OLT terá perdas mais elevadas, caso os repartidores tenham a mesma taxa de divisão.

1.9.3 Taxas de repartição da potência

A maioria dos sistemas comerciais de PONs, têm uma taxa de repartição de potência desde 1:2 até 1:32, embora já se considere 1:64, sendo as mais habituais 1:16 e 1:32. Uma taxa de repartição maior implica que o custo PON OLT seja de certa forma, melhor aproveitado entre os ONUs. No entanto, a mesma, afecta directamente nas perdas de transmissão, reflectindo-se no balanço de potência. Para garantir um equilíbrio entre estes dois factores, considera-se que a perda ideal para um repartidor 1:N é 10log (N) dB. No caso de um repartidor óptico de 1:64, teríamos um valor igual a 10log (64) =18,06 dB. Assim, e neste último caso, para suportar uma taxa elevada de repartição, são necessários transmissores de elevada potência, receptores de elevada sensibilidade e componentes ópticos de baixas perdas.

Estudos indicam que economicamente, a melhor solução é na ordem da taxa de repartição de 1:40. Uma taxa maior implica que a largura de banda do OLT é partilhada por mais ONUs e isto significa que teremos menos largura de banda por utilizador [3].

1.10 EPON - Ethernet Passive Optical Network

A infra-estrutura, Ethernet *In the First Mile* PON (EFMP) utiliza a PON como base para construir uma topologia em fibra P2MP que suporta velocidades de 1 Gbps até uma distância de 20 km. Esta topologia tem a vantagem de utilizar uma menor quantidade de fibra, tal como é requisitado para uma topologia P2P.

O EPON é baseado no padrão Ethernet ao contrário das outras tecnologias PON, que tem como base o padrão ATM. Em termos de escalabilidade económica do Ethernet, permite fornecer uma simples e fácil gestão da conectividade baseada no Ehternet, nos equipamentos IP em ambos os extremos da PON. Tal como acontece na rede Gigabit Ethernet, é aconselhado para transportar tráfego por pacotes e tráfego de vídeo e voz.

A especificação 802.3ah EPON do IEEE, define *Multi-Point Control Protocol* (MPCP), *Point-to-Point Emulation* (P2PE), e dois comprimentos de onda 1490/1310 nm na camada física para uma distância de 10 e 20 km, sendo os requisitos necessários para construir um sistema EPON (Figura 1.6). Os sistemas típicos baseados no EPON poderão incluir características extra, tal como indica o padrão IEEE 802.3ah, incluindo segurança, autenticação e alocação de largura de banda dinâmica.

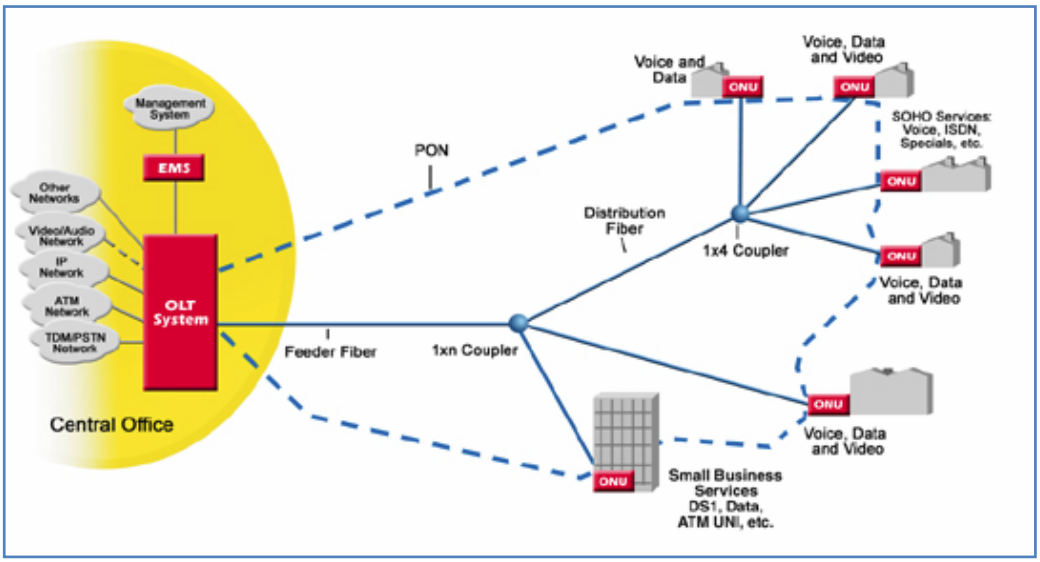


Figura 1.6 - Sistema EPON [4]

A tecnologia EPON é habitualmente implementada usando uma topologia em árvore e o uso de repartidores ópticos de 1:N. A taxa máxima de repartição disponível para esta tecnologia é de 1:32. Uma rede EPON, tal como se pode visualizar na Figura 1.6, inclui um OLT e o ONU. O OLT fica situado no CO, onde habitualmente existe um *switch* Ethernet ou uma outra plataforma de conversão de multimédia. O ONU fica situado no edifício ou na própria residência, e um ONU EPON costuma ter uma interface WAN 802.3ah onde se recebe o sinal e uma interface 802.3 para o utilizador.

O sistema EPON é configurado num modo *full-duplex* (sem CSMA/CD) numa única fibra numa topologia P2MP. Os utilizadores, neste caso, os ONUs, apenas conseguem ver o tráfego que vem do OLT; cada ONU não tem acesso ao tráfego transmitido por outros ONUs, e as comunicações ponto a ponto são feitas através do CO, ou seja do OLT. A Figura 1.7 mostra que o CO permite apenas que um utilizador de cada vez transmita a informação utilizando o protocolo *Time Division Multiplex Access* (TDMA). Os comprimentos de onda utilizados para *downstream* e *upstream* são de, respectivamente, 1490 e 1310 nm [4].

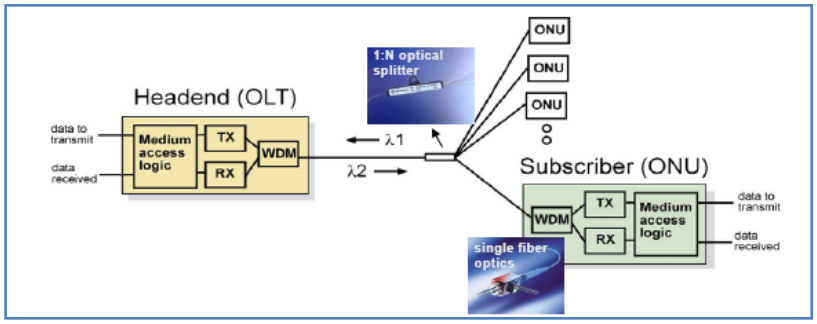


Figura 1.7 - Configuração EPON [4]

Para controlar uma rede de fibra óptica P2MP, a EPON utiliza o *Multi-Point Control Protocol* (MPCP), que faz a atribuição da largura de banda, a procura automática de dispositivos e o *ranging*. É implementada na camada MAC, introduzindo um novo tipo de mensagens de controlo de 64 bytes. Essas mensagens são designadas como *GATE* e *REPORT* e

que têm como propósito atribuir e requisitar largura de banda e a mensagem *REGISTER* para controlar o processo de descoberta automática.

O *ranging* é utilizado para reduzir o espaçamento das transmissões, relatórios de largura de banda, satisfazendo os requisitos dos ONUs para o DBA. Os parâmetros ópticos são negociados para optimizar o desempenho do sistema. Nas operações do ONU existem processos de descoberta automática que incluem o *ranging* e a atribuição dos *Logical Links* ID e da largura de banda.

O OLT gera mensagens com etiquetas de tempo (*timestamps*) para serem utilizadas como referências globais de tempo. Permite gerar janelas para a descoberta de outros ONUs, e controla o processo de registo. O OLT também atribui largura de banda e executa operações de *ranging*.

No sentido *downstream*, Figura 1.8, o EPON lida com a difusão física de tramas do tipo 802.3. As tramas de difusão são extraídas pelo *Logical Link* ID. As mensagens de 64 bytes *GATE* são enviadas *downstream*, para atribuir largura de banda *upstream*.

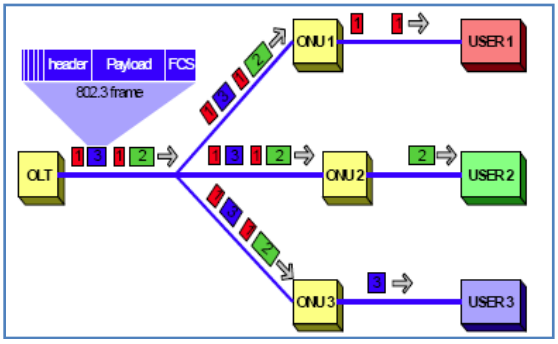


Figura 1.8 - Operações do EPON para *downstream* [4]

Para o controlo *upstream,* o MPCP utiliza intervalos de tempo, contendo múltiplas tramas 802.3, onde cada ONU envia uma mensagem *REPORT* de 64 bytes, com o estado da informação do ONU para o OLT, representado na Figura 1.9. Não existem colisões e também não há fragmentação de pacotes.

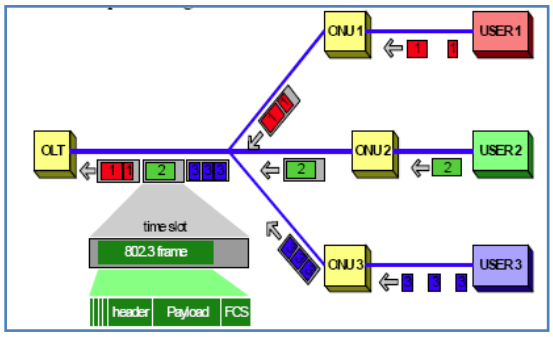


Figura 1.9 - Controlo no sentido *upstream* [4]

Em resumo, o EPON é propício para aplicações FTTx, incluindo serviços de voz, dados e vídeo. É um tipo de rede de acesso por fibra óptica baseada em Ethernet, utilizando uma infra-

estrutura passiva óptica. A rede EPON é uma rede partilhada com uma maior largura de banda (1 Gbps) [4].

1.11 GPON - *Gigabit Passive Optical Network*

O GPON é uma tecnologia de acesso de grande largura de banda partilhada, que é utilizada em todo o mundo, para FTTH sendo considerada como a sucessora do BPON. Esta tecnologia serviços aos clientes como complemento dos seus serviços de redes HFC.

Foi padronizada pelo ITU-T, nas séries do G.984.(1,2,3,4,5), mas a sua vasta interoperabilidade entre os diferentes equipamentos dos fabricantes não foi ainda materializada. A transmissão de dados básica é atingida com grande facilidade. No entanto, gerir uma solução GPON com equipamentos de diferentes fabricantes poderá tornar-se um desafio [5].

Numa rede de acesso GPON, existem pelo menos três componentes principais. O OLT GPON que é o concentrador da rede, instalado no CO; os repartidores ópticos, que permitem que uma única fibra desde o CO seja partilhada por vários utilizadores; e o ONT que apenas poderá ser utilizado para uma única habitação, convertendo os sinais ópticos em sinais eléctricos que podem ser utilizados dentro de casa. Note-se que, um ONU é utilizado apenas para uma habitação, no entanto, pode-se referir ou utilizar um ONU como se referisse ao ONT, tendo como objectivo abranger vários utilizadores, sendo comum a sua instalação para cobrir um número de apartamentos no mesmo prédio.

O padrão G.984 permite um alcance máximo de 60 km, e alcance preferencial de 20 km, podendo uma única rede GPON suportar até 128 utilizadores. O alcance máximo de 60 km poderá ser atingido com a nova especificação do padrão, o G984.6, que fornece um *Mid-Span Extender*. No entanto, os sistemas GPON fornecem tipicamente alcances de 0-20km, devido ao custo dos elementos ópticos e devido a própria atenuação.

A maioria das portadoras utiliza, um máximo de 32 utilizadores em apenas um segmento GPON. A classe óptica B+ do G.984. fornece uma divisão de 32 com um alcance de 20km. Com a nova classe óptica C+, já se consegue atingir uma taxa de divisão de 64 com o mesmo alcance. Os comprimentos de onda utilizados são 1490 nm *downstream* e 1310 nm *upstream*. O *RF Overlay,* o transporte do sinal de vídeo analógico que é acoplado à fibra através de um divisor DWDM, é transportado com o comprimento de onda de 1550 nm. Com o uso do algoritmo *Foward Error Correction* (FEC), consegue-se *transceivers* ópticos mais económicos, embora esta vantagem nos elementos ópticos seja contrariada pelo custo extra da complexidade dos cabeçalhos para suporte do FEC [5].

A implementação de uma rede GPON, com a utilização de dois comprimentos de onda é provavelmente a implementação mais comum. O comprimento de onda *downstream* é o 1490 nm, que transmite informação a uma taxa de transmissão de 2,5 Gbps. O comprimento de onda utilizado para *upstream* é o 1310 nm e transmite a informação a 1,25 Gbps.

Para um sistema GPON com três comprimentos de onda diferentes, é muito semelhante ao sistema anterior apenas com a condicionante, que é adicionado à mesma fibra óptica um

terceiro comprimento de onda de vídeo *downstream*. O sistema encontra-se representado na Figura 1.11.

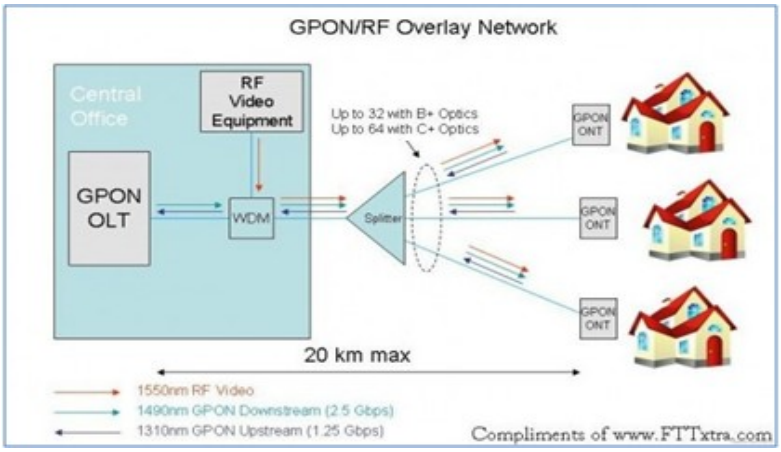


Figura 1.10 - Diagrama de rede GPON com RF utilizando três comprimentos de onda [5]

É indicado apenas até 32 ONTs GPON por apenas uma porta OLT GPON. Isto devido ao sinal vídeo por *RF Overlay* e não pelo sinal GPON. Para um alcance de 20 km e 32 utilizadores em apenas uma rede, a quantidade máxima de luz que a fibra irá aceitar é cerca de 20 dBm, que terá de ser introduzida pelo equipamento de vídeo RF e qualquer potência adicional será desperdiçada. Com a classe C+, é permitido 64 utilizadores e o alcance de 20 km para o sinal GPON, mas isto mantém o problema do sinal de vídeo RF, pois, na configuração anterior, já se encontra no seu limite e uma maneira de contornar é melhorando a sensibilidade do receptor [5].

Para a configuração em que se utiliza apenas dois comprimentos de onda, tem-se um *diplexer*, enquanto para uma configuração em que utiliza três comprimentos de onda é utilizado um *triplexer*. É assim designado o *transceiver* no ONT GPON para uma implementação de GPON RF Overlay. No entanto, os *triplexer*s são mais caros que os *diplexer*s.

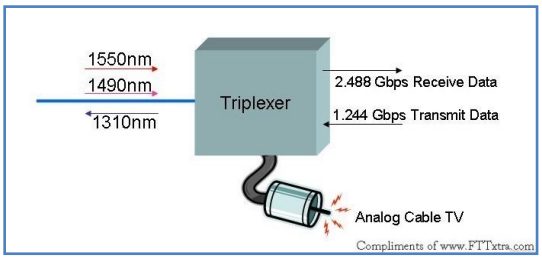


Figura 1.11 - *Triplexer* utilizado no GPON [5]

O grande problema utilizando três comprimentos de onda, situa-se em como fazer para se obter os dados *upstream*, e controlar o sinal *RF Overlay* no CO. Uma solução seria converter o tráfego em IP e enviar no sentido *upstream* no comprimento de onda de 1310 nm, embora este método tenha algumas limitações.

A transmissão, de acordo com o padrão GPON do ITU, permite até 2,5 Gbps de transmissão simétrica, embora a grande parte dos sistemas GPON sejam 2,5 Gbps no

downstream e 1,25 Gbps no sentido *upstream*. A largura de banda em ambos os sentidos é partilhada em maneiras diferentes. Na Tabela 1-1 encontram-se os débitos suportados pela GPON, para ambos os casos *downstream e upstream.*

Tabela 1-1 - Débitos utilizados pelo GPON

Sentido da Transmissão	Velocidade de transmissão
Downstream	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s
Upstream	155.52 Mbit/s
	622.08 Mbit/s
	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s

No sentido OLT para o ONU, é feita a difusão por todos os ONUs, donde se retira a informação com o endereço do mesmo. No sentido *upstream*, é utilizado o TDMA, em que cada ONU transmite a informação durante um intervalo de tempo. Um único ONT poderá utilizar mais que um intervalo de tempo, e cada um destes poderá ter comprimentos diferentes. Com a utilização do DBA, dá-se a possibilidade do surgimento de alterações em tempo real, na dimensão dos intervalos de tempo no sentido *upstream*, respondendo assim as variações de tráfego. Uma implementação típica contém um intervalo de tempo para gestão, outro para voz, e um para tráfego de dados em cada ONT. Uma rede GPON com 32 ONUs poderá estar a utilizar cerca de 100 intervalos de tempo. O GPON suporta Ethernet (através do GEM), ATM, e TDM.

A interface de gestão e controlo do ONT é um protocolo de gestão utilizado entre o OLT e o ONU. Com o uso do OMCI, sistemas externos de gestão, não têm que comunicar directamente com os ONTs. O OMCI permite a um único endereço IP dotado para gerir um OLT e, através do OMCI, todos os ONTs associados. Isto é torna-se muito eficiente para a conservação de endereços IP, reduz a carga no sistema de gestão. Dada a popularidade de VoIP neste tipo de sistemas, a conservação dos endereços IP com o OMCI é um benefício em muitas implementações GPON.

1.12 Motivos para optar pelo GPON

Assistiu-se a uma breve introdução às tecnologias EPON e GPON, ambas com a mesma utilização, ou seja, o FTTH. Abordou-se, essencialmente, o seu funcionamento geral e as suas características principais. De seguida, deseja-se mostrar os motivos que levaram a decidir pela tecnologia GPON.

Em termos de escalabilidade e flexibilidade, como já foi indicado, o EPON do IEEE apenas suporta uma taxa de transmissão, sendo esta apenas simétrica, de 1,25 Gbps, enquanto o GPON do ITU-T, com as especificações do documento G.984.2 é sem dúvida, muito mais flexível e escalável. Em ambos os sentidos, existe mais que uma taxa de transmissão, como podemos ver na Tabela 1-1, e também ao contrário da EPON, as taxas de transmissão são assimétricas, sendo esta uma das principais características de tráfego de acesso de uma rede aplicada ao FTTH. No entanto, a GPON permite que sejam configuradas as taxas de acordo com as necessidades, isto já não sendo possível para o EPON. A necessidade de suportar a taxa

de transmissão de 1,25 Gbps para o *upstream* requer um laser DFB no ONU e um receptor APD no CO, sendo estes elementos dispendiosos [5].

Um factor determinante, para a escolha de um sistema, consiste em analisar os benefícios de uma solução, e faz-se através de uma análise geral da largura de banda, que poderá ser vendido como serviços sobre o sistema. O termo *revenue bits* é definido como a quantidade de bits que pode ser extraído de uma rede e vendido como serviços. Estes são derivados das larguras de banda gerais das redes, com a excepção dos cabeçalhos dos protocolos utilizados, para transporte de tráfego pela rede. Comparando os dois sistemas e com taxas semelhantes, de 1,25 Gbps, os benefícios de cada sistema serão muito idênticos.

A eficiência de ambas as tecnologias, EPON e GPON, é ilustrada na Tabela 1-2. Como se pode verificar, os sistemas que utilizam Ethernet, a sua eficiência é inferior, em comparação ao GPON, pois este suporta muito mais *revenue bits*. Os sistemas EPON são caracterizados com cabeçalhos grandes, causando uma menor eficiência e por conseguinte um número inferior de *revenue bits* [5].

Na Figura 1.13, são representados os factores que contribuem para uma fraca utilização da largura de banda do EPON, fazendo com que o GPON seja mais eficiente em termos de utilização da largura de banda.

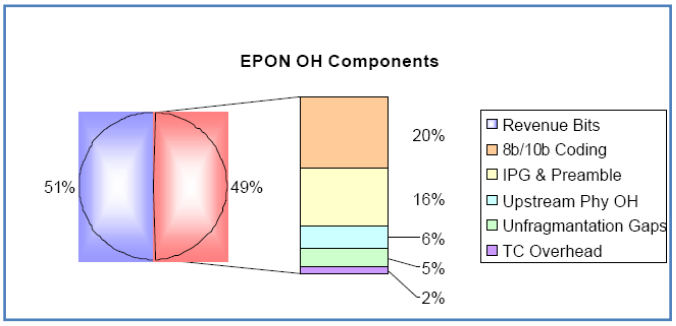


Figura 1.12 - Componentes nos cabeçalhos EPON [6]

O Ethernet, sendo um protocolo eficiente de dados baseado em pacotes não está preparado para suportar as necessidades requisitadas pelos transporte síncrono de TDM. Estes mecanismos, embora estejam bem definidos nos padrões Ethernet, são considerados tecnologias "imaturas" e que até ao momento não está comprovado o grau de qualidade e confiança pretendido pelos mesmos.

A emulação do TDM sobre o EPON e o transporte de voz requerem *software* ou *hardware* para suportar os esquemas VoIP. O que por sua vez só ira colocar custos na solução EPON. Por outro lado, a GPON suporta serviços TDM no seu formato principal, implicando que não tenha nenhum custo adicional [6].

Em termos de encriptação, no GPON está apenas disponível para o *downstream*. Por outro lado, o EPON utiliza um mecanismo baseado em AES, que é suportado por vários equipamentos, estando disponível para o *downstream* e o *upstream*.

Na Tabela 1-3, podemos de forma resumida, visualizar as diferenças entre os padrões GPON e EPON. Em relação às taxas de transmissão, verifica-se que o EPON é limitado enquanto o GPON tem várias opções. Existem para o GPON várias soluções a nível de

comutação de protecção enquanto para o EPON não é especificado. O tamanho de bits utilizado numa trama para endereçamento é de 48 bits no caso do EPON para apenas 8 bits no GPON. O número de utilizadores do EPON é de apenas até 16 embora já seja considerado até 32, enquanto no GPON é de 64 utilizadores e actualmente já se fala em 128 utilizadores.

Tabela 1-2 – Resumo das características do GPON e EPON [7]

Características	ITU-T GPON	IEEE EPON
Taxa de bits (Mbps)	*down*: 2.488, 1.244 *up*: 2.488, 1.244, 622, 155	*down*: 1.250 *up*: 1.250
Codificação	NRZ (+ *scrambling*)	8b/10b
Taxa de divisão	1:128 (1:64 na práctica)	1:32
Alcance máximo	60 km (com20 km de distância entre ONTs)	20 km
Padrão	Série ITU-T G.984.*x*	IEEE 802.3ah
Suporte TDM	TDM nativo, TDM sobre ATM, TDM sobre pacotes	TDM sobre pacotes
Suporte RF	Sim	Não
Eficiência Típica	93% *downstream* 94% *upstream*	61% *upstream* 73% *downstream*
OAM	PLOAM+OMCI	Ethernet OAM (+SNMP opcional)
Down	AES	Não definida

1.13 Conclusão

Concluiu-se que devido a evolução das tecnologias de banda larga, nomeadamente o FTTH têm tido um grande impacto a nível das necessidades dos utilizadores em ter sempre mais largura de banda e mais disponibilidade de serviços.

Numa rede passiva óptica abordou-se os tipos de multiplexação utilizados actualmente, o TDM e o WDM, sendo o segundo ainda muito dispendioso para a sua utilização como tal utilizou-se o TDM. As topologias de multiplexação indicou-se as que seriam mais próprias para o projecto em questão, no entanto utilizou-se a topologia em árvore. A taxa de repartição de potência considerou-se o 1:64.

As tecnologias EPON e GPON são as mais utilizadas no que diz respeito ao FTTH. Após uma comparação entre ambas as tecnologias concluiu-se que o GPON seria a melhor solução pois tem uma eficiência muito superior a EPON, bem como o dobro da taxa de transmissão.

2. GPON (*Gigabit Passive Optical Network*)

No segundo capítulo após ter escolhido a tecnologia GPON, pretendeu-se efectuar uma abordagem mais profunda dando a conhecer melhor o padrão G.984 do ITU-T e as suas características. Foi estudado o sistema de transmissão, os elementos activos e passivos que constituem uma rede GPON. Nos elementos activos apresentou-se alguns dispositivos de uma solução da Alcatel-Lucent, tais como o OLT, o ONT. Nos elementos passivos referenciou-se os elementos mais utilizados, tais como o tipo de cabo de fibra óptica, as caixas de junção, os distribuidores ópticos, os chicotes e finalmente os repartidores ópticos.

2.1 Padrão G.984 do ITU-T

2.1.1 GPON dividido em camadas

A estrutura em camadas de um OLT ou um ONU duma GPON consiste basicamente em duas camadas:

- A camada física dependente do meio (PMD – *Physical-Medium Dependent*) [definida pelo G.984.1]
- A camada de convergência de transmissão (TC – *Transmission Convergence*) [G.984.3]

Correspondem analogamente às camadas físicas e ligação de dados do modelo OSI. A camada TC está dividida em sub-camadas: a sub-camada *framming* e a sub-camada de adaptação como se pode visualizar na Figura 2.1.

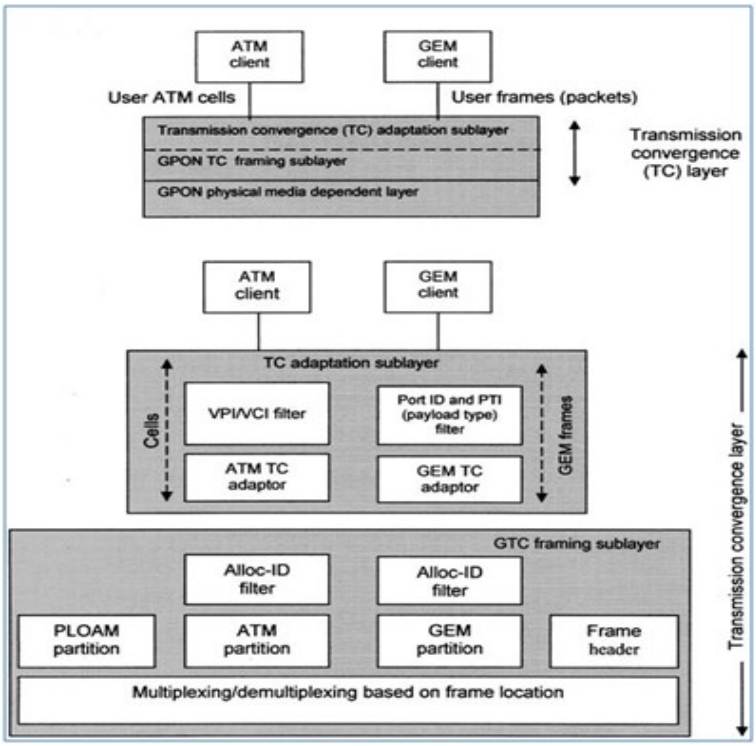


Figura 2.1 - Pilha de protocolos para fluxos de dados num nó GPON [8]

2.1.1.1 *GPON Physical-Medium-Dependent Layer*

Esta camada é composta apenas por hardware e é definida pelo padrão [G.984.2] para obedecer aos seguintes parâmetros.

- Comprimentos de onda:
  - 1260 a 1360 *upstream*;
  - 1480 a 1500 *downstream*;
- Tipo de tráfico: Digital;
- Divisão da fibra: até cerca de 64 limitado apenas pela atenuação da ODN;
- A atenuação permitida pelo ODN (entre o OLT e ONU). Considerando o pior caso possível, inclui, não apenas a atenuação da fibra, como também as perdas nos divisores, conectores e atenuadores ópticos, caso haja, e outros dispositivos passivos, considerando também, uma margem de segurança para ter em conta a adição de futuros elementos ópticos;
  - Classe A: 5 a 20 dB
  - Classe B: 10 a 25 dB
  - Classe C: 15 a 30 dB
- Diferença máxima de atenuações entre ONUs: 15 dB;
- Distância máxima entre fibras: 20 km com a utilização de um laser *Distributed Feed-Back* upstream e 10 km com laser *Fabry-Perot*;
- Gama de potências de lançamento para o caso de uma fibra em dBm:
  - 1,2 Gb/s *downstream*:
    - Classe A: -4 a +1
    - Classe B: +1 a +6
    - Classe C: +5 a +9
  - 2,4 Gb/s *downstream*:
    - Classe A: 0 a +4
    - Classe B: +5 a +9
    - Classe C: +3 a +7
  - 1,2 Gb/s *upstream*:
    - Classe A: -3 a +2
    - Classe B: -2 a +3
    - Classe C: +2 a +7

- Sensibilidade mínima do receptor *downstream*/sobrecarga mínima do receptor em dBm:
  - 1,2 Gb/s
    - Classe A: -25/-4
    - Classe B: -25/-4
    - Classe C: -26/-4
  - 2,4 Gb/s
    - Classe A: -21/-1
    - Classe B: -21/-1
    - Classe C: -28/-8 (requer receptor APD)

- Sensibilidade mínima do receptor *upstream*/sobrecarga mínima do receptor em dBm:
  - 1,2 Gb/s
    - Classe A: -24/-3
    - Classe B: -28/-7
    - Classe C: -29/-8
- Taxa máxima de bits errados: $1x10^{-10}$;
- A razão de extinção do laser é utilizada para descrever a eficiência na qual o transporte da potência óptica transmitida é modulado sobre a fibra óptica. É a relação entre a potência utilizada quando transmite o nível lógico “1” com a potência utilizada quando transmite o nível lógico “0”. Para o GPON, o seu valor estimado terá que ser superior a 10 dB;
- Largura espectral de emissão do Laser a -20dB do pico:

- *Downstream* laser DFB: 1nm;
- *Upstream* laser MLM (Laser multimodo mais conhecido por *Fabry-Perot*) a 155 ou 622Mb/s: 5,8 e 2,7 nm, respectivamente;

- *Upstream* laser SLM (Laser monomodo ou DFB) a todas as taxas de bits: 1 nm;

2.1.1.2 *GPON Transmission Convergence Layer*

A função principal da camada *GPON Transmission Convergence* (GTC) é fornecer o transporte de multiplexação entre o OLT e ONUs. No entanto, poderão também ser incluídas as funções de adaptação para a camada, contendo os protocolos dos sinais dos clientes, funções de operações e manutenção da camada física (PLOAM), interface para alocação dinâmica de largura de banda (DBA), troca de mensagens entre ONU e registo, código de correcção de erros (FEC) (opcional) e encriptação dos dados *downstream* [8].

Em termos de GPON as tramas utilizadas são 125 µs, herdadas da utilização da SONET e T-*carrier* (um sistema T-*carrier* é um sistema de transporte de informação digital comutada por pacotes, vindo a substituir os sistemas analógicos de comutação de circuitos, por exemplo o T1). Existem dois fluxos de tramas do utilizador do GPON, *downstream* e *upstream*, com início num nó, seja um OLT ou um ONU, no qual o fluxo de tramas contém células ATM e fluxo de tramas do método de encapsulamento GPON (GEM). O fluxo GEM consiste em tramas GPON de 125 µs cujo comprimento pode ou não coincidir com a do utilizador; caso não seja, será então necessário recorrer ao encapsulamento [8].

O encapsulamento consiste no processo de substituição nos pacotes dos utilizadores que poderão ser pequenos ou mais longos do que uma trama GPON. No caso de ser mais longo é dividido em duas ou mais tramas conforme é visualizado na Figura 2.2.

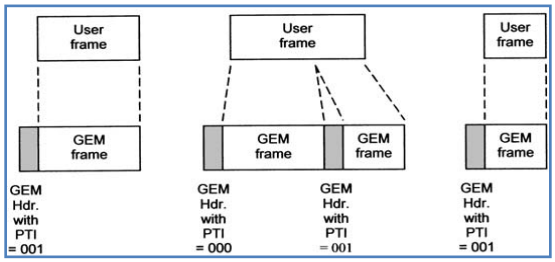


Figura 2.2 - Encapsulamento de *downstream* das tramas do utilizador em tramas GEM [8]

Na direcção de saída num nó, as tramas são agrupadas na partição GEM da Figura 2.3. É colocado um cabeçalho no início que inclui as operações e manutenção embutidas (OAM), estas pequenas funções de controlo que seguem junto com cada pacote que fluem no plano de controlo da Figura 1.4. Estas também incluem atribuição de largura de banda dinâmica (DBA) que disponibiliza e atribui os pedidos de largura de banda que não esteja a ser utilizada. Para que o sistema consiga lidar tanto com células ATM de 53-bytes e pacotes longos, este particiona o tráfego *downstream* uma parte para a secção ATM e outra para a secção GEM. No sentido *upstream* o tráfego é transportado em T-Conts *(Transmission Containers*) onde cada um pode transportar apenas tráfego ATM ou apenas tramas GEM. No caso em que se transporta ambos os tipos de tráfego dentro duma trama de 125 µs é referido como a utilização em *dual mode*.

Existem dois tipos de T-Conts (Figura 2.3), sendo identificados pelo campo Alloc-ID se são T-Conts para células ATM ou para pacotes GEM. Um ATM T-Cont poderá conter vários campos VP (*Virtual Path)*, que por sua vez poderá conter um ou mais *virtual circuit* (VC). A trama GEM consiste basicamente em vários portos, onde cada um se interliga a uma aplicação ou a um entidade física, uma no OLT e outra ONU.

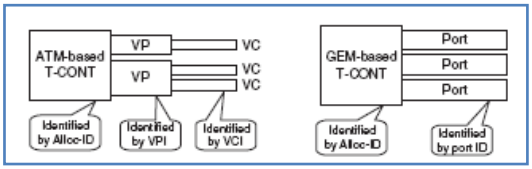


Figura 2.3 - T-Cont baseado em ATM e GEM [9]

2.1.1.3 *Estrutura das tramas do GTC*

A subcamada de estruturação das camadas oferece capacidades de multiplexação, funções de operações e manutenção, para a estruturação *upstream* de intervalos de tempo e alocação dinâmica de largura de banda (DBA). É implementado no cabeçalho da trama GTC.

2.1.1.3.1 Trama *Downstream*

Cada trama tem um comprimento de 125 µs que contém um bloco físico de controlo de tráfego *downstream* (PCBd), uma secção de *payload*, constituído pelo transporte de células ATM de 53 bytes e o outro tipo de tráfego através do método de encapsulamento (GEM) como se pode verificar na Figura 2.4.

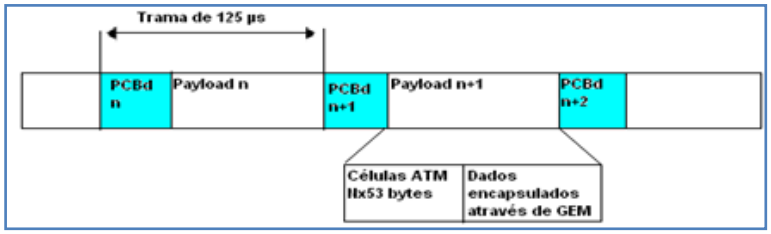


Figura 2.4 - Trama GPON *Downstream*

2.1.1.3.2 Trama *Upstream*

A transmissão *upstream* na camada TC consiste em tramas virtuais com um comprimento de 125 µs tendo todas a mesma dimensão que a trama *downstream*. São constituídas por rajadas de informação dos vários ONTs. Cada rajada é iniciada por um *PLOu* (cabeçalho da camada física de *upstream*), além do bloco *payload* também contém outras secções tais como: operações, administração e gestão da camada física de *upstream* (PLOAMu); a sequência de nivelamento de potência *upstream* (PLSu); e o relatório de largura de banda dinâmica *upstream* (DBRu).

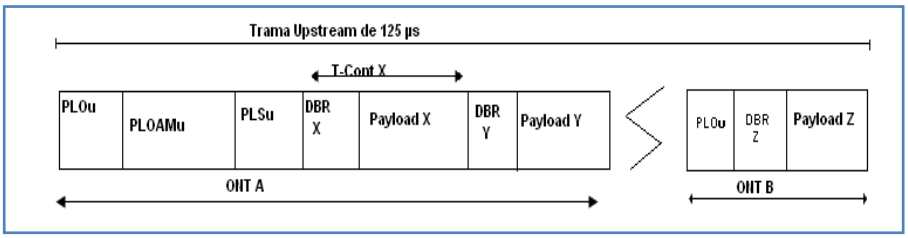


Figura 2.5 - Trama GPON *Upstream*

2.1.2 Características de uma GPON

2.1.2.1 *FEC – Forwad Error Correction*

É um sistema de controlo de erros que utiliza técnicas matemáticas de processamento de sinal para transmissão de dados, onde quem envia uma mensagem adiciona dados redundantes, mais conhecidos como código de correcção de erros. Isto faz com que o algoritmo que recebe as mensagens detecte e corrija os erros (com alguma margem) sem que seja necessário o reenvio de dados adicionais. A desvantagem desta técnica é que a retransmissão dos dados é muitas vezes evitada à custa de vários requisitos de maiores larguras de banda.

A informação redundante nesta tecnologia é tão insignificante que não introduz grandes processamentos. No entanto, resulta num aumento no *link budget* cerca de 3-4 dB o que por sua vez permite taxas de bits mais altas, distâncias maiores entre o OLT e o ONU e um maior número de divisões por PON.

2.1.2.2 *T-CONT - Transmission Containers*

Os *Transmission Containers* são utilizados na gestão da alocação da largura de banda de uma GPON para *upstream*. Inicialmente, tem como função melhorar o uso da largura de banda no sentido *upstream*. Um equipamento que utiliza esta função é o ONU, em que envia o tráfego utilizando um ou mais T-CONTs que permitem a implementação de QoS (Qualidade de Serviço) na direcção *upstream*.

Existem 5 tipos de T-CONT que podem ser alocados para os utilizadores:

- T-CONT 1 – garante alocação de largura de banda fixa para aplicações sensíveis ao tempo (p. ex. VoIP);
- T-CONT 2 – garante alocação de largura de banda fixa para aplicações não sensíveis ao tempo;
- T-CONT 3 – é uma mistura entre garantias mínimas de largura de banda e sem garantias;
- T-CONT 4 – é utilizado em *best-effort*, e alocado dinamicamente sem qualquer garantia de largura de banda.
- T-CONT 5 – é de certa forma uma mistura de todos os tipos anteriores.

2.1.2.3 *DBA - Dynamic Bandwidth Allocation*

A alocação dinâmica de largura de banda é um método que permite uma rápida alocação da largura de banda dos utilizadores, tendo em conta os requisitos de tráfego de cada um. É controlado pelo OLT que aloca os vários volumes de largura de banda para os ONUs, é uma técnica que funciona apenas no sentido *upstream,* pois no sentido *downstream,* o tráfego é todo difundido por todos os utilizadores.

Para determinar a quantidade de tráfego necessária para atribuir a um ONU, o OLT necessita de saber o estado do tráfego através do T-CONT associado ao ONU, como se pode observar na Figura 2.6. O ONU comunica com o OLT através de um relatório que reporta o estado do tráfego e caso seja necessário requisitar mais largura de banda envia esta informação juntamente com o tráfego do ONU no T-CONT anteriormente designado. Uma vez que o OLT receba a informação, pode distribuir as permissões, ou seja o T-CONT, para cada um dos ONUs. Quando um ONU não tem informação em espera para ser transportada, este em vez de aguardar pela permissão, envia uma célula ociosa *upstream* para informar que tem o *buffer* vazio. Isto informa ao OLT as permissões do ONU, sendo que aquele T-CONT poderá ser atribuído a outro ONU. Se um ONU tem uma fila longa esperando no *buffer* o OLT pode atribuir vários T-CONTs para aquele ONU.

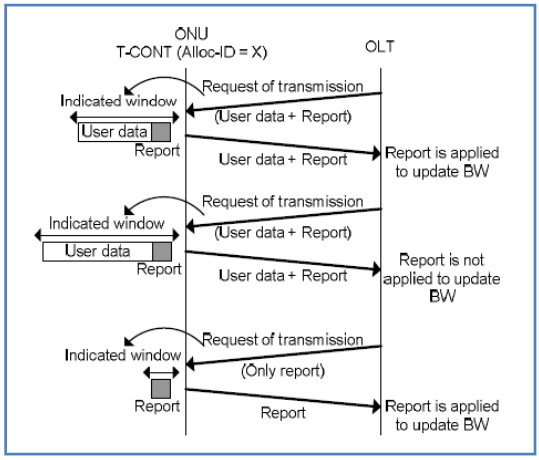


Figura 2.6 - Processo DBA [10]

2.1.2.4 *Segurança*

A funcionalidade do GPON para os dados *downstream,* em que estes são difundidos para todos os ONUs e possuem um intervalo de tempo alocado quando os dados pertencem a um ONU através de TDM. Assim, qualquer utilizador com intenções maliciosas poderá reprogramar o seu ONU e capturar todos os dados pertencentes a todos os ONUs interligados ao OLT. Na direcção *upstream* é utilizada uma ligação ponto-a-ponto, em que todo o tráfego é protegido de qualquer tipo de *eavesdropping*, este procedimento é designado por *churning*. Portanto, toda a informação deverá ser confidencial, contendo uma chave de segurança que pode ser enviado como texto.

A recomendação GPON G.984.3 descreve a utilização do mecanismo de segurança da informação que certifica que os utilizadores apenas têm acesso a informação que é para os

mesmos. O algoritmo de encriptação utilizado é o AES (*Advanced Encryption Standard*), este aceita chaves de 128, 192 e 256 bytes que permitem uma maior segurança dos conteúdos enviados.

2.1.2.5 *Comutação de protecção*

A protecção de uma arquitectura é uma questão que deve ser sempre abordada de forma a proteger um investimento desta envergadura, e eventualmente, melhorar o seu desempenho e confiabilidade. Existem dois tipos de mecanismos de protecção de comutação: protecção de comutação automática, e comutação forçada.

A protecção de comutação automática é o redireccionamento a nível físico de todo o tipo de dados e controlo de um caminho para outro. O sucesso desta protecção em estruturas SONET/SDH encontra-se através do fornecimento instantâneo de caminhos de *backups*. É utilizado quando há detecção de falhas, tais como perdas de sinais, perdas de tramas e a degradação do sinal.
A protecção de comutação forçada é activada através de elementos administrativos por exemplo quando há um novo roteamento da fibra.

2.2 O sistema de transmissão óptico

As perdas baixas, o ruído baixo e as grandes larguras de banda da fibra óptica tornaram-se no meio ideal para redes de transmissão de backbone para grandes distâncias. Neste momento, a comunicação através de fibra óptica tem vindo a assistir um crescimento enorme. O resultado deste desenvolvimento evidenciou-se no custo dos componentes de fibra óptica que desceu abruptamente, tornando esta tecnologia comercialmente viável para ser aplicada nas redes de acesso.

As fibras ópticas são guias de onda constituídas vidros de elevada pureza. O núcleo de uma fibra tem um índice de refracção mais alto que a bainha que o reveste. São classificadas como monomodo ou multimodo representado na Figura 2.7. A fibra monomodo (SMF) contém um núcleo de 10 µm e necessita uma grande precisão mecânica para acoplamento do sinal. Por outro lado, as fibras multimodo (MMF) contêm núcleos maiores para um melhor alinhamento e acoplamento. Existem dois tipos de fibras multimodo mais utilizadas com os diâmetros dos núcleos de 50 µm e 62,5 µm respectivamente.

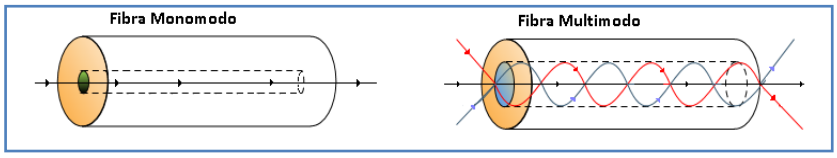


Figura 2.7 - Fibra monomodo e multimodo

Nas fibras monomodo, a luz é propagada em apenas num modo, enquanto para a fibra multimodo são utilizados múltiplos modos para propagar a luz, devido ao tamanho do núcleo, os modos de propagação viajam a velocidades diferentes resultando na dispersão modal. Esta dispersão causa nos pulsos de sinal um desvanecimento que limita a largura de banda e as distâncias de transmissão. Anteriormente, a SMF tem sido utilizada para transmissões de

backbone para grandes distâncias e a MMF para interligação de edifícios locais com a infra-estrutura já existente de cabo par entrançado.

No entanto para GPON/FTTH faz sentido utilizar fibra óptica SMF pois tem a capacidade de oferecer taxas de dados na ordem dos gigabits por segundo a distâncias de vários quilómetros, algo que as actuais instalações de cobre já não permitem. Em qualquer rede passiva o elemento utilizado para fazer a interligação dos equipamentos é a fibra óptica e tem associado uma atenuação de cerca de 0,2 dB/km, que é algo que há que ter em conta quando se faz o *optical power bugdet*.

2.3 Equipamentos Activos

Nesta fase pretende-se mostrar os equipamentos activos utilizados numa GPON. Após alguma investigação, encontrou-se várias soluções, das quais se escolheram as mais viáveis para o caso em estudo. Considerou-se as empresas de referência nesta tecnologia tais como a Alcatel-Lucent, a Ericsson, tendo também sido consultado a Zhone, a Furukawa, a Enablence e a solução da PT Inovação.

A Alcatel-Lucent é considerada, neste momento, como umas das empresas de referência no mercado da tecnologia GPON/FTTH. A solução, designada como 7342 ISAM FTTH GPON representada na Figura 2.8, consiste basicamente em três partes:

- A central de equipamentos (CO), onde será colocado o equipamento activo OLT e os vários servidores ligados a este;
- Na rede de distribuição óptica (ODN);
- Na rede doméstica onde ficarão os equipamentos activos terminais neste caso o ONT ou ONU [11].

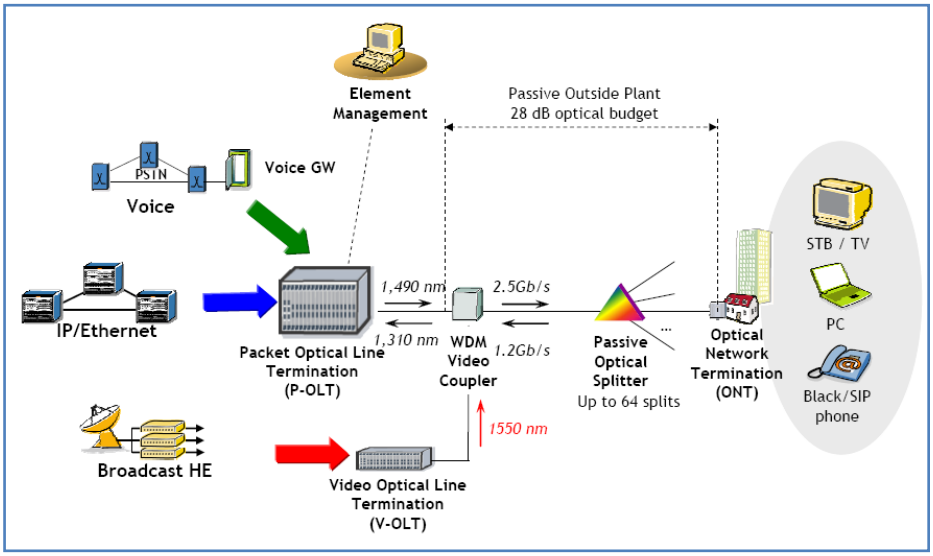


Figura 2.8 - Solução GPON 7342 ISAM da Alcatel-Lucent [11]

Na central de equipamentos tem-se o designado "P-OLT" que transmite toda a informação através de pacotes e o "V-OLT" para a transmissão de sinal de televisão. O "P-OLT" é constituído por um servidor de PSTN, interligado a uma porta, que faz a transmissão do sinal

de voz. No entanto, também é constituído por um ou vários servidores de IP-Ethernet para transmissão e recepção de pacotes de dados. Como em qualquer equipamento que forneça tais serviços, necessita de uma aplicação de software de gestão.

Para a transmissão e recepção de informação, através de pacotes de dados, são utilizados os comprimentos de onda padrão, o 1490 nm para o sentido descendente e o 1310 nm para o sentido ascendente. No comprimento de onda de 1550 nm, é feita a transmissão de vídeo para o IPTV que utiliza o "V-OLT" e que faz a difusão do vídeo pela rede.

A rede de distribuição óptica (ODN) consiste numa rede óptica completamente passiva constituída pelos seguintes elementos passivos: os repartidores; as fibras ópticas monomodo e as caixas de junção, situadas desde a saída do OLT até a entrada do ONT. Esta ligação pode ter uma distância máxima de 20 km definida pelo padrão do ITU G.984.1 e com um limite de *optical power budget* de 28 dB. Um dos elementos utilizados é um acoplador WDM que tem como função adicionar na fibra óptica de forma os 3 comprimentos de onda. Cada fibra óptica transmite informação que depois é dividida até 64 utilizadores finais através do repartidor óptico. Cada utilizador ou cliente é caracterizado através de um ONT que subscreve aos serviços de *triple-play* contendo televisão, Internet e telefone.

A Tabela 2-1 contém as características ópticas da solução 7342 ISAM de acordo com a classe B+ do padrão do ITU G.984.1:

Tabela 2-1 – Características ópticas da solução 7342 ISAM

	OLT	ONT	
Potência média mínima	+1,5	+0,5	dBm
Potência média máxima	+5	+5	dBm
Sensibilidade mínima	-28	-27	dBm
Sobrecarga mínima	-8	-8	dBm
Optical Penalty	0,5	0,5	dB

2.3.1 OLT – *Optical Line Terminal*

O equipamento central, abordado anteriormente, contém as seguintes características, dois circuitos electrónicos, usualmente denominadas de cartas, de *uplink* (Figura 2.9):

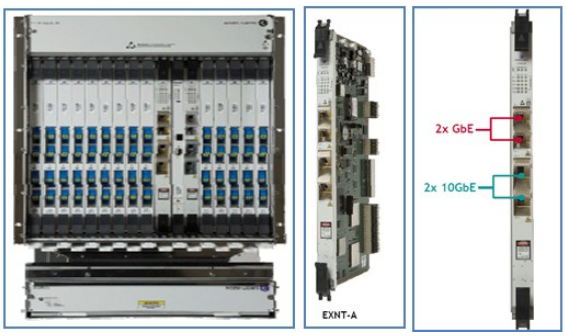


Figura 2.9 - *Optical Line Terminal* [11]

- 250 Gb/s de comutação Ethernet;

- 22 Gb/s de capacidade para WAN através de:
  - 2 Interfaces Gigabit Ethernet com SFP óptico;
  - 2 Interfaces 10 Gigabit Ethernet com XFP óptico.

Existe a possibilidade de utilizar duas cartas em modo partilhado, para se obter um núcleo de comutação de 500 Gb/s e uma capacidade de WAN para 44 Gb/s, desta forma, duplicando o seu desempenho. Tem suporte para sincronização baseada em BITS & IEEE 1588 [11].

2.3.1.1 *Carta OLT GPON (GTL4-A)*

É um componente que é adicionado ao equipamento central, contendo catorze ranhuras, no qual a carta poderá ser colocada em qualquer uma das ranhuras. Fornece taxas de 2,5 Gbps *downstream* e 1,25 Gbps *upstream*. Cada carta tem disponível a função de IGMP *Proxy/Snooping* que faz com que o tráfego *multicast* do IPTV seja tratado de forma diferente de tráfego através de *broadcast* (Figura 2.10) [11].

Figura 2.10 -Carta OLT GLT4-A [11]

2.3.2 ONT – Optical Network Termination

A Alcatel-Lucent contém uma variedade de equipamentos ONT para diferentes tipos de clientes que poderá ser dividido em dois grupos: Interior e Exterior; Residencial, Empresarial e FTTB. Visto existirem vários equipamentos, escolheu-se o que ficaria mais em conta em termos de características e preço, o ONT I-Series 4GbE 2POTS *Optional* RF (Figura 2.11). De seguida apresenta-se as características do mesmo:

Figura 2.11 – ONT [11]

- 4 Gigabit Ethernet com negociação automática para 10/100/1000 Base-T;
- 2 Interfaces POTS RJ-11;
- Interface RF opcional (através do cabo coaxial tipo F);
- Gerido remotamente pela aplicação *AL 5520 AMS Network Manager.*
- Video-IP com protocolo de comunicação IGMPv2 e IGMPv3 para mudança de canal;
- Software para cliente VoIP com os protocolos de SIP e H.248;

- *Optical power bugdet* de 28 dB (de acordo com FSAN Class B+) com um alcance máximo de 20 km;
- Existem duas opções para alimentar o equipamento com ou sem bateria;
- Possibilidade de ligar ou desligar a interface *User Network Interface* independentemente;
- Suporte para evitar o *Spoofing* de endereços IP e MAC;
- Gestão de falhas de conectividade de acordo com a norma IEEE 802.1ag para efectuar a verificação contínua e funções de *loopback* e *trace-route* efectuando também envio de relatórios.

2.3.3 Solução alternativa: VDSL2 24 portas sem POTS

Esta solução surge como alternativa, embora já tenha sido referido anteriormente, para edifícios mais antigos onde não compensa a substituição da rede de cobre por uma infra-estrutura nova óptica. O equipamento (Figura 2.12) permite velocidades até 100 Mbps. É uma mistura flexível entre FTTH e FTTB, pois chega aos clientes através da mesma fibra, da mesma carta e eventualmente do mesmo OLT [11].

Figura 2.12 - VDSL2 de 24 portas sem POTS [11]

2.3.3.1 *IPTV – Alcatel-Lucent*

Para a gestão da largura de banda de *multicast* do serviço de IPTV no lado do OLT, existe um *proxy* IGMP e garante apenas uma cópia de fluxo de dados com uma configuração própria, nomeadamente um pacote de canais básico, enviados em *multicast,* sendo a informação transportada pela PON. Por outro lado, no ONT contém um *IGMP Snoop* que faz a gestão dos dados recebidos. No *IGMP proxy*, constituído por várias portas GEM, tem uma porta definida por defeito onde é feito todo o transporte de informação *multicast* pela PON (por ex. um pacote de canais básico) sendo a mesma porta do lado do ONT que faz a recepção do sinal *multicast*. No caso de o cliente pretender outro pacote de canais (por ex. Notícias, Desporto) é feita a activação de outra porta GEM com o mesmo valor de ambos os lados, onde é difundida a informação e recebida pelo ONT. Os pacotes de canais são fluxos de dados *multicast* que partilham permissões, para um acesso comum, suportando até 256 pacotes *multicast* [12].

2.4 Equipamento Passivo

Os equipamentos passivos são uma parte também fundamental de uma rede de acesso GPON, que têm como funções principais interligar dois ou mais equipamentos activos e transportar a informação (sinal óptico) entre os mesmos. O mais conhecido é o cabo de fibra óptica, mas existem outros importantes tais como as caixas de junção, os distribuidores ópticos (ODF), seja de bastidor ou de parede, os repartidores ópticos, os *pigtails,* os *patchcords* e os vários tipos de conectores.

2.4.1 Tipos de cabos de fibra óptica

Actualmente existe uma grande variedade de cabos de fibra óptica, tendo cada modelo a sua aplicação em concreto. Para a tecnologia em estudo, ou seja, o FTTH, é utilizado a fibra monomodo e são utilizados dois tipos de cabos para uma rede de acesso óptica: os cabos com características próprias para conduta e outro tipo de cabo com especificações para utilização área. Consultou-se catálogos e também páginas da Internet de vários fabricantes tais como a DRAKA, CABELTE e considerou-se um exemplo para cada.

2.4.1.1 *Aéreo*

De seguida demonstra-se um exemplo de um cabo com características próprias de ADSS (*All-Dielectric Self-Supporting Aerial)* da CABELTE, que poderá conter desde 12 a 120 fibras ópticas, adequados para instalação aérea e permitindo a sua instalação próxima ou mesmo paralela a rede de alta, média ou ainda baixa tensão sem nenhuma influência na performance da fibra. Os cabos apresentam fibras ópticas monomodo, de acordo com o ITU-T G.652B, entubadas em grupos de 12 fibras ópticas/tubo conforme ilustrado na Figura 2.13 de um cabo de 48 fibras (4x12) [13].

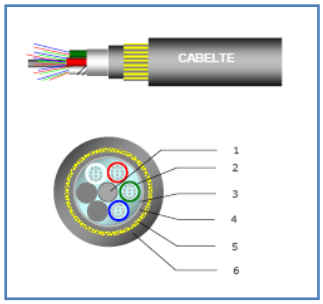


Figura 2.13 - Esquema de um cabo CABELTE de 48 FO (4x12) [13]

Legenda da Figura 2.13:

1 – Varão de fibra de vidro reforçada (FRP) colocado no centro do núcleo para prevenir os esforços de contracção do cabo, (em algumas composições poderá ser isolado a PE);
2 – Tubo *loose*, em PBTP com gel de estanquicidade e 12 fibras ópticas;
3 – Elementos hidroexpansivos – fios e fitas hidroexpansivos, que bloqueiam a passagem da água no interior do cabo;
4 – Elemento de reforço periférico de fibras de aramida (Kevlar); e
5 – Bainha exterior de Polietileno termoplástico (**PE**) de cor preta com uma espessura de 1,6 mm.

A identificação dos cabos de fibra óptica é feita, tendo em consideração os seguintes códigos de cores mostrados na Tabela 2-2 com base na Figura 2.13.

Tabela 2-2 - Tabela com identificação das cores das fibras ópticas

Códigos de cores de fibra óptica		Código de cores de tubo	
N.º fibras	**Cor da FO**	**N.º de tubos**	**Cor Tubo**
1	Branco	**1**	Branco
2	Vermelho	**2**	Vermelho
3	Verde	**3**	Verde
4	Azul	**4**	Azul
5	Preto	**5**	Preto
6	Amarelo	**6**	Amarelo
7	Laranja	**7**	Laranja
8	Cinzento	**8**	Cinzento
9	Castanho	**9**	Castanho
10	Rosa	**10**	Rosa
11	Violeta	**11**	Violeta
12	Turquesa	**12**	Turquesa

Existem também características físicas e mecânicas para vários comprimentos dos vãos, de 70m, de 100m, de 250m, 400m. As características ópticas das fibras ópticas monomodo estão de acordo com a Tabela B do ITU-T G.652.

2.4.1.2 *Subterrâneo*

O cabo considerado para ser utilizado em condutas ou valas terá que apresentar certas características pois não poderá ficar suspenso e para ser puxado ter-se-á que ter em conta o valor do esforço máximo de tracção pois, ao aplicar uma força de maior valor poderá danifica-lo definitivamente. A identificação das fibras ópticas e dos tubos é feita de acordo com a Tabela 2-2 e também ilustrado na Figura 2.14. Visto que o mesmo fica situado em locais propícios para roedores e eventualmente também inundações, o cabo terá de estar preparado com as protecções adequadas [14].

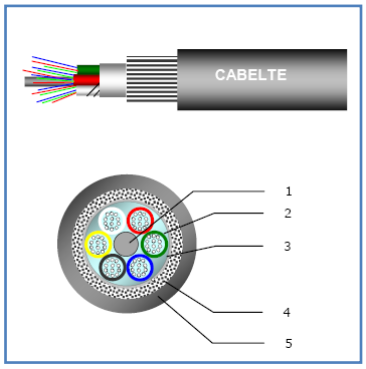


Figura 2.14 - Desenho esquemático de um cabo com 72 FO (6 x12) [14]

2.4.2 Caixas de junção

A caixa de junção de cabos de fibra óptica por fusão ilustrada na Figura 2.15, permite proteger as juntas de cabos com os níveis máximos de qualidade, fiabilidade e estanquicidade, tanto em instalações de *backbones* de fibra como em redes de distribuição. Permite a entrada até 6 cabos de fibra, sendo 4 delas em 2 entradas dual, com uma capacidade máxima standard de 48 fusões, obtida mediante 4 gavetas de juntas de 12 fusões.

Figura 2.15 - Constituição da caixa de junção [15]

As suas propriedades e os acessórios permitem a sua instalação directamente enterrada em terra, instalação em caixas de visita, numa parede ou mesmo em instalações aéreas. Devido às suas características mecânicas possibilita-lhes uma alta resistência a impactos e compressões, assim como à infiltração de água. O seu isolamento especial de silicone possibilita múltiplos ciclos de abertura, para reparação/manutenção, conservando inalteradas as suas características isolantes.

2.4.3 ODF – Distribuidores ópticos

Os distribuidores ópticos são dos equipamentos passivos terminais mais utilizados actualmente. Têm como principal função em fazer a terminação ou mesmo efectuar a interligação entre cabos de fibra óptica. Durante o acompanhamento de algum dos trabalhos de campo, foi possível conhecer este tipo de equipamento. De seguida, é demonstrado um exemplo de um ODF de bastidor.

2.4.3.1 *ODF de bastidor (DOBEX – 2U)*

O distribuidor óptico para bastidor é utilizado, tal como o modelo anterior e ilustrado na Figura 2.16, para terminação e inter-ligação de cabos de fibra óptica mediante a ligação directa ou por soldadura dos *pigtails.* É instalado num Rack de 19'' ou com adaptadores em Rack ETSI. O equipamento permite a entrada de dois cabos de fibra óptica interior/exterior com diâmetros compreendidos entre 7 e 21 mm. O painel frontal é apto para adaptadores tipo ST, SC, Duplex SC, SMA, FDDI e FC. Junto com o equipamento são fornecidos todos os acessórios essenciais para a terminação dos cabos de fibra e organização dos *pigtails*.

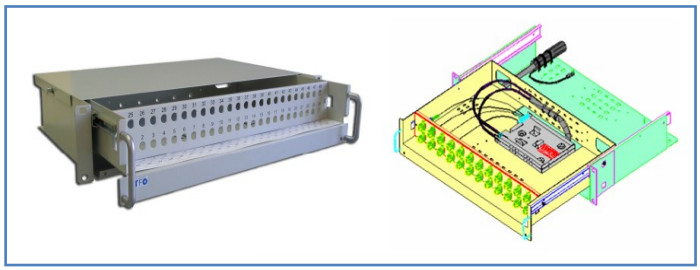


Figura 2.16- ODF DOBEX-2U [15]

2.4.4 Patch Cords

Os *Patch Cords* ópticos são utilizados na interface entre o distribuidor óptico e os equipamentos activos da rede, localizados nos bastidores de telecomunicações. Os vários tipos

de conectores de fibra óptica dependem eventualmente da sua aplicação. É constituído por dois conectores que poderão ser dois diferentes modelos, um em cada extremidade e por um cabo de fibra óptica sendo o seu comprimento de variável (Figura 2.17).

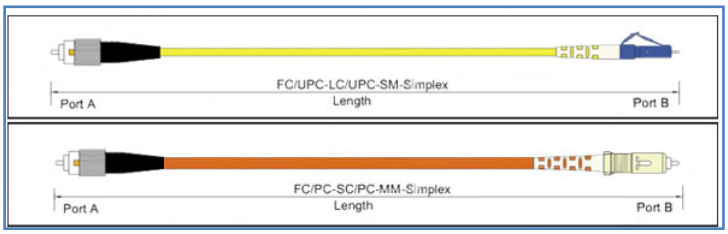


Figura 2.17 - Patch Cord SM e MM da Optroncomm [16]

De forma a distinguir o cabo monomodo do cabo multimodo, formam cabo monomodo é amarelo e o cabo multimodo é laranja, respectivamente.

2.4.5 Pigtails

Os *pigtails* são basicamente um cabo *patch cord* apenas com uma extremidade com um conector terminal com que se pretende por exemplo SC, LC. Na outra extremidade contém apenas a terminação do cabo, sem conector, que será onde é feita a fusão. A sua utilização é feita para os distribuidores ópticos, seja de bastidor ou de parede. Tal como se pôde observar anteriormente para os *patch cords* existem em multimodo e em monomodo. Para as aplicações do FTTH os *pigtails* que temos que utilizar são os monomodo. Na Figura 2.18 demonstra-se um exemplo de um *pigtail* LC com polimento UPC/APC/SPC.

Figura 2.18 - *Pigtail* SC [16]

2.4.6 Repartidor óptico

O repartidor óptico é um elemento chave da rede passiva que recebe um sinal óptico a partir de uma porta de uma carta de um OLT do CO, para o caso do FTTH, para 2,5 Gbps dividindo a sua potência de acordo com a taxa de divisão do repartidor óptico até um valor n de ONTs. Neste momento, no mercado, existem desde 1:2 até 1:32, 1:64, e já se fala, com a actualização para 10Gbps, no repartidor óptico de 1:128. Tal como qualquer equipamento passivo, ao ser colocado na rede introduz sempre uma atenuação que se terá que ter em conta. Para o caso em estudo, foi considerado que estes seriam colocados nos PTs, proporcionando uma maior facilidade nos trabalhos de manutenção. Foi considerado como exemplo, afigurado na Figura 2.19 um repartidor óptico PLC de 1:64. Os repartidores poderão ser fornecidos em componentes individuais ou em embalagens com protecção, tais como caixas de junção, em assemblagens montadas em bastidores, em módulos ou outro tipo de configurações. Apenas da empresa Zhone é que se obteve informação sobre os repartidores ópticos [17].

Figura 2.19 - Repartidor óptico PLC de 1:64 [18]

Existem dois tipos de tecnologias utilizados no fabrico dos repartidores ópticos a tecnologia FBT e a PLC.

A *Fused Biconic Technology* (FBT) consiste em duas ou mais fibras que são entrelaçadas entre si sem revestimento plástico, depois aquecidas com um arco eléctrico e esticadas de modo a permitir a fusão dos núcleos. Os dispositivos permitem divisão directa até 4 saídas. As taxas de divisão maiores são obtidas através da fusão de vários repartidores formando um repartidor concatenado também designados por repartidores em árvore.

O *Planar Lightwave Circuit* (PLC) baseia-se num circuito de luz num "chip óptico". A embalagem é encapsulada numa caixa protectora [18].

2.5 Conclusão

Neste capítulo consistiu em aprofundar os conhecimentos sobre a tecnologia GPON abordada no capítulo 1.

Através o padrão G.984 do ITU-T estudou-se mais aprofundadamente o GPON, onde se ficou a conhecer a constituição das várias camadas e as suas características. Nas características focou-se a alocação dinâmica da largura de banda, a segurança através do algoritmo AES, controlo de erros através do FEC e os *T-Conts* que asseguram a qualidade de serviço da tecnologia.

Concluiu-se que existem várias soluções, tanto de equipamentos activos como de equipamentos passivos para o GPON no mercado, embora se tenha considerado na dissertação apenas a solução da Alcatel-Lucent.

3. Tipos de Arquitectura

No terceiro capítulo são mostradas os vários tipos de arquitecturas para uma rede passiva óptica. É apresentado as topologias ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto, de seguida são abordados as arquitecturas aéreas e subterrâneas, as várias soluções para redes verticais no interior dos edifícios que poderão ser utilizadas na sua implementação. Também considerou-se uma alternativa para os edifícios mais antigos, o VSDL. Finalmente, são demonstradas as arquitecturas PON com e sem segurança, tendo se depois feito a escolha da arquitectura utilizada.

3.1 Ponto-a-ponto vs Ponto-a-Multiponto

Para esta tecnologia *GPON/Fiber to the Home* apenas existem apenas duas arquitecturas a utilizar: a ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto.

À primeira vista, a opção ponto-a-multiponto (Figura 3.1) parece ser a mais viável pois será utilizada uma quantidade menor de fibra e ocupando menos espaço nas condutas, o que implica uma redução no *CAPEX* que, por sua vez, também se irá reflectir na redução do *OPEX* no *central office* ao contrário do que ocorre com a arquitectura ponto-a-ponto que necessita de uma fibra por cada cliente final.

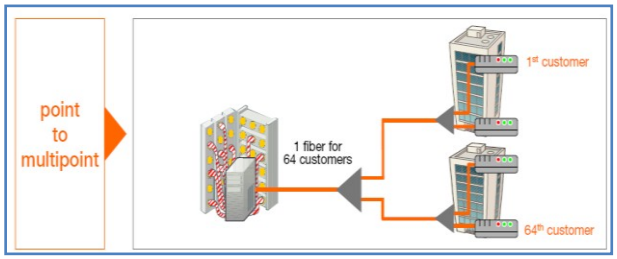


Figura 3.1- Ponto-a-Multiponto [19]

A topologia que será considerada devido a arquitectura P2P será uma mistura de topologia em árvore como já seria previsível numa rede passiva. A topologia em árvore terá como ramo principal a Subestação do Amparo, na freguesia de São Martinho, na cidade do Funchal, distribuindo-se pelos vários postos de transformação e consequentemente aos vários clientes, visto de uma forma geral.

A arquitectura escolhida vai depender da localização geográfica dos habitantes, poderá ser considerada uma arquitectura mais agregada ou mais distribuída consoante a área. Numa área mais urbana, onde existem uma quantidade considerável de edifícios, será utilizada uma arquitectura agregada, para agrupar uma maior quantidade de utilizadores para um divisor de potência. No entanto, numa área com habitações individuais em que a sua localização é mais distribuída, será efectuada uma centralização do divisor de potência para que a distância da fibra óptica utilizada desde o divisor de potência seja a mais curta possível.

A Figura 3.2 ilustra um exemplo que se pode adaptar muito facilmente neste projecto, considerando o CO, a Subestação do Amparo. Assim, podemos identificar os pontos locais de

convergência, como sendo os PTs, sustentados pelo cabo de alimentação, os pontos de acesso da rede como os torpedos ou caixas de derivação, em que é feita a distribuição e finalmente temos o cliente final onde chega a fibra, através dos cabos de distribuição.

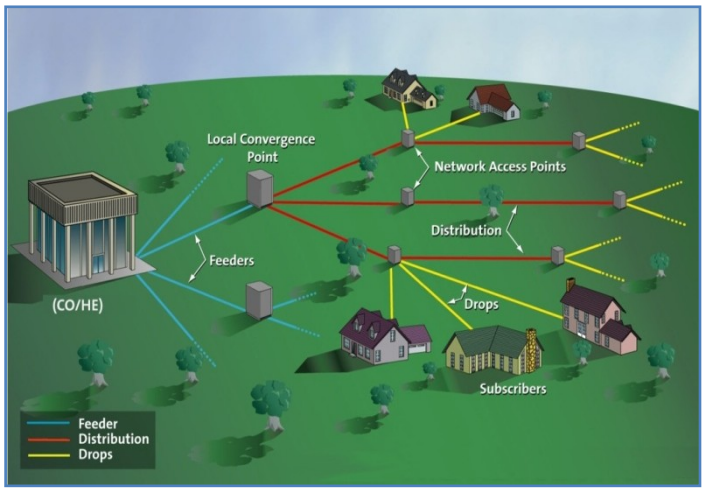


Figura 3.2 – Exemplo típico de arquitectura distribuída [20]

3.2 Arquitectura PON da rede aérea

A ilustração da Figura 3.3 aponta um exemplo de como será efectuada a distribuição da fibra, no caso das localizações onde não existam valas nem condutas, utilizando-se os postes instalados da rede de distribuição de energia eléctrica através de um cabo ADSS.

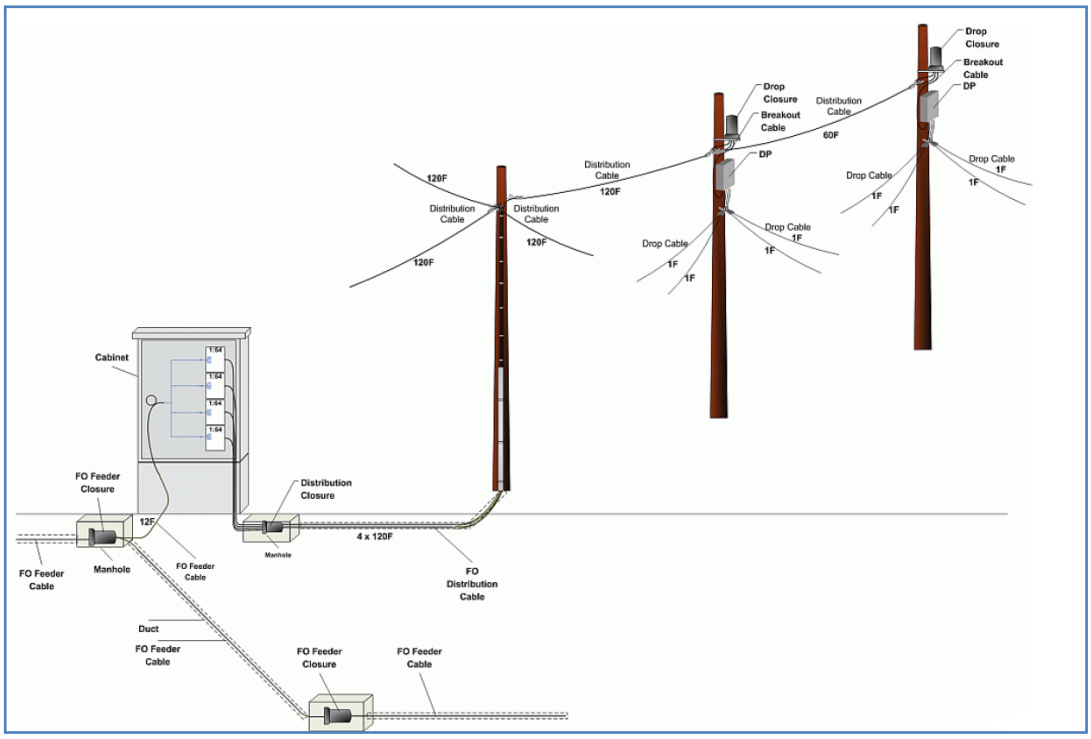


Figura 3.3 - Arquitectura aérea [21]

O cabo que vai desde o CO até ao PT é considerado como cabo de alimentação de fibra óptica. No PT, onde serão colocados os divisores de potência, o cabo é dividido através de um torpedo ou uma caixa de junção, de forma a colocar a quantidade de fibra necessária para o devido PT e também é encaminhada o restante para outro PT através de conduta.

Neste exemplo, tem-se um cabo com 12 FO para alimentar os divisores de potência. Após a interligação dos divisores ter-se-á que agrupar os cabos, obtendo-se um cabo de distribuição que é guiado até ao poste, e por sua vez é depois distribuído pelos vários postes. Nos postes, o cabo é dividido numa caixa de derivação, sendo depois cada fibra individual guiada até ao cliente final [21].

3.3 Arquitectura PON da rede subterrânea

Na Figura 3.4 considerou-se um exemplo de uma arquitectura subterrânea. Esta arquitectura é mais utilizada numa localização onde existe mais agregação de edifícios (num centro mais urbano), pois já foram retirados os postes devido ao seu impacto visual mantendo-se apenas os postes de iluminação pública.

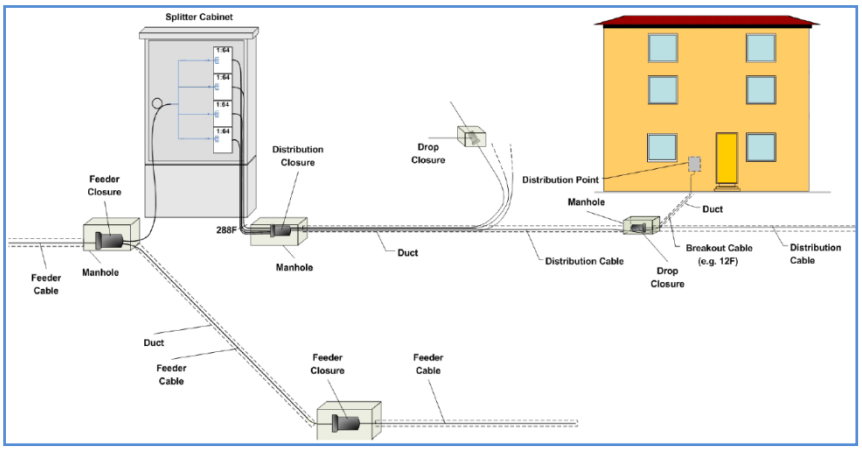


Figura 3.4 - Exemplo de uma rede subterrânea [21]

O conceito é semelhante ao do exemplo anterior, no entanto, verifica-se que o cabo de distribuição à saída do PT é guiado através de valas ou condutas até uma caixa de distribuição colocada numa conduta onde é feita a divisão do cabo. Neste caso, com um cabo com 12 fibras ópticas, que depois irão novamente através de vala até o prédio, sendo colocado um ponto de distribuição óptico no edifício, de forma a abranger o prédio todo com fibra óptica até os apartamentos.

3.4 Rede no interior dos edifícios

Dadas as dimensões dos edifícios poderão existir várias soluções que se podem adaptar consoante o projecto em causa.

3.4.1 Edifícios pequenos com menos de 12 habitações

No caso em que os prédios são pequenos pode-se colocar um ponto de distribuição na base do prédio e depois colocar um cabo para cada habitação, tal como ilustra a Figura 3.5. Neste caso, cada um destes cabos é ligado a um ONT que dependentemente dos serviços subscritos se interligará ao telefone ou/e computador ou/e televisão.

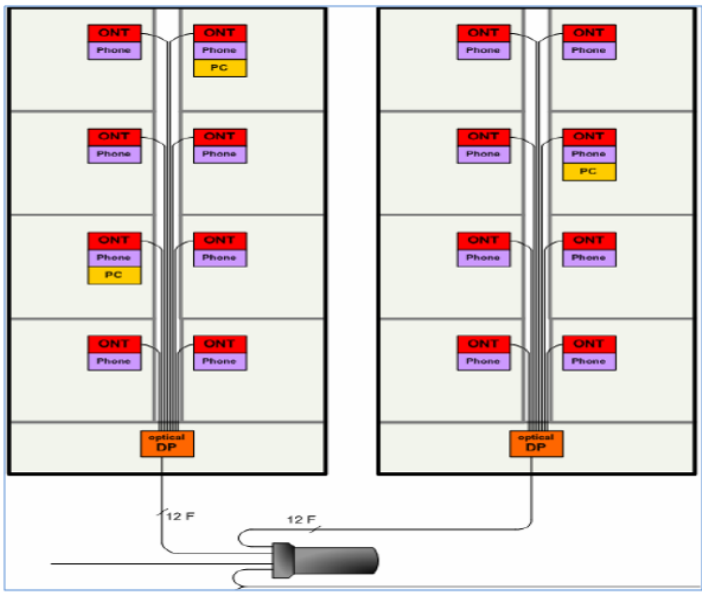


Figura 3.5 - Ligação até 12 habitações [21]

3.4.2 Edifícios com menos de 100 habitações

Quando se lida com edifício desta dimensão será prudente utilizar outro método do que foi utilizado anteriormente, pois como se pode prever a junta vertical onde leva os cabos até aos prédios é de espaço limitado, tentando-se colocar a menor quantidade de cabos possível. Portanto, consiste em colocar na garagem do prédio uma caixa de derivação com o cabo com a quantidade necessária de fibras ópticas para o edifício e depois em cada andar é feita a separação das fibras para ser colocado num divisor de potência de 1:2 até 1:8 onde será feita a divisão das fibras para uma fibra em cada apartamento. Uma das vantagens de utilizar esta solução é que são necessárias menos fibras.

3.4.3 Edifícios com mais de 100 habitações

Para grandes edifícios, nomeadamente superior a 100 habitações, a solução evidente é colocar uma cabine com os divisores de potência ópticos na garagem ou mesmo fora do edifício. É retirado do cabo de alimentação óptico, a quantidade de fibras ópticas para os divisores de potência, que depois de interligar é colocado um ponto de distribuição central para abranger a maior quantidade de apartamentos, (este cenário depende da planta do edifício).

3.5 VSDL – Uma alternativa para edifícios mais antigos

Em qualquer localização urbana nem todos os prédios são novos, existindo alguns já com alguma idade, considerando em geral um prédio com mais de 20 anos em que já tenham sido feitas remodelações em termos das fachadas e outras infra-estruturas. Para estes edifícios uma alternativa que parece ser muito viável, consiste na instalação da tecnologia VDSL2, caso não seja possível implementar na sua arquitectura vertical, uma rede FTTH óptica.

Com a utilização desta tecnologia é possível reaproveitar a estrutura em cobre através de um equipamento de VDSL2 MDU de 24 portas. Este equipamento permite preencher uma lacuna em termos de cobertura e CAPEX, alcançando uma forma importante de satisfazer os clientes, obtendo-se velocidades próximas dos 70 a 100 Mbps, devido à curta distância desde o equipamento até aos utilizadores.

3.6 Arquitecturas PON com e sem segurança

3.6.1 Esquemas sem segurança

Na Figura 3.8 estão ilustradas as arquitecturas sem segurança em termos de redundância com as topologias em árvore e barramento. Uma arquitectura em árvore requer 1 ou 2 divisores de potência ópticos passivos de 1:N. Uma arquitectura em barramento, como no exemplo (b), necessita de acopladores assimétricos.

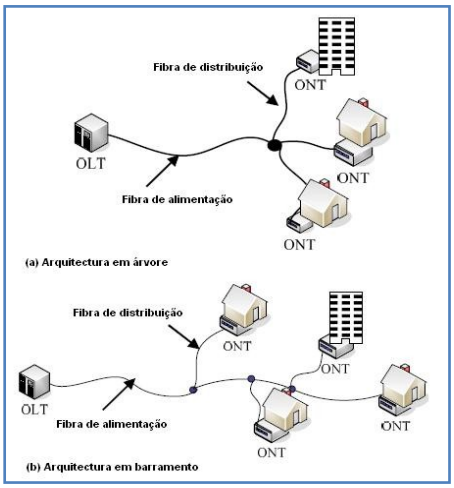


Figura 3.6 - Arquitecturas PON sem segurança: a) em árvore; b) em barramento. [22]

3.6.2 Esquemas com segurança

Os esquemas ilustrados neste capítulo, funcionam como uma protecção, para permitir a continuidade, dos serviços caso haja uma falha num dos cabos de fibra óptica ou nos equipamentos activos, nomeadamente, as cartas OLT. Seguidamente, é possível visualizar alguns exemplos de esquemas com diferentes tipos de segurança:

No exemplo da Figura 3.7, esta configuração apenas duplica as fibras ópticas utilizadas entre o OLT e o repartidor óptico, mantendo os ONUs e os OLTs com uma fibra.

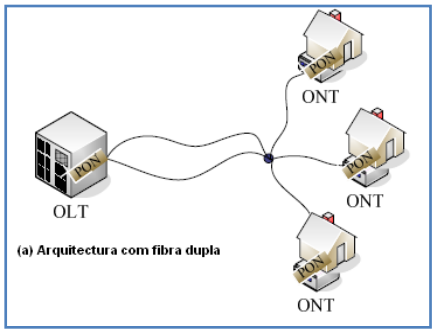


Figura 3.7 - Exemplo com fibra dupla [22]

Na configuração ilustrada na Figura 3.8, são duplicadas as cartas OLTs e a fibra óptica colocada entre os OLTs e o divisor óptico, e o divisor contém duas portas entrada/saída no lado do OLT. Esta configuração permite reduzir o custo em duplicar os ONUs, no entanto, apenas o lado onde estão os OLTs é que existe possibilidade de recuperação.

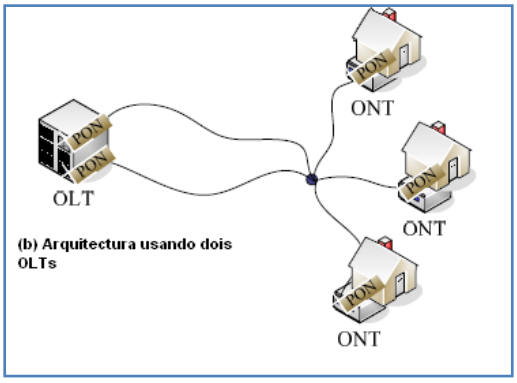


Figura 3.8 - Exemplo com fibra dupla e duas cartas OLT [22]

Na configuração em anel (Figura 3.9), pode-se obter redundância interligando os vários divisores ópticos fechados num anel. No caso de acontecer uma falha, poderá ser comutado para uma fibra redundante, caso seja utilizado um anel duplo ou então, para uma fibra só utilizar eventualmente outro sentido de rotação de propagação da luz no anel.

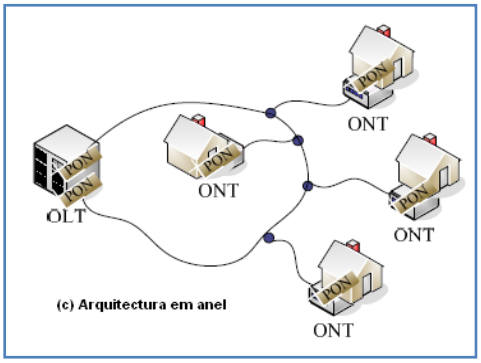


Figura 3.9 - Arquitectura em anel [22]

O último exemplo (Figura 3.10) consiste numa configuração *full duplex* que existe uma duplicação tanto do lado da infra-estrutura dos OLTs mas também do lado dos ONUs. Nesta configuração, na recuperação de uma falha, é possível em qualquer ponto, através de

comutação para os equipamentos que estão em espera. Esta solução apresenta um custo de implementação mais elevado mas permite uma garantia de maior protecção em caso de falha.

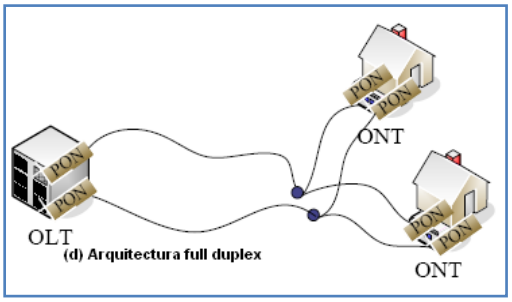


Figura 3.10 - Arquitectura PON *full duplex* [22]

3.7 Arquitectura escolhida

Após terem sido estudados e considerados todos os esquemas anteriores, escolheu-se o esquema da Figura 3.7, que consistia na interligação entre o OLT e o repartidor óptico utilizando duas fibras ópticas por cada PON. As razões que levaram a optar este esquema foram que seria necessária uma quantidade menor de equipamentos activos em relação as outras arquitecturas apresentadas. Outro motivo é obter-se uma cópia da rede de alimentação, sendo colocado um repartidor óptico 2:1 antes do repartidor 1:64, que iria comutar para a outra fibra, caso um dos caminhos ópticos falhasse. Nesse caso seria colocada uma fibra de reserva entre o repartidor óptico e o ONT.

Em relação ao tipo de configuração, serão utilizadas ambas as arquitecturas aéreas e subterrâneas, dependendo muito da área escolhida. Nas áreas mais urbanas, serão consideradas as arquitecturas subterrâneas pois, já têm construído valas e condutas. No entanto, para um meio mais rural, no caso da cidade do Funchal, as zonas mais altas, será utilizado uma arquitectura aérea utilizando já muitos dos postes instalados.

Nas arquitecturas verticais, ou seja, dentro dos edifícios, apenas se abordaram possíveis soluções para futura implementação, pois apenas foi considerado a definição da arquitectura da rede passiva até ao ponto de distribuição óptico, o edifício.

3.8 Conclusão

Neste capítulo ficou-se a conhecer os vários tipos de arquitecturas utilizados numa rede passiva óptica, as várias alternativas de esquemas permitindo efectuar uma melhor decisão.

Concluiu-se que a arquitectura ponto-a-multiponto, é a melhor solução do que a ponto-a-ponto, pois utiliza uma menor quantidade de cabos de fibra óptica implicando uma menor utilização do espaço das condutas e valas reflectindo-se num investimento menor.

4. Planeamento

Neste capítulo pretende-se dar a conhecer as ferramentas utilizadas e o procedimento seguido para efectuar o planeamento. São apresentadas as ferramentas que foram utilizadas; o ArcView 8.3, o e-SIT uma ferramenta pertencente a EMACOM, o AutoCad 2009 onde foi desenhado o cadastro da rede, e também o Excel como complemento a informação colocada no cadastro da rede. No procedimento, é indicado a área escolhida, o método utilizado para o levantamento da informação para a interligação dos PTs e os clientes, os esquemas de interligação, os sinópticos/cadastros da rede de alimentação e distribuição, as quantidades de fibra óptica utilizada e uma lista de material passivo com todos os elementos e acessórios que seriam utilizados para a sua implementação.

4.1 Ferramentas Utilizadas

4.1.1 ArcGIS

A definição da arquitectura da rede passiva no mapa foi efectuada com a aplicação ArcMap do ArcGIS como já tinha sido mencionado anteriormente. Embora tenha uma interface gráfica pouco intuitiva, esta ferramenta complexa tornou-se mais compreensível após um contacto mais prolongado.

O ArcGIS, produzido pela ESRI, consiste basicamente num grupo de programas ou aplicações informáticas, que implementam um sistema de informação geográfica. Neste estão incluídos:

- O ArcReader, que permite ver os mapas criados com os outros produtos Arc;
- O ArcView, implica a visualização de dados espaciais, criação de mapas e desempenho básico de análise espacial contém o ArcMap, o ArcCatalog e o ArcToolbox;
- O ArcEditor, que inclui toda a funcionalidade do ArcView, inclui ferramentas mais avançadas para manipulação de *shapefiles* e *geodatabases*, e;
- O ArcInfo, a versão mais avançada do ArcGIS, que inclui potencialidades adicionadas para a manipulação de dados, edição e análise.

De forma muito superficial, o ArcMap é uma aplicação que consiste numa camada principal, na qual foi utilizada uma carta militar da Madeira de forma a permitir a criação e adição de camadas sobre esta. Deste modo, pode-se optar depois pela camada que se pretende editar ou visualizar, como por exemplo, relacionado com o âmbito do trabalho, um trajecto de fibra, ou mesmo, assinalar um ponto de energia. Ao editar uma camada existe depois a possibilidade de criar ficheiros com diferentes tipos de conteúdos. Pode-se ter ficheiros com tipo de informação:

- Pontos - que assinalam localizações como por exemplo habitações;
- Linha - que permite assinalar um trajecto entre dois pontos, sendo possível obter a sua distância entre outras medições.

Para tal, foram utilizadas camadas ou *layers* já definidas para a rede de distribuição de energia de baixa tensão, permitindo a visualização de toda a infra-estrutura constituída, pelas condutas, valas e pela rede aérea (através da localização dos postes de energia). Esta camada teve que ser solicitada a Direcção de Estudos e Planeamento da EEM.

4.1.2 O e-SIT

O e-SIT é uma aplicação pertencente a EEM na qual utiliza uma interface Web e permite visualizar de duas formas: uma muito generalizada e limitada e a outra com mais opções e dados confidenciais que apenas pode ser acedido pela rede da EEM. No entanto, existe uma versão disponível da aplicação na Internet está acessível através da hiperligação:

https://eemnet.eem.pt/sitweb/html/index_cl.html?marcar_ponto=true&cod_concelho=

Nesta página (Figura 4.1) pode-se visualizar alguns componentes da rede de distribuição de baixa tensão, como os postos de transformação (PT), a localização de armários, os ramais, os apoios dos ramais e também a rede de iluminação pública (IP).

No campo das pesquisas é possível pesquisar através de métodos diferentes:

- Localidade;
- Freguesia;
- Código postal;
- Rua;

Ou então considerando as outras opções por distrito, concelho, nome.

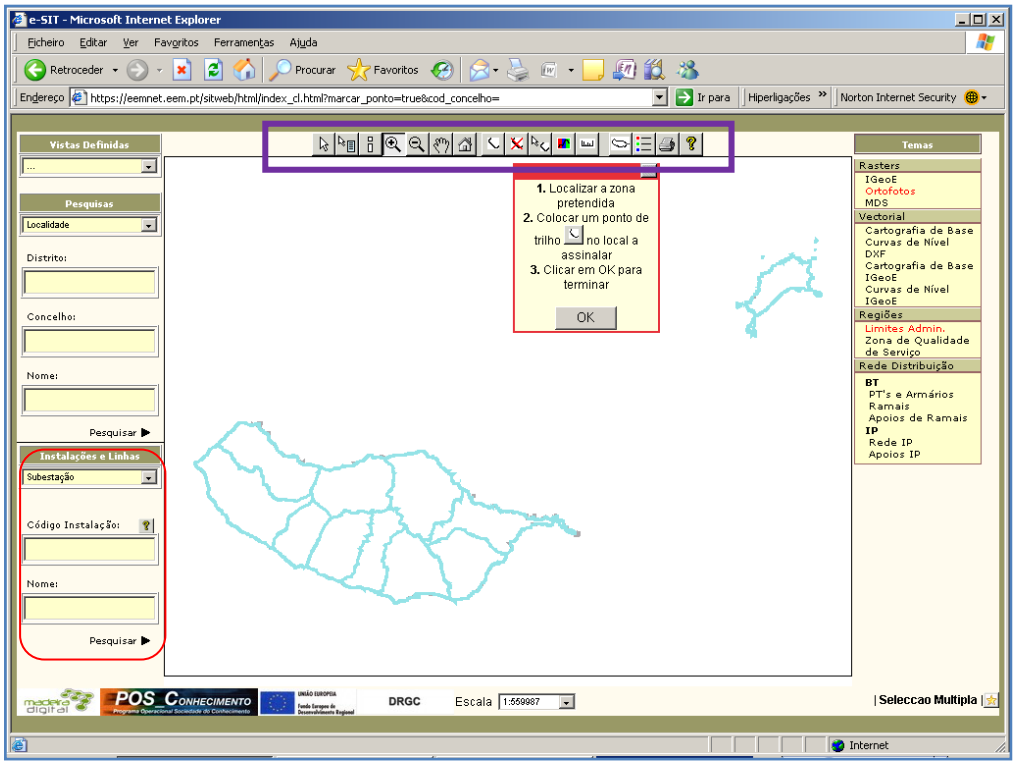


Figura 4.1- Interface da aplicação e-SIT

No campo das Instalações e Linhas, assinalado na Figura 4.1, pode-se pesquisar uma localização de uma infra-estrutura, como por exemplo, uma Subestação, um ponto de energia eléctrica, um posto de transformação, entre outros. Na barra de ferramentas superior, representada na Figura 4.1 pelo rectângulo roxo, começando da esquerda para a direita, temos as opções básicas para nos movimentar no mapa (Figura 4.2).

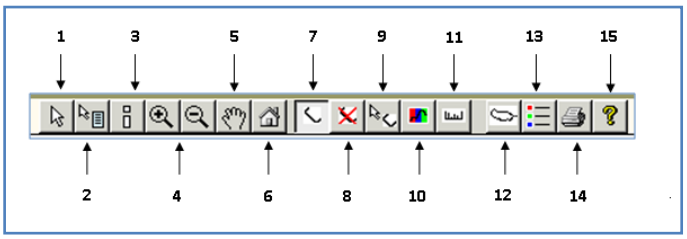


Figura 4.2 - Barra de ferramentas do e-SIT

Temos a possibilidade efectuar as seguintes acções, de acordo com a legenda:

1 - Seleccionar;
2 - Mostrar objectos de um ponto;
3 - Obter a informação geral de um ponto no mapa;
4 - Efectuar o zoom;
5 - Deslocar;
6 - Voltar a vista inicial;
7 - Desenhar um trilho;
8 - Limpar um trilho;
9 - Visualizar o trilho do objecto seleccionado;
10 - Efectuar um cálculo do perfil;
11 - Calcular área do trilho;
12 - *Overview;*
13 - Legenda;
14 - Imprimir mapa;
15 - Ajuda.

A título de exemplo, considerou-se pesquisar o nome de uma rua do Funchal, como se pode ver na Figura 4.3. No campo Rua colocou-se R Dr Pita (morada formatada) e obteve-se o seguinte resultado da pesquisa.

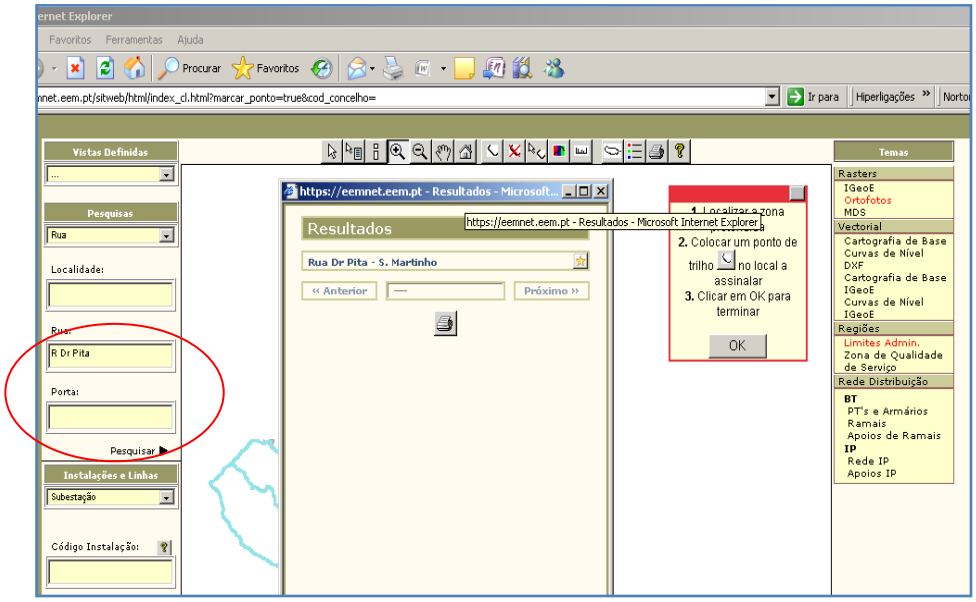


Figura 4.3 - Pesquisa de uma rua no e-SIT

Ao clicar-se no campo onde está colocado a morada obteve-se uma imagem da mesma ficando esta assinalada de forma visível a azul-bebé, como se pode verificar na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Resultado da pesquisa da R. Dr Pita

4.1.3 AutoCad 2009 LT

A utilização do AutoCad 2009 surgiu de uma forma não programada inicialmente. Verificaram-se várias ferramentas já utilizadas, o Microsoft Visio2007, o Edraw, mas nenhuma delas tinham os requisitos necessários, pois iria surgir sempre o problema em termos de dimensões da área de trabalho limitado apenas a uma folha A4, sendo este problema já observado quando fora feito o esquema unifilar.

O AutoCad sendo uma ferramenta muito utilizada por arquitectos, engenheiros civis, de telecomunicações permite o desenho dos equipamentos ópticos e a importação para algumas aplicações do documento CAD. Por outro lado, após se ter tido contacto com o ArcView, o AutoCad tornou-se uma ferramenta acessível logo nos primeiros dias.

A grande vantagem de utilizar o AutoCad, no desenho dos sinópticos da rede de alimentação e de distribuição, é a sua área de trabalho de dimensão infinita, e por outro lado consegue-se manipular todos os esquemas num único ficheiro, em vez que se ter uma pasta com cerca de vinte ficheiros. Ao longo da sua utilização, descobriu-se uma opção que iria ser necessária para o balanço de potência, podendo-se colocar juntamente com o desenho as tabelas com informação e cálculos do balanço de potência, obtendo-se assim um esquema mais completo e elucidativo.

A única desvantagem do AutoCad é ser uma ferramenta estática, no caso de se errar numa numeração, por exemplo, no caso dos pontos de distribuição ópticos (PDO) ter-se ia que rectificar tudo novamente desde o ponto onde se errou. No entanto, o seu uso foi muito

benéfico para este trabalho, obtendo-se os sinópticos com qualidade elevada e muito perceptível.

4.2 Procedimento

4.2.1 Área escolhida

A área pretendida para o caso de estudo, tendo em conta o crescimento habitacional e aproveitando o facto da construção de prédios novos, foi a freguesia de São Martinho onde se delineou os limites ilustrados na Figura 4.5 obtida da aplicação Google Earth: a Oeste o vale da Praia Formosa; a Norte o Caminho de São Martinho e a Este o Caminho dos Barreiros.

Figura 4.5 - Área seleccionada para o projecto

4.2.2 Metodologia para a contagem de habitações e postos de transformação

Nesta parte, para se ter uma estimativa da quantidade de habitações na área pretendida, foi necessário solicitar uma lista ao Departamento de Estudos e Planeamento da EEM, constituída pelos utilizadores que têm um contador de energia na sua residência. Desta forma ao se considerar um contador por residência, logo ir-se-ia obter o número de possíveis utilizadores na área escolhida.

Após a obtenção da lista de clientes numa tabela Excel com cerca de 15000 linhas, foi necessário filtrar primeiro por utilização doméstica. Uma vez que o projecto destinou-se exclusivamente a clientes domésticos, pois sendo a tecnologia em estudo o FTTH, eliminou-se os restantes campos desnecessários tais como iluminação pública, como restauração, empresas para simplificar a agregação da informação pretendida. Depois agrupou-se no caso dos prédios, todos os residentes do mesmo apenas num grupo com a quantidade de habitações no referido prédio de forma a facilitar ao agrupamento obtendo-se uma tabela conforme ilustrado na Figura 4.6.

	A	B	C	D	E	F
1522	300108901	R do Engenho Velho, 45, Urb. Engenho Velho, Bl 7 1 DM	F-SM-551	12		
1523	300111058	R do Engenho Velho, 53, Urb Eng Velho, Bl 8 1 EB	F-SM-551	12		2x1:64
1524	300111060	R do Engenho Velho, 9, Urb Eng Velho, Bl 10 1 FJ	F-SM-551	12	79	
1525	300111059	R do Engenho Velho, 3, Urb Eng Velho, Bl 9 1 EP	F-SM-551	19		
1526	300108900	R do Engenho Velho, 37, Urb. Engenho Velho, Bl 6 1 CL	F-SM-551	24		
1527	300016740	Bc Rocha, 22	F-SM-553	1		
1528	300016755	Bc Rocha, 14	F-SM-553	1		
1529	300016750	Bc Rocha, 18	F-SM-553	1		
1530	300016745	Bc Rocha, 20	F-SM-553	1		
1531	300016730	Bc Rocha, Casa 1a E	F-SM-553	1		
1532	300016735	Cam Amparo, 100 Gar	F-SM-553	1		
1533	300016715	Cam Amparo, 108	F-SM-553	1		
1534	300016720	Cam Amparo, 108	F-SM-553	1		
1535	300016701	Cam Amparo, 112	F-SM-553	1		
1536	300016705	Cam Amparo, 114	F-SM-553	1		
1537	300016635	Cam Amparo, 132	F-SM-553	1		
1538	300016725	Cam Amparo, 145	F-SM-553	1		
1539	300016710	Cam Amparo, 153	F-SM-553	1		
1540	300016666	Cam Amparo, 167	F-SM-553	1		
1541	300016661	Cam Amparo, 169	F-SM-553	1		
1542	300016655	Cam Amparo, 175	F-SM-553	1		
1543	300016650	Cam Amparo, 179	F-SM-553	1		
1544	300016640	Cam Amparo, 191	F-SM-553	1		
1545	300016625	Cam Amparo, 201	F-SM-553	1		
1546	300016620	Cam Amparo, 207	F-SM-553	1	286	
1547	300016767	Cam Amparo, 96	F-SM-553	1		5x1:64
1548	300016758	Cam Amparo, 98	F-SM-553	1		

Folha3 Folha4

Pronto

Figura 4.6 – Tabela com a quantidade dos pontos de energia

Na tabela da Figura 4.6, na sua versão final, após uma longa e extensa filtragem, obteve-se a tabela com os seguintes campos: o código ramal, que permitia facilmente chegar à localização da habitação em questão através do e-SIT; a morada da habitação; o PT que inicialmente estaria associado; a quantidade de habitações para o caso de obtendo-se depois a quantidade de residências associadas ao PT.

De seguida requisitou-se um mapa com a rede de baixa tensão 6,6KV em AutoCad impresso numa folha A0, tal como sugere a ilustração da Figura 4.7, com a seguinte informação:

- Os pontos de energia;
- As valas;
- A rede área, e;
- As condutas.

No mapa (Figura 4.7) assinalou-se, a localização dos postos de transformação (PT) na freguesia de São Martinho e também a quantidade que habitações de estaria associado a cada um deles. Com esta informação, criou-se uma tabela com o número de clientes por PT. Tendo como exemplo na morada Est. Monumental 300, Apt. Vila Virgínia, contém 12 apartamentos situados próximo do PT 065.

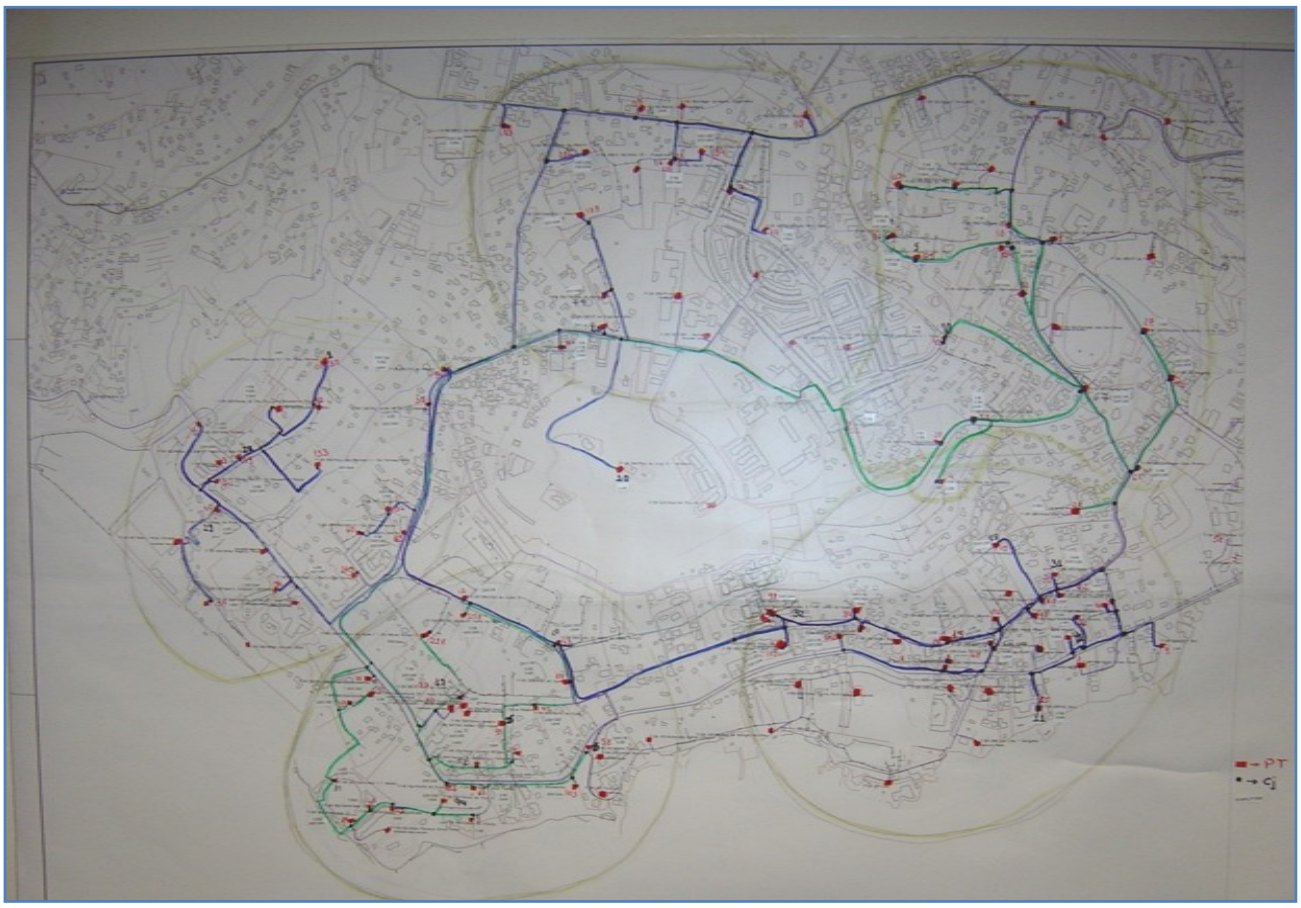


Figura 4.7 - Esboço no mapa A0

Na Figura 4.7 é possível visualizar o esboço inicial, no papel utilizado, como guia antes de passar a informação para o ArcView. Os objectos assinalados a vermelho são os PTs e a interligação entre os mesmos com fibra óptica tendo como ponto de partida a Subestação do Amparo. A área foi dividida, inicialmente, em 5 zonas, mas depois achou-se por certo dividir em apenas 3 zonas para simplificar a distribuição dos clientes e dos PTs em PONs diferentes. No entanto, também temos a representação dos repartidores ópticos de potência e a quantidade de clientes associados a cada PT, mas só é possível verificar com alguma ampliação do mapa. Visto apenas tratar-se de um esboço efectuou-se algumas alterações para o seu melhoramento que se poderá confirmar mais à frente. As alterações foram depois no sentido de agrupar e ajustar a quantidade de utilizadores finais a cada PT, onde por vezes, devido a erros de na filtragem, se teve que fazer correcções quando se passou para o formato digital no ArcView.

4.2.3 Interligação dos PTs e os clientes.

A interligação dos vários PTs foi efectuada para cobrir a área pretendida da melhor forma possível, de modo a que seja utilizada a menor quantidade de fibra possível. Tendo como ponto de referência a Subestação do Amparo, onde ficaria o CO com os equipamentos activos, iniciou-se, numa primeira abordagem, a distribuição dos vários cabos da fibra óptica representado pelas linhas de diferentes cores passando pelos vários PTs, conforme a Figura

4.7. No entanto, foram feitas algumas alterações como se pode ver comparando as Figuras 4.7 e 4.8.

Depois do esboço em papel, no ArcView, efectuou-se em formato digital como se pode exemplificar na Figura 4.8. Como se pode verificar, existem 3 cores diferentes, ou seja, cada cor refere-se a uma área de forma a facilitar o trabalho e não trabalhar como um todo. Os pontos assinalados a preto são dos PTs, modificados apenas, para serem visíveis na imagem. Assinalou-se a amarelo a SE do Amparo sendo o ponto de referência e onde seria colocado todo o equipamento activo.

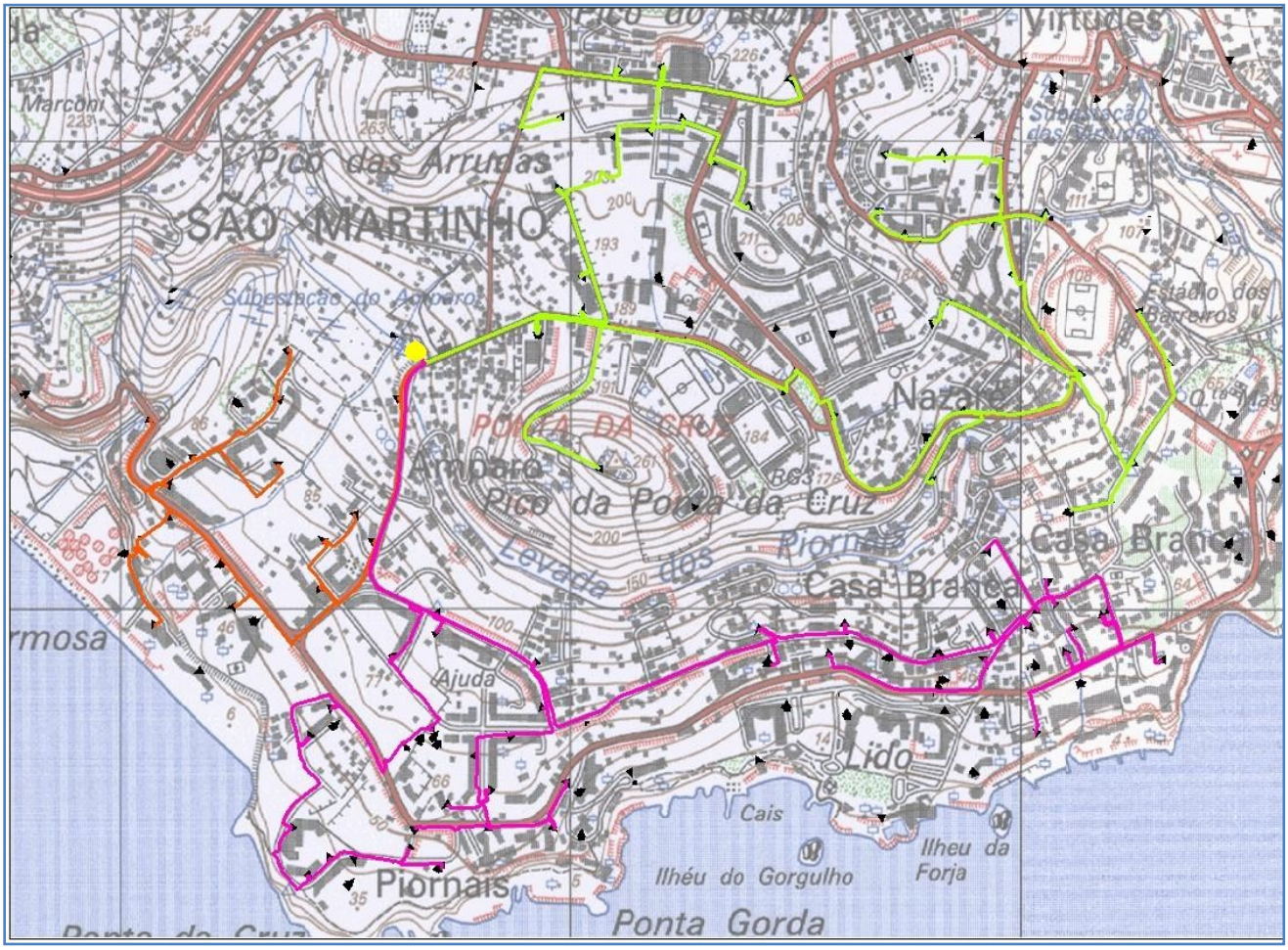


Figura 4.8 - Interligação da fibra entre Subestação do Amparo até os vários PTs

Nos postos de transformação assinalados a preto na Figura 4.8 será onde se pretende instalar os repartidores ópticos de potência, podendo-se assim efectuar a sua colocação de forma mais estratégica para cobrir a maior quantidade de clientes com apenas um divisor de potência o que implica uma menor quantidade de divisores e um custo menor no investimento inicial.

Os pontos de distribuição óptico (PDO), ou também referenciados como clientes finais, foram seleccionados com um ponto verde, para filtrar apenas as habitações pretendidas

podendo excluir edifícios que não interessam, abandonados, e também as valas e condutas numa camada. Com isto é possível apenas seleccionar os pontos através do *ArcView,* de acordo com a Figura 4.9.

Figura 4.9 - Selecção dos pontos de energia

4.2.4 Esquemas de interligação dos PTs.

Na Figura 4.8 tem-se a interligação desde a subestação do Amparo até os vários PTs de forma a cobrir toda a área pretendida. Para uma melhor compreensão da Figura 4.9 efectuou-se, inicialmente, esquemas unifilares do trajecto que a fibra faz ao longo de todo o percurso, sendo um deles ilustrados posteriormente, num total de três esquemas. No entanto, tendo como base os esquemas unifilares, elaborou-se, numa segunda fase, um cadastro muito mais detalhado, quer da rede de alimentação como da rede distribuição. Colocou-se a quantidade de divisores ópticos que iria ficar em cada um dos PTs, de modo a permitir o cálculo da quantidade de cabos necessários para cada zona, tanto para o cabo que vai alimentar os vários PTs, como para o cabo de distribuição que sai do PT até o cliente final.

Depois de feitos os passos anteriores faltava ainda elaborar a interligação entre os PTs e as habitações dos clientes. Para tal, considerou-se o pior caso possível, que é uma fibra por utilizador, que sai desde o PT no cabo de distribuição (onde está colocado o divisor de potência) até a habitação do utilizador. A fibra será colocada paralelamente com a rede de distribuição de energia e para isso utilizou-se a mesma como base através da camada requisitada, para chegar até as habitações quer seja por postes, por vala ou conduta.

Teve-se o cuidado de evitar a maior quantidade possível de obras, abrir valas a não ser que não haja alternativa, pois é ai onde o investimento torna-se cada vez mais elevado devido

ao seu custo, do que por exemplo passar um cabo de fibra com uma distância maior percorrendo um trajecto mais distante do que efectuar uma vala apenas para o mesmo serviço.

A Figura 4.10 pretende ilustrar o resultado final de forma mais ampliada, escolhendo uma zona aleatória, da rede de distribuição. Neste, pode-se visualizar todo este processo, desde o CO até ao PDO, tendo como fonte inicial a Subestação do Amparo e a interligação dos clientes na área à sua volta através de fibra óptica colocada num cabo de distribuição assinalado a vermelho que sai de cada um dos divisores de potência.

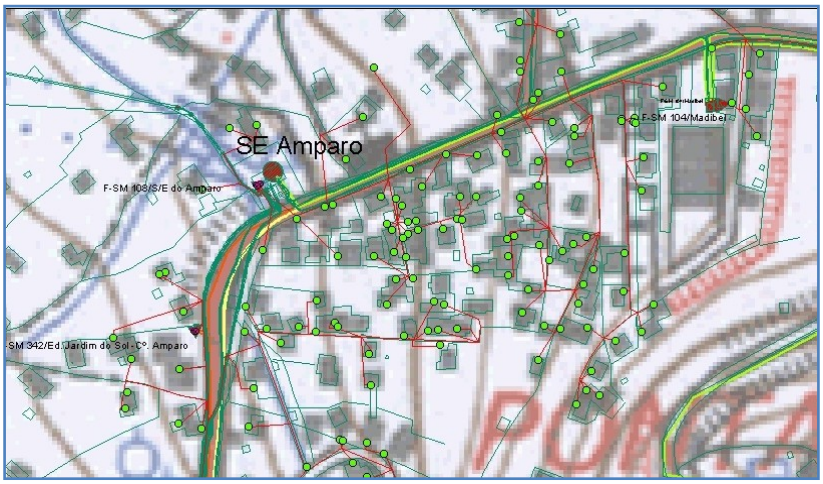


Figura 4.10 – Interligação dos repartidores ópticos de potência até o utilizador

Na Figura 4.11 temos um exemplo do esquema obtido. Este contém a referência dos vários PTs e da quantidade de divisores ópticos da parte assinalada no mapa da Figura 4.8 a laranja corresponde a zona da Praia Formosa.

4.2.5 Quantidades de fibra óptica e divisores de potência estimadas.

Com a conclusão da interligação entre o ponto inicial e o ponto final, houve a necessidade de contabilizar a quantidade de pontos de energia assinalados, a quantidade de fibra óptica estimada e a quantidade de divisores de potência. Isto foi possível com a ajuda do Arcview que por defeito cria uma tabela de atributos, na qual se pode adicionar campos para o caso de colocação ou até mesmo cálculo de informações tais como a distância de cada trajecto.

Os pontos de energia, ou mais especificamente pontos de distribuição óptica, contabilizados com a ajuda da aplicação foram cerca de 1600, pois considerou-se, de acordo com a Figura 4.9, cada ponto assinalado a verde como uma habitação, ou um grupo de habitações no caso dos prédios.

A quantidade de fibra obteve-se através do algoritmo de cálculo da aplicação ArcMap disponibilizado na ajuda, implementado de acordo com uma fórmula em *Visual Basic* e que executa o cálculo enviando para uma tabela de Excel, dispensando a medição individual de cada um dos trajectos conforme ilustrado na Figura 4.12.

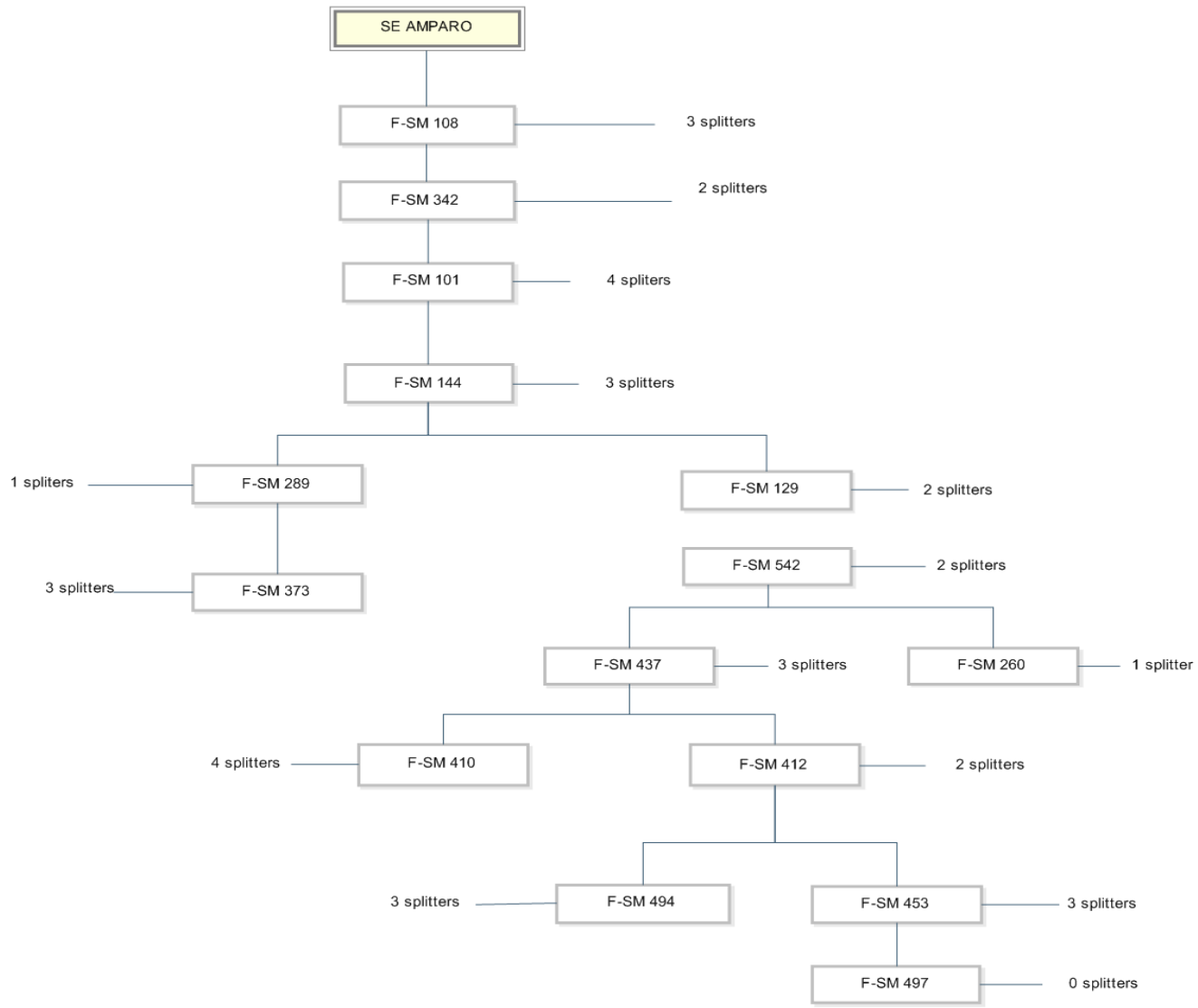


Figura 4.11- Esquema unifilar dos vários PT e da fibra

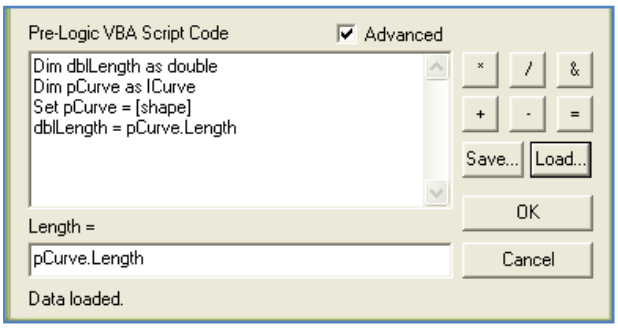


Figura 4.12 – Formula em Visual Basic para o cálculo da distância

Efectuou-se o cálculo com os valores obtidos e outro cálculo paralelo dando uma margem de 30 metros a cada trajecto. Obteve-se um valor com cerca de 71 km de fibra sem margem e considerando a mesma o valor obtido subiu quase para o dobro cerca de 120 km de fibra óptica.

A quantidade dos repartidores ópticos de potência foi estimada em cerca de 128 elementos de forma a cobrir todas as habitações. No entanto, como já tinha sido antes referido com um divisor de potência de 1:64 estaria apenas para cobrir 54 habitações como função de flexibilidade e escalabilidade da rede admitiu se até uma margem de 139 divisores de potência.

4.2.6 Esquema da rede GPON no *Arcview*

De seguida pretende-se, mostrar o produto final, elaborado seguindo os passos anteriores. O esquema obtido, na Figura 4.13, representa toda a rede GPON na área escolhida. Como podemos visualizar temos as três diferentes redes de alimentação estando cada uma delas representado pelas cores: verde fluorescente, amarelo e laranja. A Figura 4.13, tendo alguma dimensão, também estará colocada no anexo A em formato A4, já contendo a carta militar. Os pontos de distribuição óptica, representados como pontos, contêm cores diferentes, sendo que cada cor corresponde a um grupo de PDO associados a um determinado repartidor óptico.

Como já tinha sido referenciado anteriormente, o esquema é constituído por várias camadas e cada camada contém uma tabela com os seus atributos, identificando cada elemento. Se formos a reunir todas as tabelas, vamos ter uma base de dados com toda a informação reunida, e acessível no *Arcview*. De todas as camadas a que contém mais informação é a tabela da camada dos PEE, sendo esta a mais completa.

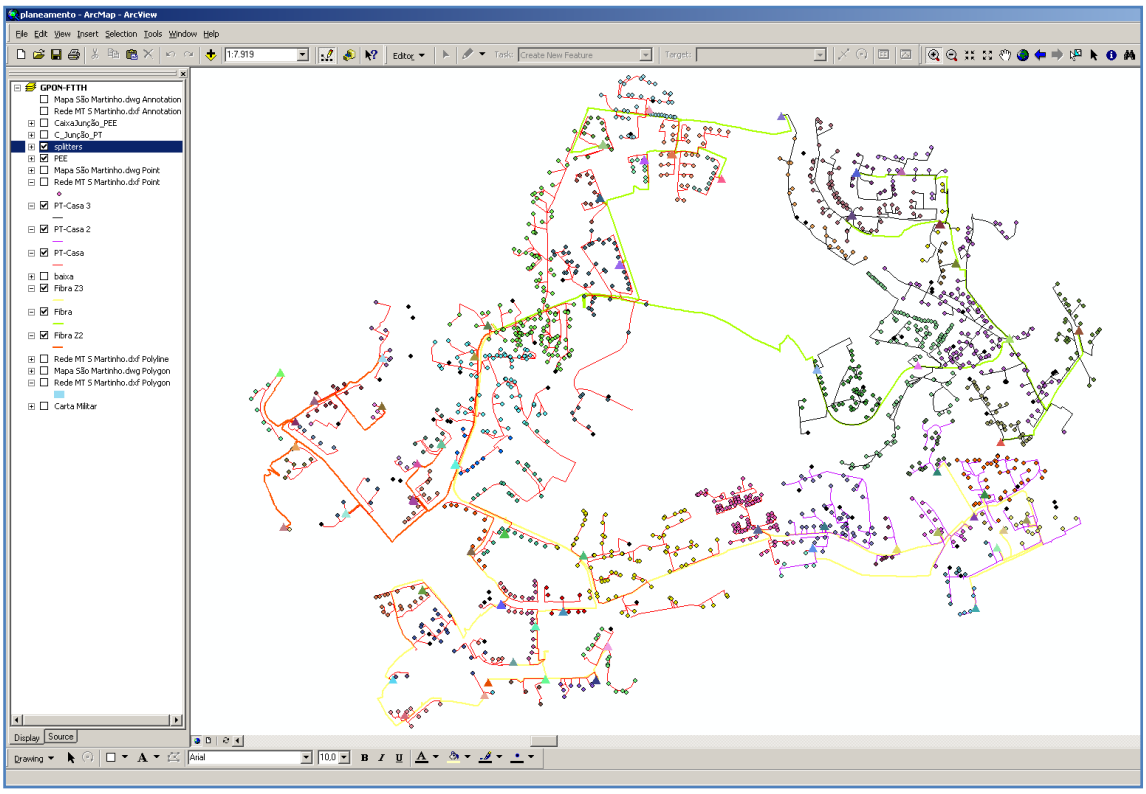


Figura 4.13 - Esquema completo da rede GPON no ArcView

Na Figura 4.14, temos a tabela referida, com vários campos, sendo toda a informação colocada manualmente na tabela. Como se pode visualizar, a tabela é constituída pelos seguintes campos: Shape, FID, Id, Cod_Ramal, Morada, PT_Associa, N_Hab e Ref_PEE. O campo Shape indica a forma do elemento que é representado na camada, caso por pontos. O Id sendo este alterado para os pontos a serem visualizados de acordo com o repartidor óptico associado. O código do ramal e morada, são dados referentes ao PDO. O PT_Associa indica a que PDO esta associado e o N_Hab indicando a quantidade de PDOs. No campo Ref_PEE, é criado uma referência de cada PDO que será representado no cadastro da rede de distribuição. Por exemplo, PDO551/7 é intuitivo, sendo o sétimo PDO associado ao repartidor 551.

Attributes of PEE

Shape*	FID	Id	Cod_Ramal	Morada	PT_Associa	N_Hab	Ref_PEE
Point	0	551	300108901	R do Engenho Velho, 45, Urb. Engenho Velho, Bl 7 1 D	F-SM 551	12	PDO551/38
Point	1	551	300108900	R do Engenho Velho, 37, Urb. Engenho Velho, Bl 6 1 CL	F-SM 551	24	PDO551/37
Point	2	488	300000107	Av D. Teodoro de Faria 4, CH Coopereme BL 7	F-SM 488	19	PDO488/3
Point	3	488	300000106	Trv Arq Chorao Ramalho 4, CH Coopereme BL 6	F-SM 488	13	PDO488/8
Point	4	488	300000105	Trv Arq Chorao Ramalho 4, CH Coopereme BL 5	F-SM 488	14	PDO488/7
Point	5	488	300000104	Av D. Teodoro de Faria 4, CH Coopereme BL 4	F-SM 488	13	PDO488/2
Point	6	488	300000103	Trv Arq Chorao Ramalho 4, CH Coopereme BL 3	F-SM 488	13	PDO488/6
Point	7	488	300000108	Av D. Teodoro de Faria 4, CH Coopereme BL 8	F-SM 488	14	PDO488/4
Point	8	488	300000109	Trv Arq Chorao Ramalho 4, CH Coopereme BL 9	F-SM 488	15	PDO488/9
Point	9	488	300000102	Av D. Teodoro de Faria 4, CH Coopereme BL 2	F-SM 488	14	PDO488/1
Point	10	488	300000101	Trv Arq Chorao Ramalho 4, CH Coopereme BL 1	F-SM 488	13	PDO488/5
Point	11	553	300105472	Cam Amparo, Ed Várzea Park, Bl A3 Norte 0 BC	F-SM 553	25	PDO553/01
Point	12	553	300105468	Cam Amparo, Ed. Várzea Park, Bl A1 Sul 0 AX	F-SM 553	25	PDO553/11
Point	13	553	300105463	Cam Amparo, Ed Várzea Park, Bl A0 0 AV	F-SM 553	14	PDO553/09
Point	14	553	300105484	Cam Amparo, Ed Várzea Park, Bl A5-A6 0 BH	F-SM 553	36	PDO553/05
Point	15	553	300105485	Cam Amparo, Ed Várzea Park, Bl A5-A6 -	F-SM 553	21	PDO553/04
Point	16	553	300105475	Cam Amparo, Ed Várzea Park, B4 Norte 0 JE	F-SM 553	13	PDO553/08
Point	17	553	300105482	Cam Amparo, Ed Várzea Park, Bl A3 Sul 0 BD	F-SM 553	15	PDO553/02
Point	18	553	300105473	Cam Amparo, Ed. Várzea Park, Bl A4 0 BF	F-SM 553	15	PDO553/03
Point	19	341	300103611	Cam Sao Martinho, 14 I	F-SM 341	1	PDO341/10

Figura 4.14 - Tabela de atributos da camada PEE

4.3 Cadastro da rede

Nesta segunda fase, com o objectivo de pormenorizar o cadastro da rede uma vez que apenas tinha sido efectuado um esquema unifilar da rede de alimentação, onde apenas tínhamos a informação do trajecto, ou seja a passagem da fibra PT a PT, efectuado pelo cabo de fibra óptica e a quantidade de repartidores ópticos de potência em cada um dos PTs.

No sinóptico da rede de alimentação, pretende-se representar a informação mais detalhada desde a quantidade de fibras ópticas do cabo até ao número da fibra do cabo, tendo sido criada uma referência que rapidamente se obtém a informação sobre o cabo.

No sinóptico da rede de alimentação pretende-se dar a conhecer a rede a partir do PT até ao ponto de distribuição óptico, ou seja a habitação. Para efeitos de cálculo, que mais tarde seriam necessários para criar uma lista de material, criou-se várias tabelas com toda a informação contida em ambos os sinópticos, sendo assim uma forma mais rápida de obter a informação.

4.3.1 Sinóptico da rede de alimentação

No sinóptico elaborado contendo a informação da rede de alimentação, foi escolhida uma das três zonas desenhadas na Figura 4.15, em concreto foi escolhida a zona a laranja.

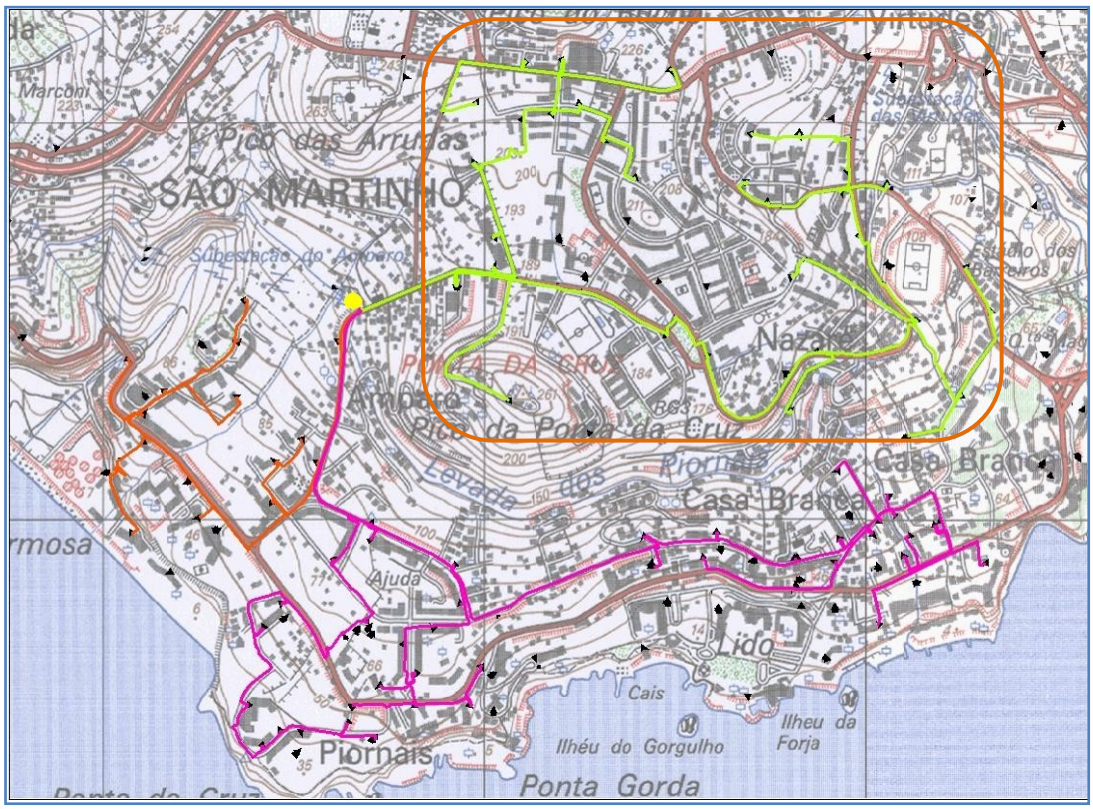


Figura 4.15 - Zona escolhida para a construção do sinóptico

Neste sinóptico, tem-se a informação do trajecto da fibra óptica passando pelos vários PTs, a informação da quantidade de fibras ópticas em cada cabo, por exemplo um cabo de 72,

a distância total do cabo desde o CO até ao PT pretendido e a distância entre os PTs. No cabo de fibra óptica é especificado com uma referência que foi criada para designar os vários cabos, ou seja, o cabo entre cada PT, por exemplo (Figura 4.16):

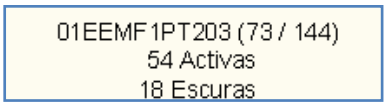


Figura 4.16 - Referência do cabo de alimentação

A referência do cabo de fibra óptica no caso da rede de alimentação consiste em:

01EEM_Fxx_PTyyy
XX activas → nº de fibras utilizadas
YY escuras →nº de fibras de não utilizadas

O 01EEM considerou-se como sendo a rede GPON número um. O campo Fxx, sendo como o número da zona coberta pelo cabo de fibra óptica. E o campo PTyyy indica o PT que está associado, sendo na Figura 4.17 o PT F-SM 203.

Cada quadrado com o contorno a vermelho, caracterizado na Figura 4.17, representa cada um dos PTs para a zona escolhida, donde se pode retirar a seguinte informação: a quantidade de repartidores ópticos de potência, para este exemplo, será de três; devido à arquitectura seleccionada. Assim, consideraram-se duas fibras ópticas por cada repartidor, o que por sua vez totaliza seis fibras ópticas que serão reservadas para o PT 203, sendo estas desde a 139 até a 144 inclusive.

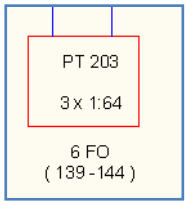


Figura 4.17 - Representação do PT no sinóptico.

Na Figura 4.18, é representada toda a rede de alimentação numa folha A4, devido à sua dimensão, contendo toda a informação de cada um dos PTs, sendo dezanove no total e a informação dos cabos utilizados. Como se pode visualizar, o PT mais distante é o PT 470, com uma distância total de 2835 metros desde o CO até ao PT. Será esta a distância considerada para o balanço de potência e para a simulação de uma ligação GPON.

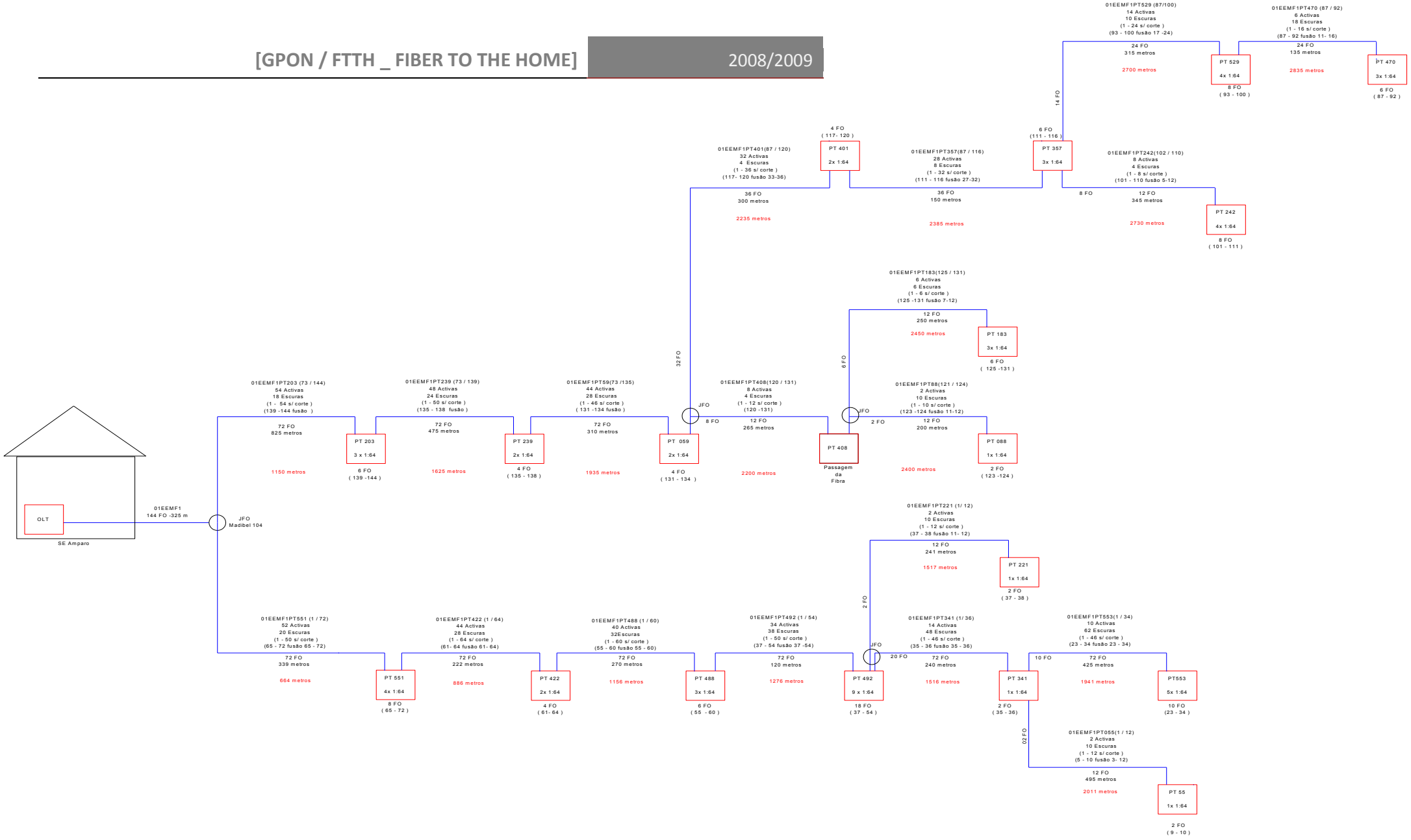


Figura 4.18 - Sinóptico da rede de alimentação

4.3.2 Sinóptico da rede de distribuição

O sinóptico da rede de distribuição, representa a última parte do trajecto de uma rede GPON, onde uma fibra é partilhada por um valor máximo de sessenta e quatro utilizadores. Para o caso de estudo foram realizados dezanove sinópticos da rede de distribuição, sendo cada PT caracterizado individualmente. O PTs a ser considerado foi o PT 470. O primeiro visto ser o que contém a ligação mais longa, sendo escolhido o PDO mais afastado obtendo-se o valor total da distância do cabo de fibra óptica desde o CO até ao PDO.

A sua representação está, essencialmente, dividida em três partes: no próprio PT, no cabo de fibra óptica de distribuição e o PDO.

O PT é constituído por um ODF, onde é feita a terminação do cabo do de alimentação de um lado, sendo feitas as fusões. Do outro lado teríamos as entradas para os conectores, onde seriam ligados os repartidores ópticos todos de 1:64, variando a sua quantidade de repartidores de PT para PT. Por sua vez, também está representado na saída do ODF, duas portas para cada repartidor, no caso de uma fibra falhar a outra poder ser utilizada como caminho de protecção. Os repartidores ópticos, caracterizados por um triângulo, têm como legenda PSx, sendo o x substituído por uma letra, onde a letra inicial é o A seguindo-se em ordem alfabética. Na saída de cada repartidor, é ligado o cabo de fibra óptica, tendo a informação da(s) porta(s) utilizada(s).

O cabo de fibra óptica de distribuição é o segmento de recta entre a saída do repartidor óptico e a entrada do PDO. Tal como já tinha sido feito para o cabo de fibra óptica da rede de alimentação também criou-se uma referência intuitiva e prática, obtendo-se toda a informação do cabo. Na Figura 4.19, é ilustrado um exemplo de uma referência utilizada. E também é indicado a quantidade de fibra óptica do cabo, a distância desde o repartidor até PDO, sendo esta sido medida individualmente no ArcView para cada um dos PDOs para se obter os valores possíveis mais próximos da realidade.

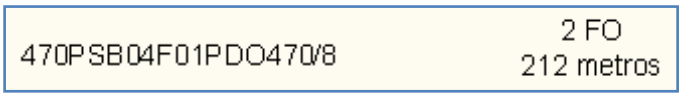


Figura 4.19 - Referência do cabo de distribuição.

A legenda a esta referência é da seguinte forma:

xxxPSyzzFwwPDOxxx/vv

- O símbolo xxx corresponde ao PT associado;
- O y é substituído pela letra maiúscula correspondente ao repartidor, neste caso é o segundo, o B;
- O zz é o número do cabo que sai do repartidor referido;
- O ww é o número de habitações/clientes no PDO associado;
- O vv é o número do PDO no caso da Figura 4.20 é o oitavo.

O PDO é ilustrado na Figura 4.20 com o seguinte símbolo. Nele, apenas é indicado o número de habitações que representa, o PT que está associado tal como descrito na tabela dos atributos do ArcView.

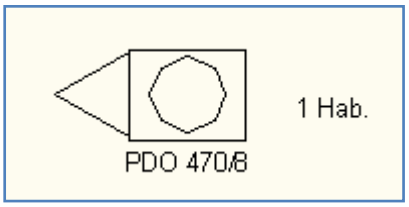


Figura 4.20 - Representação do PDO470/8

Na Figura 4.21, obtemos o esquema completo. Nele está representado todos os componentes acima referidos, obtendo-se assim o sinóptico da rede de distribuição para o PT470.

Em ambos os sinópticos algo que foi acordado, é que sempre que um PDO tivesse uma quantidade de residências próximo do valor da capacidade máxima de fibras ópticas do cabo que alimenta o prédio, seria sempre colocado um cabo de capacidade superior. Por exemplo, se o PDO401/1 é um prédio com dez apartamentos em que seria alimentado por um cabo de 12 fibras ópticas, considerou-se um cabo de 24 fibras ópticas

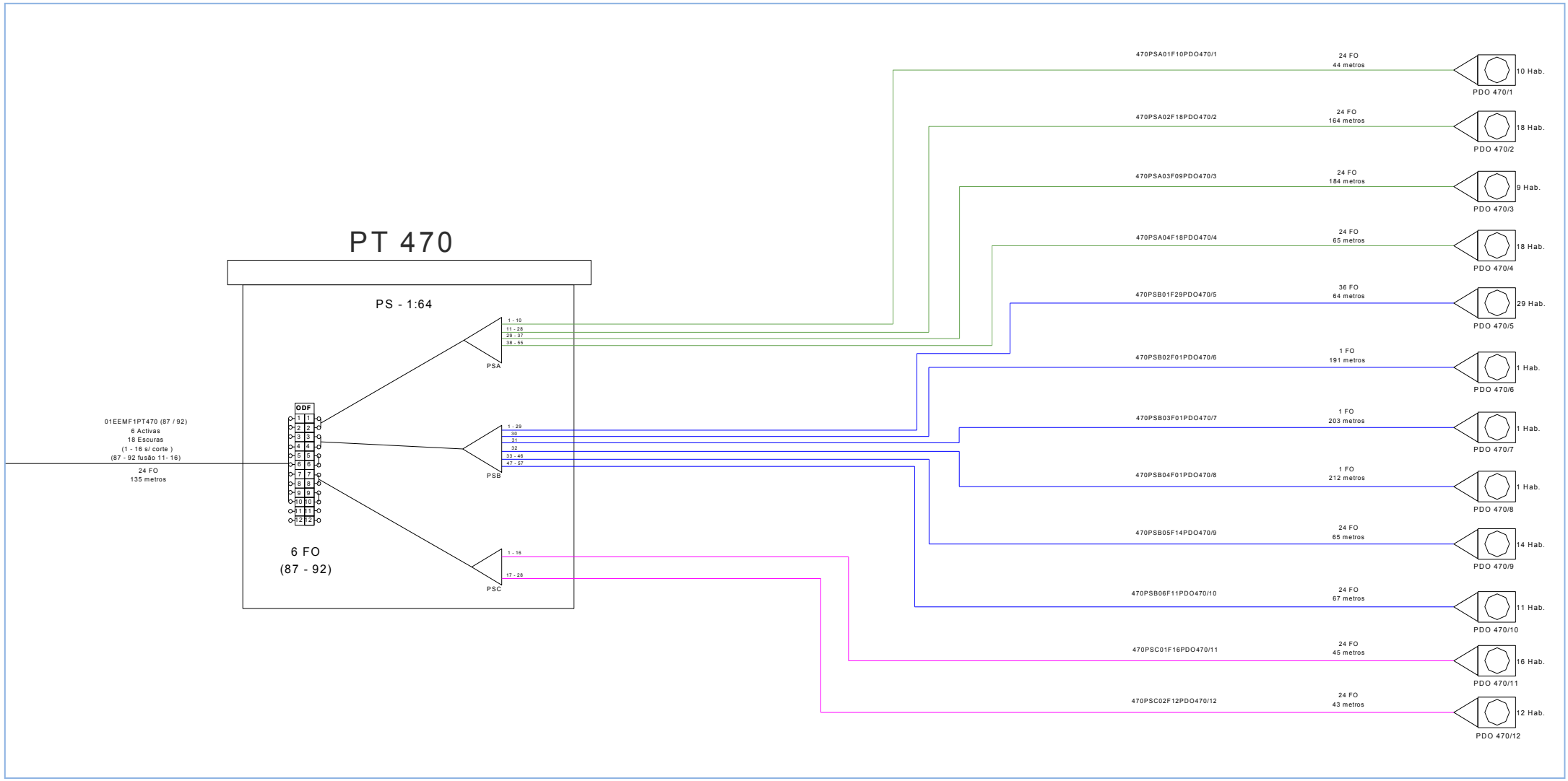


Figura 4.21 - Sinóptico da rede de distribuição

4.3.3 Tabelas com a informação do cadastro.

Uma vez terminados os sinópticos era fundamental recolher toda a informação, de modo que, quando fosse necessário pesquisar não se andasse a verificar nos esquemas um a um, criando-se uma pequena base de dados numa folha de cálculo em Excel. Outro motivo que levou a fazer as tabelas, foi o facto de o AutoCad ser uma ferramenta de desenho, onde teríamos que seleccionar um a um, o que seria pouco prático.

Essencialmente, toda a informação foi dividida em três tabelas: a primeira contém o cadastro do sinóptico da rede de alimentação; a segunda contém o cadastro da rede de distribuição para todos os dezanove sinópticos; a última contém a informação dos comprimentos e quantidades dos cabos de fibra óptica utilizados no percurso entre o PT e o PDO.

Na Tabela 4-1, encontram-se representados todos os PTs colocados no sinóptico da rede de alimentação (Figura 4.18), contendo a informação da distância desde o CO até ao PT, a quantidade de fibra óptica reservada para cada PT e o tipo de cabo fibra óptica. Além disto, também foi colocado, paralelamente, uma tabela com a quantidade de repartidores por cada PT, obtendo-se facilmente o valor total de repartidores na área escolhida, neste caso um total de 53 repartidores.

Tabela 4-1 - Cadastro da rede de alimentação

Distâncias Subestação Amparo até ao PT			
PT	Distância (m)	Quantidade de Fibras no PT	Capacidade do Cabo
104	325	0	
203	1150	6	72
239	1625	4	72
59	1935	4	72
401	2235	4	72
357	2385	6	72
242	2730	8	12
529	2700	8	72
470	2835	6	72
408	2200	0	12
183	2450	6	12
88	2400	2	12
551	664	8	72
422	886	4	72
488	1156	6	72
492	1276	18	72
221	1517	2	12
341	1516	2	72
553	1941	10	72
55	2011	2	12

Quantidade de PS em cada PT	
PT	PS
492	9
488	3
553	5
422	2
357	3
551	4
401	2
470	3
341	1
88	1
59	1
239	2
55	1
529	4
203	3
242	4
183	3
221	2
Total	53

Na Tabela 4-2, temos o cadastro pertencente à rede de distribuição, onde encontra-se a descrição de cada PDO associado a um respectivo repartidor em cada um dos PTs.

Considerando-se aleatoriamente um dos PTs, por exemplo o PT470, obtemos de uma forma rápida e concisa toda a informação sobre o sinóptico do mesmo.

Tabela 4-2 - Cadastro da rede de distribuição PT470

PT470		
Quantidade de Habitações	Power Splitter	Referência Prédio
10	A	PDO470/1
18	A	PDO470/2
9	A	PDO470/3
18	A	PDO470/4
29	B	PDO470/5
1	B	PDO470/6
1	B	PDO470/7
1	B	PDO470/8
14	B	PDO470/9
11	B	PDO470/10
16	C	PDO470/11
12	C	PDO470/12
140		

No quadrado referente ao PT 470, da direita para a esquerda, temos a quantidade de habitações de um dado PDO, associado a um repartidor óptico. Por exemplo, para o PDO470/8 contém 1 habitação que está associado ao repartidor B colocado no PT470. No entanto, pode-se depois obter o valor total da soma de habitações associadas ao PT em questão, conseguindo-se rapidamente, obter o valor total de habitações da área escolhida. Na Tabela 4-5 estão representados todos os repartidores, obtendo-se uma visão geral do esquema completo.

Na última tabela considerada, resume-se a restante informação não abordada na Tabela 4-2, pois não continha as distâncias do cabo de fibra óptica no percurso desde o PT até ao PDO. Criou-se então, uma nova tabela contendo as distâncias e a quantidade de fibras ópticas necessária para cada PDO. Na Tabela 4-3, é ilustrado um exemplo de uma tabela de um PT, novamente o PT470. Neste caso, podemos comparar, que na Tabela 4-3 o PDO470/1 tem uma distância de 49m e um cabo com 24 fibras ópticas para apenas 10 habitações.

Tabela 4-3 - Distância e quantidade de fibras ópticas.

PT 470		
Referência Prédio	Distância (m)	Capacidade do cabo
PDO470/1	49	24
PDO470/2	164	24
PDO470/3	184	24
PDO470/4	65	24
PDO470/5	64	36
PDO470/6	191	1
PDO470/7	203	1
PDO470/8	212	1
PDO470/9	65	24
PDO470/10	67	24
PDO470/11	45	24
PDO470/12	43	24

Devido a dimensão de toda a tabela, a mesma será remetida no anexo A para qualquer consulta adicional.

Como já se tinha obtido as distâncias todas, para a área escolhida, calculou-se, ainda no mesmo ficheiro, o valor total para cada tipo de cabo utilizado com quantidades diferentes, onde foram utilizados cabos com 1 fibra (substituído pelo cabo contendo 2 FO), cabos com 12, 24, 36, 48 e 72 fibras em ambos os sinópticos. Na Tabela 4-4, é mostrada a quantidade estimada que seria utilizada, obtendo-se uma distância total de fibra de 122 km.

Tabela 4-4 - Comprimento total de cada tipo de cabo.

	Dist. Total (m)
CABO 1 FO	107156
CABO 12 FO	1830
CABO 24 FO	10034
CABO 36 FO	2457
CABO 48 FO	423
CABO 72 FO	160
TOTAL	122060

Tabela 4-5 - Cadastro da rede de distribuição

Descrição de cada PDO (Ponto de Distribuição Óptico) associado ao respectivo PS (Power Splitter) em cada PT

PT492

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
12	A	PDO492/1
12	A	PDO492/3
16	A	PDO492/4
23	A	PDO492/2
13	B	PDO492/10
15	B	PDO492/11
18	B	PDO492/8
18	B	PDO492/14
12	C	PDO492/9
23	C	PDO492/6
26	C	PDO492/5
12	D	PDO492/12
12	D	PDO492/15
15	D	PDO492/13
25	D	PDO492/7
16	E	PDO492/19
18	E	PDO492/18
26	E	PDO492/17
18	F	PDO492/20
20	F	PDO492/22
23	F	PDO492/21
11	G	PDO492/27
12	G	PDO492/25
18	G	PDO492/24
21	G	PDO492/26
10	H	PDO492/30
10	H	PDO492/31
12	H	PDO492/28
13	H	PDO492/29
14	H	PDO492/23
12	I	PDO492/16
506		

PT 488

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
14	A	PDO488/1
13	A	PDO488/2
19	A	PDO488/3
14	A	PDO488/4
13	B	PDO488/5
13	B	PDO488/6
14	B	PDO488/7
13	B	PDO488/8
15	C	PDO488/9
128		

PT422

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
1	A	PDO422/1
10	A	PDO422/2
8	A	PDO422/3
9	A	PDO422/4
12	A	PDO422/5
11	A	PDO422/6
11	B	PDO422/7
14	B	PDO422/8
11	B	PDO422/9
12	B	PDO422/10
11	B	PDO422/11
110		

PT551

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
42	A	PDO551/1 - 31
		PDO551/42 - 48
12	B	PDO551/32
12	B	PDO551/33
19	B	PDO551/34
15	B	PDO551/35
12	C	PDO551/36
24	C	PDO551/37
12	C	PDO551/38
12	C	PDO551/39
12	D	PDO551/40
10	D	PDO551/41
24	D	PDO551/49
206		

PT470

Qtd. Hab.	PS	Ref. Prédio
10	A	PDO470/1
18	A	PDO470/2
9	A	PDO470/3
18	A	PDO470/4
29	B	PDO470/5
1	B	PDO470/6
1	B	PDO470/7
1	B	PDO470/8
14	B	PDO470/9
11	B	PDO470/10
16	C	PDO470/11
12	C	PDO470/12
140		

PT529

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
16	A	PDO529/1
12	A	PDO529/2
24	A	PDO529/3
20	B	PDO529/4
23	B	PDO529/5
29	C	PDO529/6
12	C	PDO529/7
12	C	PDO529/8
10	C	PDO529/9
13	B	PDO529/10
6	B	PDO529/11
13	D	PDO529/12
12	D	PDO529/13
10	D	PDO529/14
13	D	PDO529/15
6	D	PDO529/16
231		

PT242

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
42	A	PDO242/1 a 42
15	A	PDO242/54
6	B	PDO242/43
8	B	PDO242/44
11	B	PDO242/45
11	B	PDO242/46
12	B	PDO242/47
12	B	PDO242/48
12	C	PDO242/49
12	C	PDO242/50
12	C	PDO242/51
13	C	PDO242/52
15	C	PDO242/53
17	D	PDO242/55
18	D	PDO242/56
22	D	PDO242/57
238		

PT221

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
7	A	PDO221/1
8	A	PDO221/2
8	A	PDO221/3
8	A	PDO221/4
8	A	PDO221/5
8	A	PDO221/6
8	A	PDO221/7
8	B	PDO221/8
8	B	PDO221/9
71		

PT553

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
25	A	PDO553/1
15	A	PDO553/2
15	A	PDO553/3
21	B	PDO553/4
36	B	PDO553/5
15	C	PDO553/6
43	C	PDO553/7
13	D	PDO553/8
14	D	PDO553/9
13	D	PDO553/10
25	E	PDO553/11
27	E	PDO553/12
18	F	PDO553/13
280		

PT357

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
40	A	PDO357/1
55	B	PDO357/2
35	C	PDO357/3
7	C	PDO357/4
4	C	PDO357/5
8	C	PDO357/6
8	C	PDO357/7
157		

PT401

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
10	A	PDO401/1
25	A	PDO401/2
17	A	PDO401/3
18	B	PDO401/4
18	B	PDO401/5
1	B	PDO401/6
89		

PT341

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
40	A	PDO341/1 - PDO341/40

PT088

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
48	A	PDO088/1 - PDO088/48

PT059

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
55	A	PDO059/1 - PDO059/55
54	B	PDO059/56 - PDO059/109

PT239

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
55	A	PDO239/1 A PDO239/55
43	B	PDO239/56 A PDO239/98

PT55

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
19	A	PDO55/1 - PDO55/19

PT203

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
32	A	PDO203/1 - PDO203/32
6	A	PDO203/33
6	A	PDO203/34
8	A	PDO203/35
8	A	PDO203/36
8	B	PDO203/37
8	B	PDO203/38
8	B	PDO203/39
8	B	PDO203/40
8	B	PDO203/41
8	B	PDO203/42
8	B	PDO203/43
11	C	PDO203/44
127		

PT183

Qtd Hab.	PS	Ref. Prédio
33	A	PDO183/1
30	A	PDO183/2
16	B	PDO183/3
19	B	PDO183/4
22	B	PDO183/5
9	C	PDO183/6
27	C	PDO183/7
2	C	PDO183/8
20	C	PDO183/9 A PDO183/28
178		

4.3.4 Lista de material

Uma vez recolhida toda a informação, criou-se uma lista com o material passivo que seria necessário para a implementação da rede passiva na área escolhida, GPON EEM 1.

Na lista de material passivo (Tabela 4-6), os materiais encontram-se colocados de forma agrupada: o material para o CO, os armários de rua, os tipos de cabo, os acessórios dos cabos e juntas, os repartidores e o material utilizado para a realização das fusões e conexões.

Também foi colocado material passivo, desde o PDO até ao interior da residência, embora não tenha sido considerado para o caso de estudo.

Os valores obtidos resultam do procedimento anterior, colocando-se uma margem adicional em termos de quantidades de material, pois os valores são sempre estimados.

Tabela 4-6 - Lista de Material Passivo FTTH

Material Passivo FTTH/GPON

ÁREA DO PROJECTO				GPON EEM 1		
Código	Designação	UM		Família	Observações	Quantidades
	CO (Central)					
	Bastidor Padrao 19U x L600 x P400mm	UN		Terminação cabo FO	Situado no CO para colocação dos ODFs	4
	Armário Padrão 6U x L600 x P400mm	UN		Terminação cabo FO	Colocado na cave do PDO nos edifícios	160
	Pigtail SC	UN		Terminação cabo FO	Para terminação dos cabos no ODF	1824
	Patchcord Monomodo SC 10 m	UN		Terminação cabo FO	Ligação OLT-PS_DWDM ou PS_DWDM ao ODF	100
	ODF Gaveta 48 portas TFO	UN		Terminação cabo FO	Faz a terminação do cabo nas duas extremidades	76
	Armário de Rua					
	Armário Ext Splitter SC/APC 288 FO	UN		Armário Exterior PT	Um armário para cada PT	19
	Cabos Exterior - Rede Alimentação					
	Cabo FO Conduta 2	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado para as casas individuais	
	Cabo FO Conduta 12	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado SEAmparo até aos PTs	1796
	Cabo FO Conduta 24	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Conduta 36	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Conduta 48	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Conduta 72	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado SEAmparo até aos PTs	4776
	Cabo FO Conduta 144	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Conduta 288	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Aereo 12	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Aereo 24	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Aereo 48	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Aereo 72	M		Cabo Exterior FO		
	Cabos Exterior - Rede distribuição					
	Cabo FO Conduta 12	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado desde PT ao Edíficio	2000
	Cabo FO Conduta 24	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado desde PT ao Edíficio	10100
	Cabo FO Conduta 36	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado desde PT ao Edíficio	2500
	Cabo FO Conduta 48	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado desde PT ao Edíficio	500
	Cabo FO Conduta 72	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado desde PT ao Edíficio	200
	Cabo FO Conduta 144	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Conduta 288	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Aereo 2	M		Cabo Exterior FO	Cabo utilizado para as casas individuais	110000
	Cabo FO Aereo 12	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Aereo 24	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Aereo 48	M		Cabo Exterior FO		
	Cabo FO Aereo 72	M		Cabo Exterior FO		
	Acessorios de Cabos e Juntas					
	Manga Helicoidal	UN		Acessórios de cabos	10m/Um	20
	Braçadeira de serrilha (200mm)	UN		Acessórios de cabos	100 Unid/cx	20
	Braçadeira de serrilha (92mm)	UN		Acessórios de cabos	100 Unid/cx	20
	Braçadeira de prego	UN		Acessórios de cabos	100 Unid/cx	
	Juntas de Interligação					
	Junta de Interligação 12 Fusões	UN		Juntas Interligação		
	Junta de Interligação 24 Fusões	UN		Juntas Interligação		
	Splitters/ Acoplador					
	Acoplador DWDM 1:2	UN		Junção Sinal RF na ODN	1 Acoplador por PON	55
	Splitters P/PT ARM SC/APC 1:64	UN		Divisor de Potência	1 Splitter por PON	55
	Caixas de Edificio					
	Caixas de Edificio Int. 12 FO	UN		Caixa Terminal de Edifício		
	Caixas de Edificio Int. 24 FO	UN		Caixa Terminal de Edifício		
	Caixa de Distribuição Interior					
	Caixa Optica Distribuição Edificio INE 24 FO	UN		Caixa Distribuição Edifício		
	Caixa Optica Distribuição Edificio INE 48 FO	UN		Caixa Distribuição Edifício		
	Caixa de Piso - FloorBox					
	Caixa Óptica de Piso 4 FO	UN		Caixa de Piso		
	Caixa Óptica de Piso 6 FO	UN		Caixa de Piso		
	Tomadas Interiores Cliente					
	Caixa Cliente Saliente SC/APC	UN		Tomada Cliente		
	Caixa Cliente Embutida SC/APC	UN		Tomada Cliente		
	Cabo FO de Edificio					
	Cabo Raiser Int G.657a 12 FO	M		Cabo FO p/ Edifício		
	Cabo Raiser Int G.657a 24 FO	M		Cabo FO p/ Edifício		

4.4 Conclusão

Neste capítulo elaborou-se todo o planeamento da rede GPON, elaborando se os vários sinópticos da rede de alimentação e da rede de distribuição.

Esta fase do projecto permitiu com que se conhecesse novos tipos de ferramentas, neste caso o ArcView e o AutoCad.

Em termos de funcionalidades, o ArcView é uma ferramenta muito complexa, permitindo criar-se todo o tipo ilustrações de redes obtendo-se um cadastro da rede com a referência geográfica de todos os elementos. No entanto, sempre que haja uma alteração em toda a rede seria necessária uma actualização por parte do utilizador, pois não é uma ferramenta de gestão em tempo real.

O AutoCad foi uma ferramenta que solucionou o problema em se criar os sinópticos de grandes dimensões para cada um dos tipos de rede, de alimentação e de distribuição.

Todos os valores obtidos neste capítulo, iriam servir como base para a implementação caso fosse possível testar os equipamentos no campo. Uma vez não sendo realizável, utilizaram-se os valores para posteriormente calcular o balanço de potência e a simulação através da ferramenta Optisystem verificando o desempenho que este sistema iria ter, concluindo-se se era viável ou não prosseguir com o projecto.

5. Análise e simulação do projecto

Neste quinto capítulo é apresentado a análise teórica dos valores obtidos do capítulo anterior através do cálculo do *optical power budget,* onde se pretende verificar o desempenho e viabilidade do projecto em estudo. Obtidos os resultados dos cálculos teóricos será feita uma simulação de uma ligação GPON, na qual é feita uma comparação entre os valores teóricos e os valores práticos da simulação, donde retirou as devidas conclusões acerca do desempenho do sistema estudado.

5.1 Optical Power Budget

O conceito de *optical power budget* consiste em determinar a distância máxima que a fibra poderá ser distribuída sem a colocação de repetidores ou amplificadores. É calculado usualmente em decibéis (dB). O *optical power budget* tem como objectivo garantir que existe luz suficiente no receptor para cobrir todas as perdas na distribuição da fibra óptica.

O caso mais simples é basicamente a ligação de um transmissor óptico, numa extremidade, com um receptor óptico na outra extremidade. Uma das razões da sua importância é o conceito de *dark fiber.* A *dark fiber* é fibra óptica que já se encontra implementada no terreno quer seja através de condutas ou por meio aéreo, mas que ainda não se encontra interligada aos equipamentos activos nas suas extremidades.

É nas MAN's que as percepções do *optical power budget* apresentam-se claramente essenciais pois ocupam grandes distâncias, até cerca de 100 km.

5.1.1 Perdas nas Fibras ópticas

A transmissão de um sinal entre dois pontos, utilizando como meio de transmissão a fibra óptica, denota-se como melhor opção sobre a transmissão por cabo coaxial ou sem fios. Também não sofre da limitação da largura de banda e taxas de dados da mesma maneira que os cabos coaxiais.

Tal como abordado anteriormente, existem dois tipos de fibra, a monomodo e a multimodo. A fibra monomodo, devido às dimensões inferiores do núcleo, permite reter a fidelidade de cada impulso de luz por distâncias maiores, portanto mais informação é transmitida. Por consequência, devido ao tamanho do núcleo da fibra monomodo torna-se mais difícil acoplar luz para o seu interior.

A maneira tradicional de transportar um sinal eléctrico numa fibra óptica é através de um transmissor que converte um sinal eléctrico para um sinal óptico, e um receptor que faz o inverso. O equipamento é designado por *transceiver* que contém tanto um transmissor como um receptor óptico convertendo para um sinal eléctrico com uma saída RJ-45. A quantidade de luz injectada para o interior da fibra é designada por potência acoplada pelo transmissor. O receptor recebe o sinal óptico da fibra e converte-o para um sinal eléctrico.

Consequentemente, as transferências de luz que ocorrem entre os conectores e a fibra óptica, e mesmo a própria fibra óptica fazem com que o valor da potência inicial diminua. A diferença entre a quantidade de luz que é introduzida no cabo de fibra óptica e a quantidade de luz necessária para que no receptor se obtenha um sinal perceptível cobrindo todas as perdas no meio de transmissão é designada por *optical link power budget.*

De seguida, mostra-se alguns dos efeitos que podem apontar para perdas na propagação da energia electromagnética nas fibras: - Absorção dos materiais; Espalhamento nos materiais; Espalhamento das guias de onda devido a formação de homogeneidades e perdas na bainha e curvaturas da fibra [23].

A Tabela 5-1 mostra alguns dos meios de transmissão, as suas características de atenuação e o espaçamento máximo permitido entre repetidores. Os valores mostrados são praticamente teóricos. Há sistemas capazes de operar a grandes velocidades (alguns Mbps), através dos cabos de par, entrançado de telefone para distâncias entre 4 a 6 km sem repetidores. A tecnologia em questão é a ADSL e VDSL. Faz uso de um processamento de sinal digital sofisticado para detectar os bits num meio de transmissão muito difícil e por vezes degradado. É de relevar que as vantagens da transmissão sobre fibra óptica são óbvias.

Tabela 5-1 - Atenuações de materiais diferentes e espaçamentos entre repetidores [24]

Material	Atenuação [dB/km]	Espaçamento entre Repetidores
Cabo coaxial	25	1,5
Par entrançado telefone	12…18	2…3
Window glass	5	7
Sílica	0,18…1	50…150
Sílica melhorada	0,16	250
Halide	0,01	3500

5.1.2 Perdas nos acoplamentos entre fibras

Na região de fusão podem exibir perdas intrínsecas (puramente ópticas) e extrínsecas (alinhamento geométrico). Na Tabela 5-2 mostra-se várias configurações e valores de transmissão para as fibras multimodo com terminações decompostas *cleaved*. Além dos vários tipos de atenuações existentes, outra razão de ocorrer perdas na fibra óptica é a dispersão [25].

Tabela 5-2 - Vários tipos de perdas por acoplamento das fibras. [25]

Variations of fibers diameters	$T = (d_2/d_1)^2$ $d_2 < d_1$
Variation of numerical apertures.	$T = (NA_2/NA_1)$ $NA_2 \leq NA_1$
Variation of index of refraction profiles Transversal misalignment (m).	$T = (g_2/g_1)\{(g_1+2)/(g_2+2)\}$ (g-profile parameter) $T = \{(2/\pi)\arccos(m/d) - (2m/\pi d)(1-(m/d)^2)^{1/2}\}$
Axial gap (v).	$T = \{1-(v/d)\tan(\alpha_c)\}$ $\sin(\alpha_c) = NA$
Angular misalignment (γ).	$T = \{1-(16/3\pi)(\sin(\gamma/2)/\sin(\alpha_c))\}$
Surface reflections.	$T = \{1-(n_1-n_2)^2/(n_1+n_2)^2\}$

5.1.3 Link Power e Link Loss Budgets

O *Link Power Budget* é a diferença entre a potência introduzida na fibra e a sensibilidade do receptor ligado ao cabo de fibra óptica. Por outro lado, o *Link Loss Budget* é o valor total das perdas de qualquer componente da ligação. Em todos os casos, o *Link Loss Budget* deve ser sempre inferior ao *Link Power Budget*. O total do *Link Power Budget* é a soma do *Link Loss Budget* e a margem de segurança para futuros requisitos e também considerando o envelhecimento do sistema de fibra óptica.

Para determinar perdas e distâncias máximas para comunicações através de fibra óptica teve-se que considerar as seguintes variáveis:

- Perdas de absorção e reflexões de retorno da luz causadas pelas impurezas no vidro; atenuações em função do comprimento;
- Quanto maior foi a taxa de transmissão, menor será a distância que o sinal pode viajar antes de ocorrer dispersão modal, sendo possível separar o bit "1" do bit "0" nas fibras multimodo;
- Para o caso da fibra monomodo, os efeitos de dispersão já são outros, causando o espalhamento dos impulsos de luz e limitação da distância em função da taxa de dados;
- As perdas devido as fusões são usualmente inferiores a 0,1dB.
- As perdas nos conectores são normalmente estimadas em 0,2dB;

- É comum adicionar alguns dBs como margem de segurança. É considerado por defeito o valor de 3 dBs de perdas para os casos de envelhecimento da fibra, fusões mal feitas, variações da temperatura e humidade.

A quantidade de perdas de sinal devido a atenuações do cabo é apenas o valor da atenuação do cabo (sendo este fornecido pelo fabricante) por quilómetro multiplicada pela distância. Para determinar a distância máxima, pode-se enviar um sinal e basta adicionar todas as fontes de atenuação e comparar com o *Link Budget* [26].

5.1.4 Cálculo do optical power budget

Inicialmente foi projectado para ser utilizado em redes de grande distâncias tais como MANs e WANs mas devido à sua necessidade, fez-se uma analogia para as redes de acesso. A ideia básica para possibilitar o cálculo do *optical power budget* é simples, se sobrar sinal óptico então a expansão da fibra resulta caso contrário não irá resultar.

O primeiro passo consiste em saber a quantidade de luz fornecida pelos equipamentos activos em cada uma das extremidades da fibra óptica. Obtém-se então os valores da potência transmitida mínima do transmissor e a sensibilidade mínima do receptor. São apenas utilizados os valores mínimos como um meio de precaução, sendo estes expressos em dBm e fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos.

A potência mínima de transmissão é, como o próprio nome indica, o valor mínimo que é considerado como o pior caso possível em termos de desempenho. Acontece que alguns dos fabricantes indicam o valor médio de potência transmitida, mas esse valor é desnecessário para ter em conta no cálculo do *optical power budget,* devido a variação do seu valor, porque implica obter-se um valor superior ou inferior e não um valor mínimo.

A sensibilidade mínima do receptor também é importante pois é a quantidade de luz necessária para o equipamento funcionar correctamente. Se não fosse preciso considerar mais nenhum factor, o cálculo seria feito apenas por uma simples subtracção em unidades logarítmicas.

Luz disponível = potência mínima transmitida – sensibilidade mínima do receptor

No caso das MANs poderá acontecer que ao fazer a ligação entre duas sucursais e num dos edifícios ter os equipamentos de um fabricante e no outro edifício de outro fabricante. Nesse cenário tem-se que considerar os dados dos fabricantes de cada equipamento, só depois é que é efectuado o cálculo para ambas as direcções. Tal situação poderá ser desnecessária se ambos os equipamentos têm os mesmos valores. Por exemplo, um Tx de um fabricante A e um Rx de outro fabricante B e vice-versa.

Para o FTTH/GPON e sendo uma rede de acesso óptico, é escolhido uma solução completa fornecida pelo fabricante e não equipamentos soltos de vários fabricantes. O que facilita em termos de cálculo e obtenção dos valores necessários. No entanto, na solução apresentada no capítulo 2, observou-se que apenas está indicado que respeita o optical *power budget* de 28 dB pertencente a Class B+ segundo o padrão do ITU G.984.1. Contudo, com base

nos *datasheets* dos equipamentos obtém-se sempre os dados requisitados e alguma informação completa sobre o equipamento em questão.

As perdas nos conectores são sempre consideradas pelas perdas por cada par de conectores, uma vez que existe um conector em cada extremidade. A sua utilização é feita mais nos painéis de *patch* de forma a alternar entre portas quando necessário. No entanto as fusões são ligações permanentes, embora com um valor de perdas muito inferior. A maior causa de perdas de sinal é a atenuação no cabo de fibra óptica e depois vêm os conectores e por fim são consideradas as fusões, seguindo-se por esta ordem no cálculo [26].

Nas Tabela 5-3 encontram-se os valores típicos para efectuar um cálculo teórico do balanço de potência no caso os fabricantes dos equipamentos não indicarem os valores das perdas. O valor padrão para perdas por par de conectores é definido pela *Telecomunication Industry Association (TIA)* em 0,75 dB por par de conectores. A tabela indica também atenuações predefinidas dos cabos de fibra óptica para a sua maioria e para os comprimentos de onda mais utilizados. Os valores indicados de atenuação por cada fusão são cerca de 0,1 dBs por fusão e sempre considerando para a margem de segurança um valor de 3 dBs. O valor obtido através da subtracção entre a margem operacional e a margem de segurança, o excesso de potência, se este valor for considerável então provavelmente ter-se-á que rever todo o processo em si, pois implica que em termos financeiros poderá existir uma solução mais económica apenas por escolher um transmissor com potência menor ou um receptor com sensibilidade menor.

Tabela 5-3 - Valores típicos utilizados no *optical power budget* [26]

Factores do *Optical Power Budget*	Valores típicos de perdas
Valor padrão por par de conectores	0,75 dB
Atenuação padrão de uma fibra multimodo para o comprimento de onda de 850 nm	3,75 dB/km
Atenuação padrão de uma fibra monomodo para o comprimento de onda de 1310 nm	0,4 dB/km
Atenuação padrão de uma fibra monomodo para o comprimento de onda de 1550 nm	0,2 dB/km
Atenuação por fusão	0,1 dB/fusão
Distância máxima entre fusões	6 km
Valor padrão da margem de segurança	3 dB

As perdas para o cálculo do *optical power budget* são colocadas desde o que contribui com maiores perdas para o menor. Assim, caso se obtenha um valor negativo, é sinal que o transmissor nem o receptor irão funcionar correctamente pois não terão potência suficiente. Portanto, em primeiro plano, tem-se as perdas nas fibras, depois nos conectores e por fim as fusões, obtendo-se assim, a margem operacional do *optical power budget.*

Os cortes nos cabos de fibras ópticas poderão ocorrer sistematicamente, logo têm que ser considerados. É óbvio, que os cabos de fibra óptica subterrâneos (embora tenham protecções) se encontrem sempre mais vulneráveis a inundações, escavações enquanto o cabo aéreo é mais sensível a tornados, sismos, terramotos e incêndios. Se acontecer um destes cenários e danifique o cabo, a solução será efectuar novas fusões o mais rápido possível para

ligar o cabo. Portanto, isto implica novas perdas logo no cálculo do *optical power budget* e é estimado um número máximo de fusões extra. É considerado que sejam feitas pelo menos uma reparação no cabo em 5 anos. Outro factor que poderá eventualmente por em causa desempenho da ligação em termos de perdas é a variação da temperatura devido a expansões e compressões dos conectores e das fusões [26].

Para completar o cálculo do *optical power budget* ter-se-á que subtrair o valor das fusões extras, são consideradas cinco pois o cabo deve ter um tempo de vida de pelo menos 25 anos, e a margem de segurança ao valor da margem operacional. O resultado deve ser positivo, caso contrário ter-se-á que proceder a novos cálculos. Na Figura 5.1 mostra-se um modelo cálculo do *optical power budget* através de uma folha de cálculo do Excel. Os campos editáveis são as caixas facilitando o cálculo.

Cálculo do Balanço de Potência

					Potência mínima de transmissão (OLT):	2	dBm
					Sensibilidade mínima do receptor (ONT):	-27	dBm
					Potência disponível:	**29**	**dB**
	Quantidades						
Perdas na Fibra:	3,047	km de cabo	x	0,20	dB/km	0,6094	dB
Perdas por pares de conectores:	8	Pares	x	0,30	dB/par	2,4	dB
Perdas por fusão	4	fusões térmica	x	0,05	dB/fusão	0,2	dB
Perdas por fusão	1	fusões mecânicas	x	0,30	dB/fusão	0,3	dB
Perdas Splitter 1:64	1	splitter	x	20,80	dB/splitter	20,8	dB
Perdas Acoplador DWDM	1	acoplador	x	0,80	dB/acoplador	0,8	dB
					Total Perdas:	**25,1094**	**dB**
Margem Operacional (Potência disponível - Total Perdas):						**3,8906**	**dB**
Perdas por fusões reparadas:	5	fusões	x	0,1	dB/fusão	0,5	dB
					Margem de segurança:	2	dB
Excesso de potência (Margem Operacional - (Reparadas + Segurança)) :						**1,3906**	**dB**

Figura 5.1 - Folha de cálculo do *optical power budget* [26].

A obtenção dos dados para o cálculo teórico do *optical power budget* teve como base principal o esquema da Figura 5.1 Para os valores das distâncias, considerou-se os valores já adquiridos no capítulo do planeamento, que são as distâncias entre a Subestação do Amparo e cada um dos PTs individualmente. No entanto, observou-se que as distâncias entre o CO e o PT, têm como valor mínimo cerca de 353 metros o PT mais próximo e o valor máximo cerca de 2835 metros o PT mais afastado na área considerada.

Na Figura 5.2 é ilustrado um exemplo para a distância mais afastada, considerando também a distância máxima entre PT e residência de 262 metros, obtendo-se uma distância total de 3047 metros e um valor das perdas totais de 25,1 dBs.

Considerou-se o valor dos equipamentos activos, da solução da Alcatel-Lucent quer seja a potência mínima do transmissor, quer seja a sensibilidade mínima do receptor sendo de 2 dBm e -27 dBm, respectivamente.

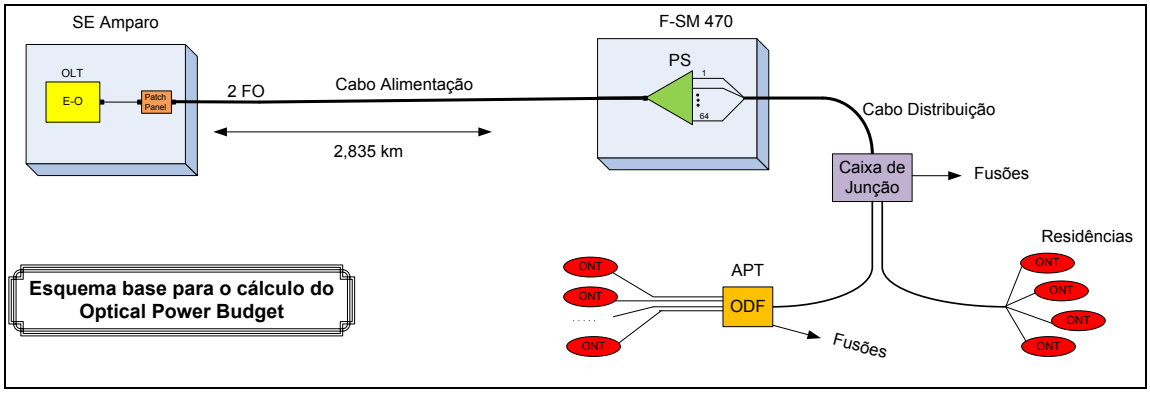


Figura 5.2 - Esquema base do cálculo do *Optical Power Budget*

De seguida, elaborou-se um esquema através do AutoCad, onde tem como base o esquema da Figura 5.2, mostrando o percurso efectuado desde o CO até o PT470, sendo o mais distante do CO para a área escolhida, continuando o seu percurso até ao PDO470/8. No esquema também, contém duas tabelas que indicam os valores máximos das atenuações consideradas nos equipamentos passivos ou elementos (Tabela 5-4), tais como fusões, utilizados durante o percurso escolhido.

Tabela 5-4- Tabela com os valores das atenuações máximas dos elementos

Tabela de valores de atenuações máximas:		
Atenuação Máx. F.O	0,20	dB/km
Atenuação fusão térmica	0,05	dB
Atenuação fusão mecânica	0,30	dB
Atenuação par conector	0,30	dB
Atenuação spliter 1:2, ou 2:2	3,70	dB
Atenuação spliter 1:32	17,10	dB
Atenuação spliter 1:64	20,80	dB
Atenuação DWDM 2:1	0,80	dB

Ainda no mesmo esquema podemos observar outra tabela que contém as quantidades necessárias de cada um dos elementos utilizadas para o cálculo do balanço de potência (Tabela 5-5).

Tabela 5-5 - Quantidades utilizadas para o cálculo do balanço de potência

Quantidades		
N.º pares de conectores:	8	Unid.
Nº fusões térmicas	4	Unid.
Nº fusões mecânicas	1	Unid.
Comprimento Máx. CO-PDO	3,047	Km
Power Splitter 1:64	1	Unid.
Power Splitter DWDM	1	Unid.

De seguida juntaram-se todos os elementos anteriores (Figura 5.1, Tabela 5-4 e 5-5) e criou-se no AutoCad o modelo ilustrado do balanço de potência apresentado na Figura 5.3. Nele pretendemos mostrar em primeiro lugar todo o percurso desde o CO até ao PDO470/8, em segundo demonstrar todos os elementos nele utilizado desde os elementos mais básicos tal como OLT até a representação de onde ocorreriam as fusões. O esquema está dividido em três partes:

- Na primeira temos a representação da subestação do Amparo, onde é feita ligação entre o OLT e o sinal RF ao repartidor DWDM, sendo feita a junção dos dois comprimentos de onda ligado a um ODF através de um chicote (*patchcord*) aonde é feita a terminação do cabo de alimentação;
- Na segunda parte temos a representação do PT tal como foi no sinóptico da rede de distribuição embora considerou-se um ODF, sendo este utilizado, depois do repartidor para dar mais ênfase donde sai o cabo de distribuição para o edifício;
- A última parte tem-se a representação do edifício/PDO onde é feita a terminação do cabo de distribuição ao ODF através de fusão, colocou-se ainda na figura a terminação até ao ONT embora tenha sido considerada apenas até ao edifício para o projecto. No entanto, para o cálculo do balanço de potência considerou-se, pois é necessário ter em conta todas as fusões e pares conectores utilizados.

REDE GPON -> Esquema de uma ligação OLT - ONU para Cálculo do Balanço de Potência

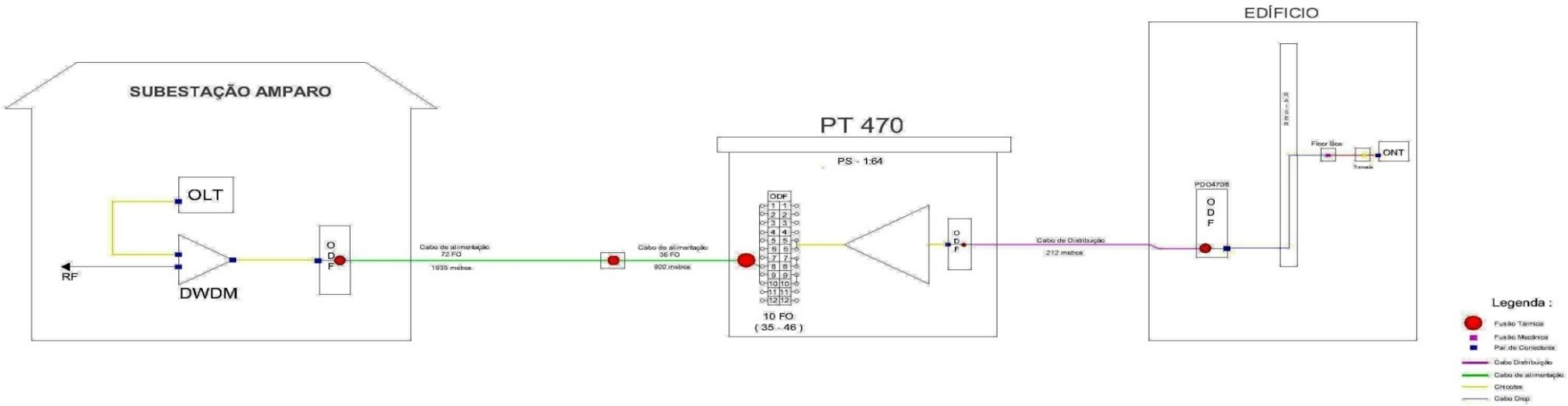


Tabela de valores de atenuações máximas:		
Atenuação Máx. F.O	0,40	dB/km
Atenuação fusão térmica	0,05	dB
Atenuação fusão mecânica	0,30	dB
Atenuação par conector	0,30	dB
Atenuação spliter 1:2, ou 2:2	3,70	dB
Atenuação spliter 1:32	17,10	dB
Atenuação spliter 1:64	20,80	dB
Atenuação DWDM 2:1	0,80	dB

Quantidades		
n.º pares de conectores:	8	Unid.
nº fusões térmicas	4	Unid.
nº fusões mecânicas	1	Unid.
Comprimento Máx CO-PDO	3,047	km
Power Splitter 1:64	1	Unid.
Power Splitter DWDM	1	Unid.

Cálculo do Balanço de Potência

Potência mínima de transmissão (OLT):						2	dBm
Sensibilidade mínima do receptor (ONT):						-27	dBm
Potência disponível:						**29**	**dB**
	Quantidades						
Perdas na Fibra:	3,047	km de cabo	x	0,20	dB/km	0,6094	dB
Perdas por pares de conectores:	8	Pares	x	0,30	dB/par	2,4	dB
Perdas por fusão	4	fusões térmica	x	0,05	dB/fusão	0,2	dB
Perdas por fusão	1	fusões mecânicas	x	0,30	dB/fusão	0,3	dB
Perdas Splitter 1:64	1	splitter	x	20,80	dB/splitter	20,8	dB
Perdas Acoplador DWDM	1	acoplador	x	0,80	dB/acoplador	0,8	dB
					Total Perdas:	**25,1094**	**dB**
Margem Operacional (Potência disponível - Total Perdas):						**3,8906**	**dB**
Perdas por fusões reparadas:	5	fusões	x	0,1	dB/fusão	0,5	dB
					Margem de segurança:	2	dB
Excesso de potência (Margem Operacional - (Reparadas + Segurança)) :						**1,3906**	**dB**

Figura 5.3 - Esquema de uma ligação GPON

No cálculo do balanço de potência foi considerado um valor de 29 dB após obtidos os valores da potência mínima de transmissão no OLT de 2 dBm e a sensibilidade mínima do ONT de -27 dBm. As quantidades utilizadas para o cálculo foram explícitas na representação do esquema na Figura 5.3. Os valores das atenuações utilizados foram os valores da Tabela 5-3, embora apenas se tenha considerado os valores da fusões e pares de conectores, sendo os restantes obtidos através do fabricantes dos elementos passivos. Uma vez feitos os cálculos obteve-se o valor total das perdas de 25,11 dB, que é subtraído ao valor considerado para o balanço de potência 29 dB resultando num valor de 3,89 dB. A este valor retirou-se o valor da margem de segurança considerada de 2 dBs e o valor das fusões reparadas sendo de 0,5 dB, obtendo-se um valor final de excesso relativo de potência de 1,39 dB.

5.2 Simulação GPON/FTTH

A pesquisa de uma ferramenta específica pode, por vezes tornar-se um desafio devido às imensas aplicações existentes na Internet. No entanto, a maioria das empresas que estão no ramo das comunicações ópticas e que também fazem projectos para FTTH têm ferramentas para planeamentos e testes que eventualmente poderão fazer até muito mais do que uma simples simulação. Acontece que tais ferramentas são exclusivas ou necessitam de ser adquiridas. A ferramenta utilizada para efectuar a simulação neste trabalho foi a OptiSystem 8.0 da Optiwave Systems Inc. na sua versão experimental.

Uma vez que não foi possível efectuar testes no campo com equipamentos GPON, pretende-se com a seguinte simulação obter uma vertente mais aproximada do real funcionamento de uma ligação GPON com 2.5Gbps *downstream* e 1.25Gbps *upstream,* desde o OLT até ao ONU. Considerou-se apenas uma fibra óptica para transportar o sinal em ambos os sentidos, simulando o trajecto estudado para calcular o balanço de potência do mesmo, obtendo-se assim mais uma fonte de dados para comparação de valores. O trajecto estudado, é o de maior perda na área escolhida, uma vez que é o percurso em que a distância entre o CO e o PDO470/8.

5.2.1 Descrição da Ferramenta

O Optisystem é um pacote inovador de simulação de sistemas de comunicações ópticas onde se pode desenhar, testar e optimizar virtualmente qualquer tipo de ligação óptica na camada física, desde sistemas de transmissão analógica de vídeo até *backbones* intercontinentais. A aplicação não necessita de outras estruturas de simulação. É um sistema baseado na modelação realística dos sistemas de comunicações de fibra óptica. Possui um ambiente poderoso de simulação e uma verdadeira definição hierárquica dos componentes e dos sistemas. As suas capacidades podem ser estendidas facilmente com a adição de novos componentes criados pelo utilizador.

Contém uma interface gráfica amigável na qual se controla as camadas de componentes ópticos, componentes modelo e apresentação gráfica como se pode visualizar na Figura 5.4. A extensa biblioteca de componentes tanto passivos como activos, incluem diversos parâmetros realísticos dependentes das características da luz tais como o comprimento de onda. O

varrimento de parâmetros físicos possibilita ao utilizador investigar o seu efeito no desempenho de um determinado sistema óptico [27].

De seguida indicam-se algumas vantagens em utilizar a ferramenta:

- Permite efectuar e testar protótipos de forma rápida;
- Análise do desempenho de um sistema óptico;
- Extensivo nível de caracterização dos dados de um sistema;
- Optimização e varrimento automático dos parâmetros;
- Representação visual das opções de desenho e cenários para apresentar a eventuais clientes.

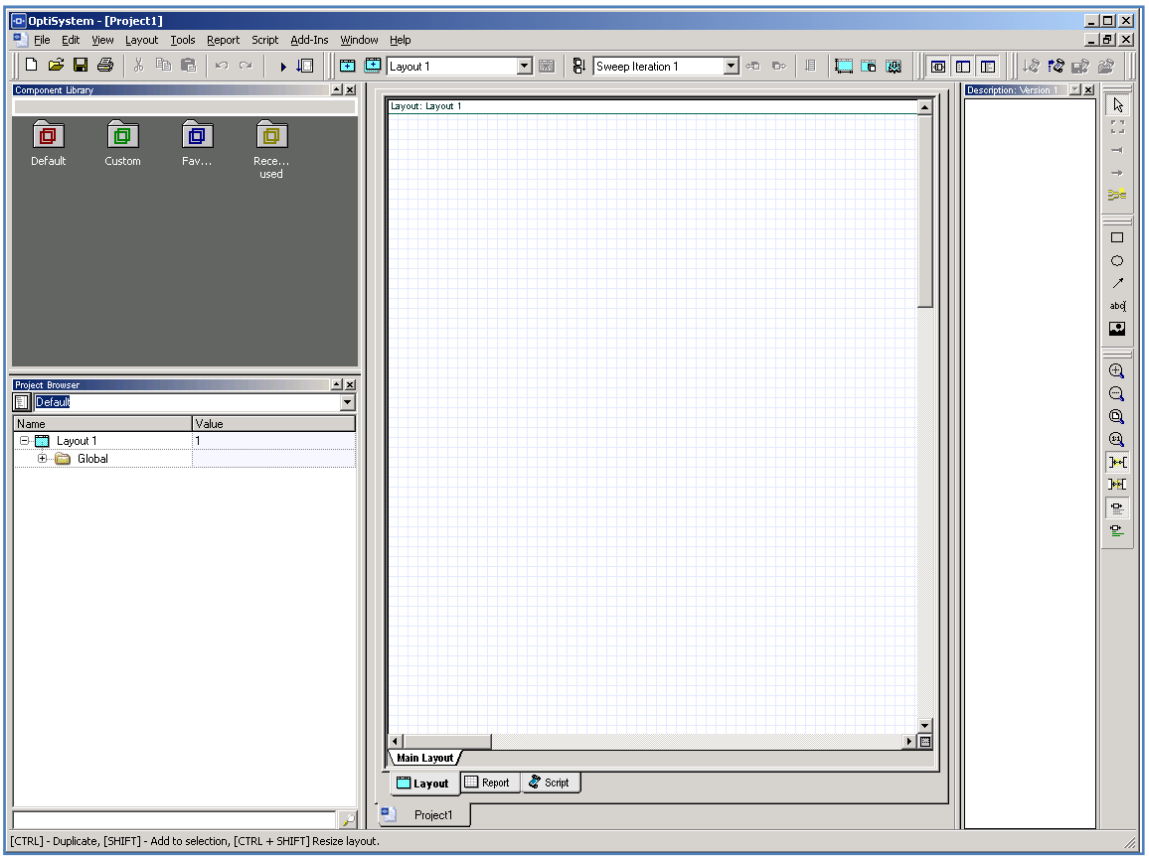


Figura 5.4 - Interface gráfica do OptiSystem 8.0

A aplicação permite fazer um esquema virtual de qualquer tipo de ligação óptica na camada física, e a análise de uma gama alargada de redes ópticas, desde os sistemas mais simples até sistemas de transmissão de longa distância. O software pode ser utilizado nas seguintes aplicações:

- Desenho de sistemas de comunicação ópticos desde o nível do componente até ao nível do sistema na camada física;
- Desenho de redes CATV ou TDM/WDM;
- Redes passivas ópticas baseadas em FTTx;

- Sistemas *Free Space Optic* (FSO);
- Sistemas *Radio over fiber* (RFO);
- Desenho de anéis SONET/SDH;
- Desenho de transmissores, canais, amplificadores e receptores;
- Desenho de um mapa de dispersão;
- Estimativa do BER e penalidades dos sistemas com modelos receptores diferentes;
- Sistema amplificado BER e cálculos de *link budget*.

5.2.2 Simulação

A aplicação tem um ambiente gráfico semelhante ao MATLab, o que de certa forma ajuda a ter uma melhor abordagem durante a sua utilização.

A presente simulação tem como objectivo demonstrar tudo o que foi estudado anteriormente sobre o padrão da ITU-T G.984, a tecnologia GPON para uma ligação desde o OLT passando pela ODN, ou seja, o canal de transmissão até ao ONU, colocado na outra extremidade. O trajecto foi o considerado anteriormente para um cálculo teórico do balanço de potência de forma a poder comparar com valores projectados com os obtidos na simulação.

A simulação tem as seguintes definições principais apresentadas na Figura 5.5. A taxa de bits do projecto é de $2{,}5x10^{+9}$ bits/s com uma janela de tempo de 0,41 µs e uma taxa de amostragem de 80 GHz, cada sequência com um comprimento de 1024 Bits e 32 amostras por bit. A janela de tempo da simulação é partilhada por todos os elementos da simulação e é definido o espaçamento de frequência no domínio das frequências, o que implica que o sinal amostrado terá sempre o mesmo espaçamento. A taxa de amostragem especifica a janela de simulação da frequência ou seja a largura de banda em Hz. O comprimento da sequência é a quantidade de bits utilizados em potências de 2. O número de amostras por bit é usado para converter o sinal amostrado para um sinal discreto, sendo também potência de 2. O número de amostras é obtido pelo produto entre o número de amostras e o número do comprimento da sequência.

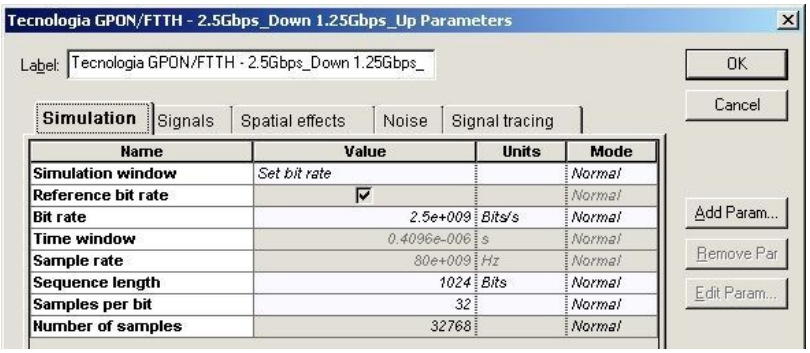


Figura 5.5 - Definições da simulação

Após a conclusão do circuito obtido (Figura 5.8), e durante os vários testes efectuados para obter os resultados (procedimento detalhado no subcapítulo seguinte), foi necessário

correr a simulação várias vezes. Pretende-se de uma forma simples descrever como foi feito esse processo. Basicamente com o circuito concluído, basta ir ao File»Calculate, tal como se pode notar na Figura 5.6.

Figura 5.6 - Calcular o projecto

Durante o cálculo da simulação é apresentado uma janela com três separadores, como se pode ver na Figura 5.7, na qual o separador principal ”Calc. Output” indica qual o elemento que está a ser calculado. No entanto, se alternarmos para o separador “Calc. Schedulers” podemos observar de forma mais detalhada o cálculo do elemento. Por exemplo, na Figura 5.7 após terem sido feitos todos os cálculos dos vários elementos, é feito um varrimento nos blocos de análise, tais como, por exemplo, o medidor de potência. Após o processo de cálculo do projecto terminar, pode-se verificar e analisar os resultados obtidos e a partir daí tirar as devidas conclusões.

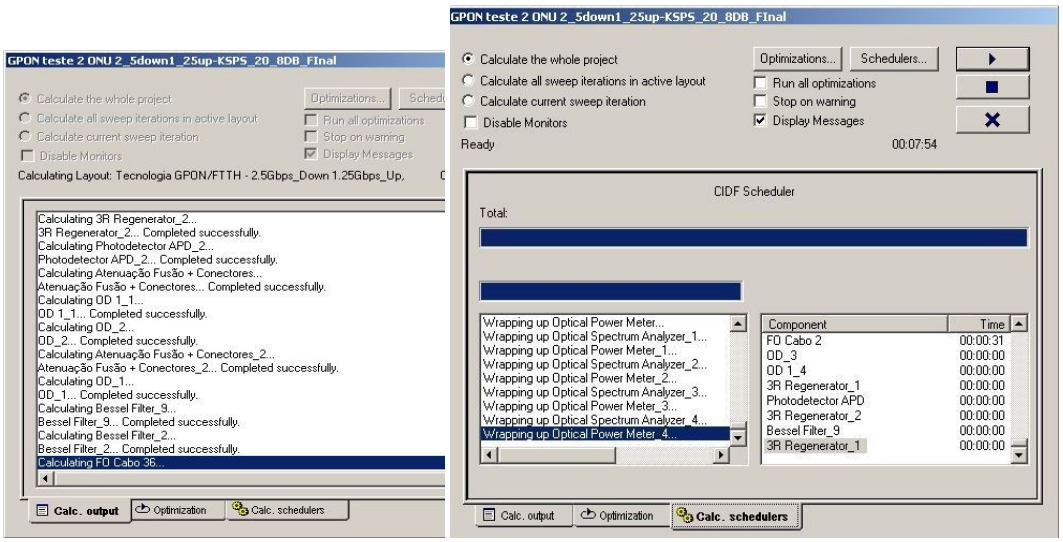


Figura 5.7 - Janela do cálculo do projecto.

O esquema da Figura 5.8 mostra o circuito testado. Nele podemos encontrar as várias partes do circuito que serão descritas mais a frente elemento a elemento. Os elementos que constituem o OLT encontram-se assinalados no rectângulo vermelho; na elipse azul têm-se os vários elementos que fazem parte da ODN, nomeadamente o cabo de fibra óptica da rede de alimentação, que vai desde o OLT até ao repartidor óptico, e finalmente, no círculo assinalado a laranja tem-se o conjunto final de elementos da rede de distribuição que vai desde o repartidor óptico até ao ONU. Também é possível verificar-se, que ao longo de vários pontos do circuito foram colocados dois blocos de análise, tais como, medidores de potência óptica e analisadores de espectro, permitindo a obtenção de informação ao longo do sistema óptico.

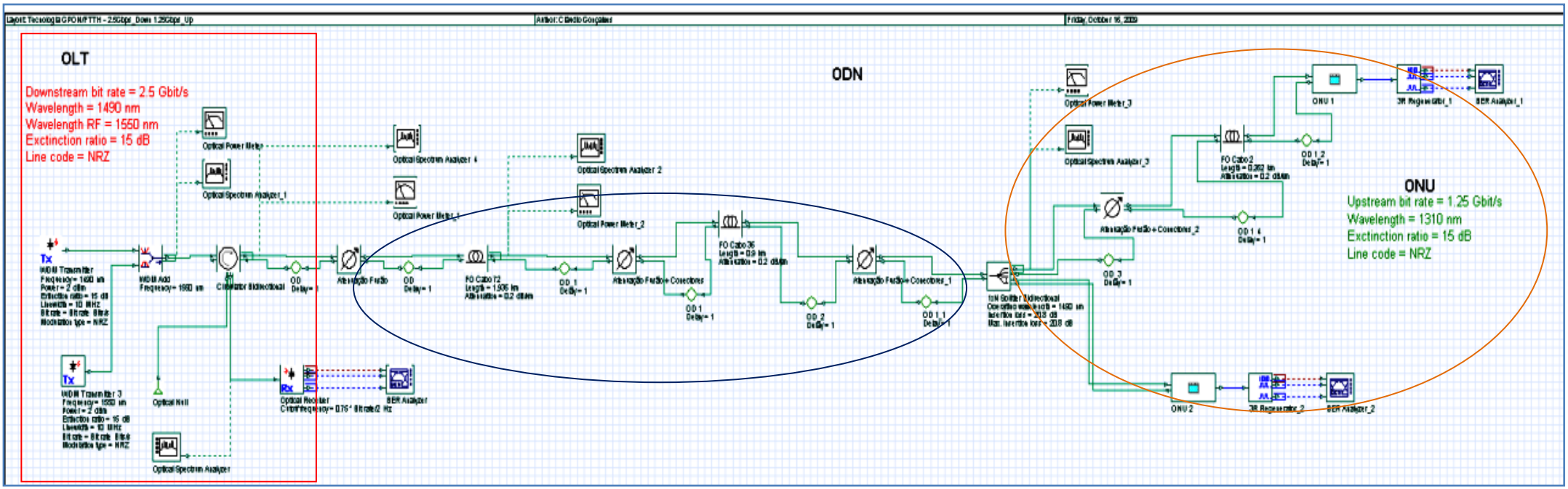


Figura 5.8 - Esquema completo da simulação de uma ligação GPON/FTTH

5.2.3 Procedimento

De uma forma muito geral, qualquer equipamento óptico, e especificamente neste caso de estudo o OLT e o ONU, contêm um transmissor e um receptor óptico de acordo com o esquema da Figura 5.9.

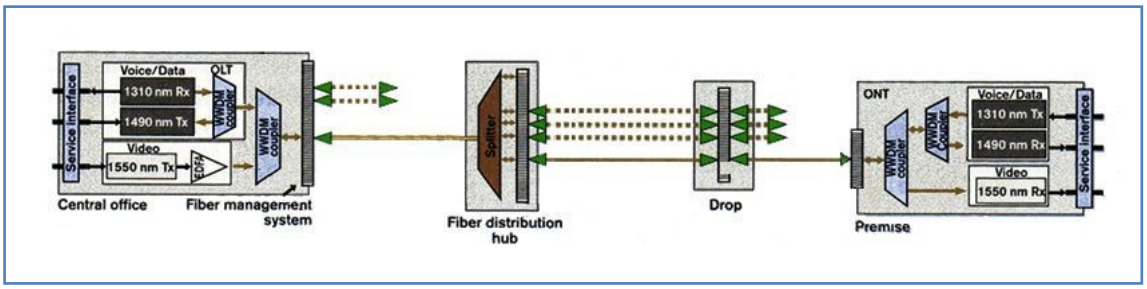


Figura 5.9 - Esquema básico de uma ligação entre OLT e ONU [28]

Basicamente a simulação vai consistir em três módulos: - no primeiro módulo o OLT que é constituído por dois transmissores ópticos, um para transmitir no comprimento de onda dos 1490nm, outro para transmitir no comprimento de onda dos 1550nm; e ainda um fotodetector para receber o sinal *upstream* no comprimento de onda de 1310nm; o segundo módulo é estabelecido pelo próprio circuito de fibra óptica em que foi considerado o troço de alimentação que vai desde o OLT até ao PT, mais especificamente onde está situado o repartidor óptico e o troço de distribuição. O terceiro módulo consiste no ONU situado na residência do utilizador final sendo constituído por dois fotodetectores APD, um para o comprimento de onda dos 1490nm e 1550nm de forma a receber os sinais ópticos, e um transmissor óptico para transmitir no comprimento de onda dos 1310 nm.

De forma a conhecer a aplicação experimentou-se e correu-se alguns dos ficheiros com projectos já predefinidos. Recorreu-se também a tutoriais que já vinham juntamente com a documentação fornecida, e ficheiros com projectos sobre o balanço de potência e também sobre um sistema BPON de 622 Mbps.

5.2.3.1 *Circuito downstream 2,5 Gbps*

Inicialmente foi criado um novo projecto no OptiSystem, no qual se iniciou a criação do circuito colocando os vários elementos ópticos. Na parte referente ao OLT foram colocados dois transmissores ópticos WDM presentes na Figura 5.10 com as seguintes definições: o primeiro com o comprimento de onda de 1490 nm simulando o tráfego *downstream*; o segundo com o comprimento de onda de 1550nm simulando o sinal de vídeo analógico, ambos com uma potência do sinal óptico de entrada de 2 dBm, um *extinction ratio* de 15 dBs. A taxa de transmissão de dados é de 2,5 Gbps, com uma codificação NRZ.

Trans. WDM 1550nm Properties

Label: Trans. WDM 1550nm Cost$: 0.00

Main | ... | Co... | En... | Sid... | RIN | Chirp | Pol... | Sim... | N... | Ra...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Number of output ports	1		Normal
☑	Frequency	1550	nm	Normal
☐	Frequency spacing	100	GHz	Normal
☑	Power	2	dBm	Normal
☑	Extinction ratio	15	dB	Normal
☑	Linewidth	10	MHz	Normal
☐	Initial phase	0	deg	Normal

WDM Transmitter Properties

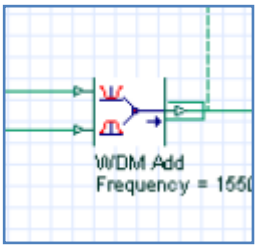
Label: Transmissor WDM 1490nm Cost$: 0.00

Main | ... | Co... | En... | Sid... | RIN | Chirp | Pol... | Sim... | N... | Ra...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Number of output ports	1		Normal
☑	Frequency	1490	nm	Normal
☐	Frequency spacing	100	GHz	Normal
☑	Power	2	dBm	Normal
☑	Extinction ratio	15	dB	Normal
☑	Linewidth	10	MHz	Normal
☐	Initial phase	0	deg	Normal

Figura 5.10 - Propriedades dos Transmissores WDM para os 1490nm e 1550nm

Para juntar os dois sinais na mesma fibra óptica foi colocado um WDM Add, onde se pretende juntar o comprimento de onda 1490 nm com o de 1550 nm na mesma fibra. Na Figura 5.11 temos uma visualização do bloco WDM Add e as suas propriedades. Considerou-se este elemento óptico sem atenuação pois faz parte de apenas um elemento, o OLT, o qual já tem uma atenuação global definida.

a) 

b)

WDM Add Properties

Label: WDM Add Cost$: 0.00

Main | Simulation | Noise

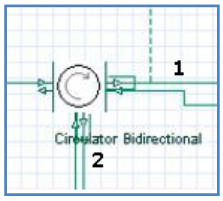
Disp	Name	Value	Units
☑	Frequency	1550	nm
☐	Bandwidth	10	GHz
☐	Insertion loss	0	dB
☐	Depth	100	dB
☐	Filter type	Bessel	
☐	Filter order	2	

Figura 5.11 - a) Bloco WDM Add. b) Propriedades do WDM Add.

Seguidamente, colocou-se à saída um medidor de potência óptica para se observar a potência medida representado nas Figuras 5.12.

Figura 5.12 - Potência óptica na saída do bloco WDM Add.

O próximo elemento é um circulador óptico bidireccional, o que permite com que se faça a transmissão *upstream* e *downstream* na mesma fibra, caso contrário não seria possível obter-se o sinal *upstream* do ONU no comprimento dos 1310 nm de 1 para 2 na Figura 5.13 a). No entanto, este elemento introduz atenuação, a qual foi estimada em 1,5 dB. É ilustrado na Figura 5.13, o símbolo do elemento tanto como as suas propriedades.

a) 

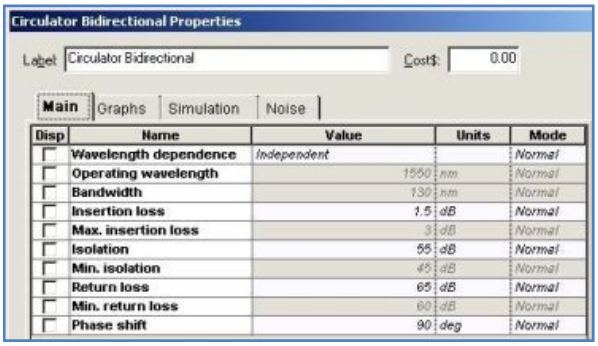
b) 

Figura 5.13 - a) Bloco Circulador óptico. b) Propriedades do circulador.

Colocou-se na saída do circulador, um analisador de espectro óptico e um medidor de potência óptica de forma a visualizar, na Figura 5.14, o efeito atenuativo do circulador que se pode comprovar fazendo a diferença entre os dois medidores de potência óptica.

Figura 5.14 - Medidor de potência a saída do circulador

Atenuação do circulador = sinal de entrada (saída do WDM Add) – sinal à saída

=2.087 dBm – 0.586 dBm = 1.5001 dB

A partir deste ponto o circuito é pensado como se fosse a saída do OLT para a parte da rede de alimentação. É constituída na sua maioria pelo cabo de fibra óptica com uma atenuação de cerca de 0,2 dB/km para uma fibra monomodo de acordo com a norma G.657, os pares de conectores com uma atenuação de 0,3 dB e fusões térmicas com um valor de 0,1 dB, obtendo-se com uma atenuação total de 0,4 dB em cada bloco. Acedendo às propriedades de qualquer um dos blocos da fibra óptica, existem vários pormenores sobre a própria fibra podendo, a partir de um elemento ideal, construir um elemento mais real, editando as propriedades. Contém vários separadores, sendo que o principal, apresenta os parâmetros tais como comprimentos de onda de referência, distância e atenuação. Os outros separadores

contêm características das fibras tais como a dispersão e o modo dependente da polarização tal como é ilustrado na Figura 5.15.

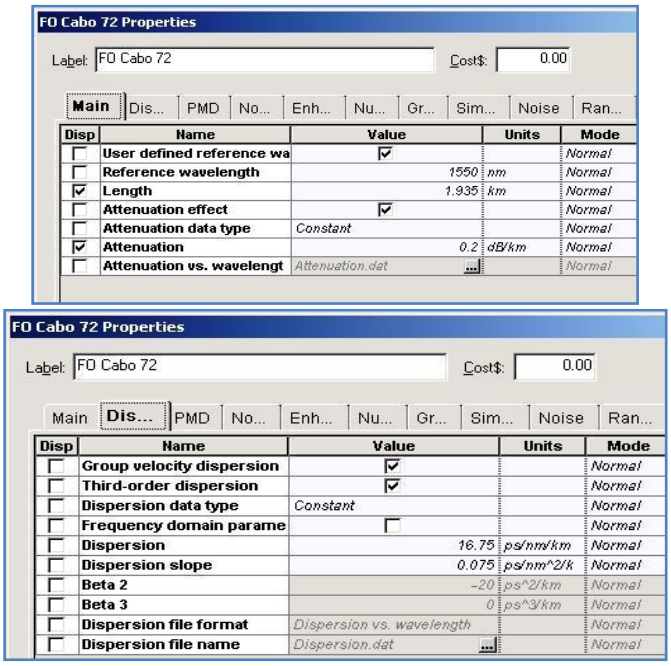


Figura 5.15 - Propriedades do cabo de 72 FO

O trajecto considerado é essencialmente composto pelo cabo de fibra óptica desde o circulador até ao repartidor óptico, visto que é considerado apenas o ponto mais distante; foi também tido em conta as mudanças de um cabo para outro, passando de 72 fibras para 36 fibras, com as correspondentes fusões, caracterizado na Figura 5.16. De forma a observar o seu comportamento, colocou-se novamente um analisador de espectros, onde seria possível confirmar, inicialmente, se o comprimento de onda se mantinha inalterado e por outro lado verificar a variação da potência. Colocou-se também um medidor de potência na saída do cabo de 72 fibras ópticas, onde se comparou e se verificou com o valor do medidor de potência anterior e obteve-se o valor total da atenuação da fibra, dos pares de conectores e fusões térmicas para o percurso dividido em duas partes. O cabo de 72 fibras com uma distância de 1,935 km e a segunda parte o cabo de 36 com 0,9 km até ao PT (neste caso o F-SM 470) que seria onde iria ficar o repartidor óptico.

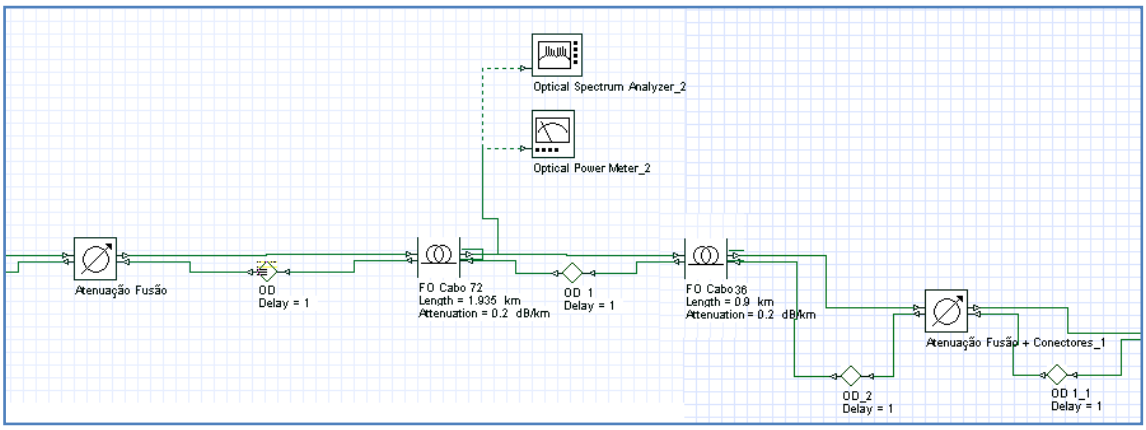


Figura 5.16 - Rede alimentação GPON.

O valor de potência obtido na saída do circulador foi de 0,586 dBm, considerando igualmente o medidor óptico da Figura 5.17 com um valor de – 0,2 dBm.

Figura 5.17 - Medidor de potência a saída do repartidor óptico

De seguida analisa-se o repartidor óptico que ficaria situado no PT, considerando um valor de 1:64, no entanto, no sentido de simplificar a simulação foi inserido um repartidor 1:2 com o valor de atenuação de um repartidor 1:64. O valor da atenuação proposta pelos fabricantes para um repartidor óptico de 1:64 é cerca de 20,8 dBs, valor que foi inserido no repartidor 1:2, como se pode verificar na Figura 5.18, nas suas propriedades na opção *Insertion loss*.

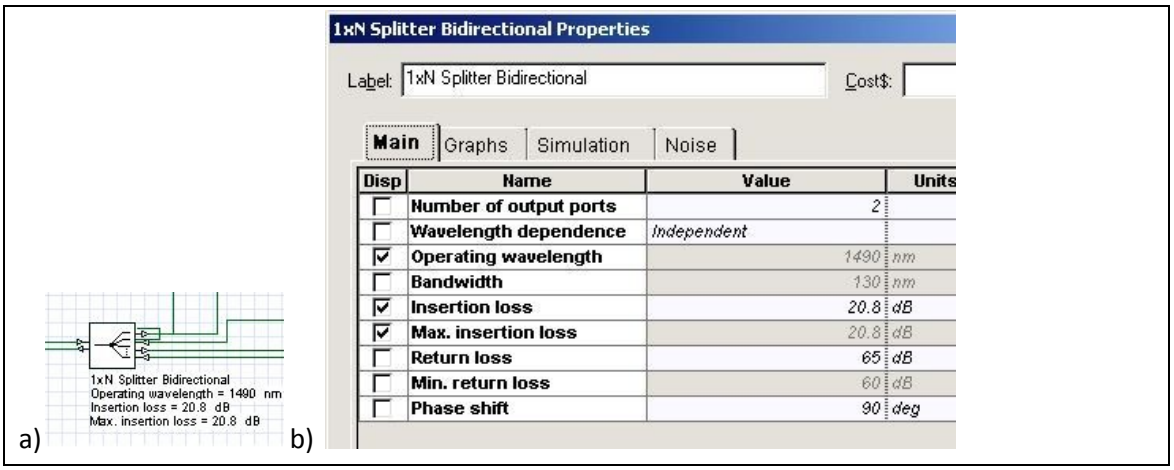


Figura 5.18 - a) Bloco Repartidor óptico. b) Propriedades do Repartidor óptico.

Também foi colocado o medidor de potência para visualizar a atenuação ocorrida após o repartidor óptico.

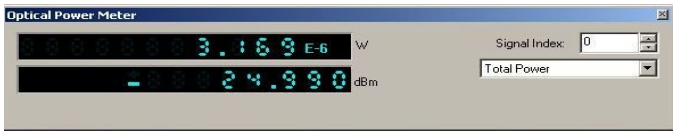


Figura 5.19 - Medidor de potência a saída do repartidor óptico

O valor de potência obtido no medidor da Figura 5.17 situado depois do cabo de 72 fibras ópticas, foi de - 0,2 dBm, faltando ainda considerar o restante trajecto percorrido por um cabo de 36 fibras com um comprimento cerca de 900 m que vai ligar PT470, neste caso o repartidor óptico. As perdas teóricas à saída do repartidor para esta parte foram calculadas da seguinte forma:

Perdas à saída do PS = Perdas circulador + Perdas do cabo 72 FO +Perdas pares de conectores e fusões + perdas do cabo de 36 + perdas no repartidor.

Perdas = 1,5 dB + 1,935 km x 0,2 dB + 3 x 0,4 dB + 0,9 km x 0,2 dB/km + 20,8 dB = 24,067 dB

Depois efectuou-se o cálculo, tendo em conta os medidores de potência, aplicado após o cabo de 72 fibras e o medidor, situado depois do repartidor óptico (Figura 5.19) e obteve-se o seguinte valor simulado para as perdas:

Perdas = Potência saída cabo 72 FO – Potência saída repartidor
Perdas = - 0,2 dBm – (- 24,990) dBm = 24,790 dBs

Neste caso, obteve-se valores diferentes, sendo o valor simulado superior, pois já tem em conta outras perdas, que nos valores teóricos não se considerara, devido às características próprias das fibras, tais como a dispersão, as perdas por espalhamento, o tipo de conector e do próprio repartidor.

Depois do repartidor óptico, entramos na parte do circuito designada como rede de distribuição. Em ambas as saídas do repartidor foram associados dois ONUs, sendo um colocado no PT e o outro colocado no prédio mais distante a cerca de 212 m do mesmo, onde foi considerada uma margem de 50 m dentro do edifício, como se pode visualizar na Figura 5.20, no bloco designado por FO cabo, assinalado a vermelho.

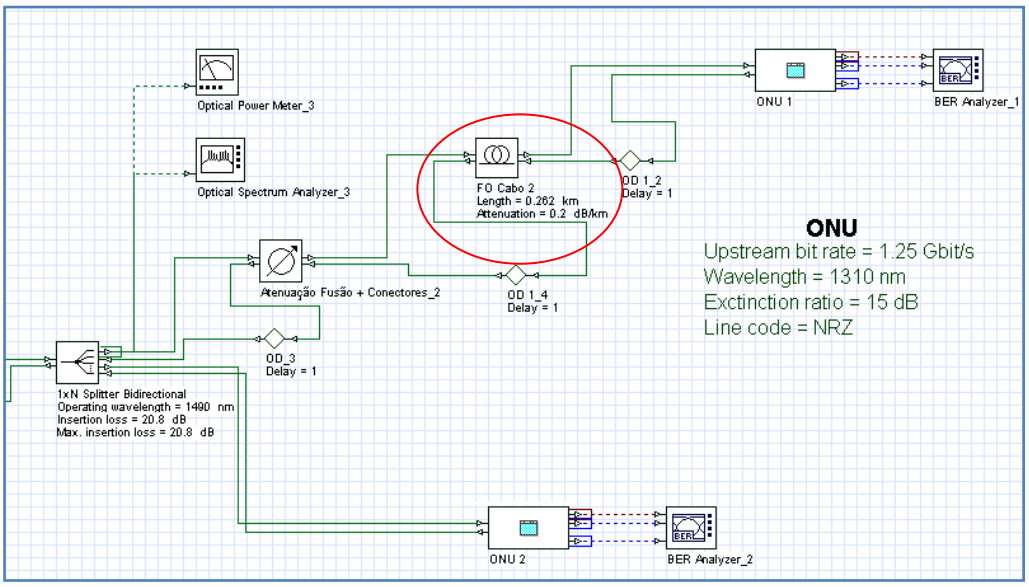


Figura 5.20 - Rede Distribuição

Tal como é perceptível na Figura 5.20, as ligações contêm três de cores diferentes, correspondendo a três tipos de ligações diferentes. Nas ligações com a cor verde são transportados sinais ópticos, nas ligações com a cor azul são colocados sinais eléctricos e ainda nas ligações com a cor vermelha são utilizados sinais binários originados por um bloco gerador de sequências de bits pseudo-aleatórias incluído no regenerador 3R.

O ONU tal como que se pode verificar na Figura 5.20, é um bloco designado como subsistema, ou seja, um bloco com componentes no seu interior, constituído por mais que um elemento, com uma entrada e duas saídas, demonstrado na Figura 5.21. O regenerador 3R recupera o sinal de entrada, que depois é enviado para o analisador BER, no qual é examinado o valor da razão de bits errados, e obtido o diagrama de olho do sistema, o que permite verificar o seu desempenho.

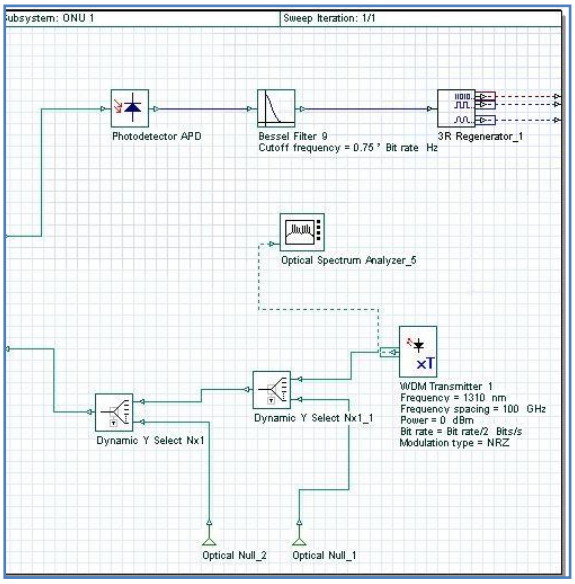


Figura 5.21 - Bloco ONU

A utilização de um regenerador 3R encontra-se já predefinida na aplicação no bloco do receptor óptico (Figura 5.22), pois sem o mesmo não seria possível utilizar o bloco analisador BER. O bloco é constituído por um porto de entrada que recebe o sinal eléctrico à saída do ONU e três portos de saída. No primeiro porto de saída temos uma sequência de bits, no segundo porto, um sinal modulado NRZ e no terceiro porto uma cópia do sinal de entrada.

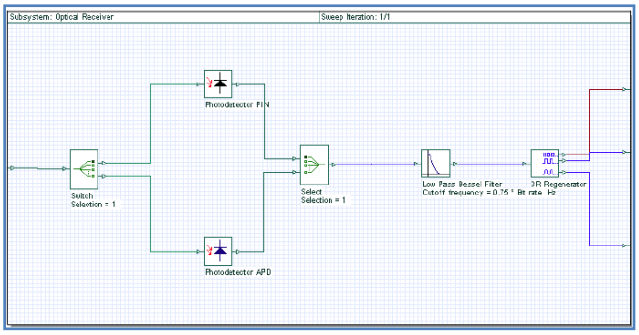


Figura 5.22- Subsistema de um receptor óptico

Na configuração do ONU podemos visualizar um fotodetector APD que vai detectar o sinal óptico que depois é filtrado por um filtro passa baixo Bessel de ordem 4 com uma frequência de corte de valor igual a 0.75*taxa de dados = $1.875 \times 10^{+9}$ Hz como se pode confirmar de acordo com as propriedades dos mesmos na Figura 5.23. Este tipo de filtro de Bessel sendo o mais adequado para sistemas WDM pois elimina grande parte do ruído gerado pelo fotodetector, na conversão do sinal óptico para um sinal eléctrico. Os fotodetectores APD foram escolhidos pois têm maior sensibilidade que os fotodetectores PIN, pois ao colocarmos fotodetector PIN no ONU não se obteve o diagrama de olho desejado, no entanto ao substitui-lo por o fotodetector APD já foi possível obter.

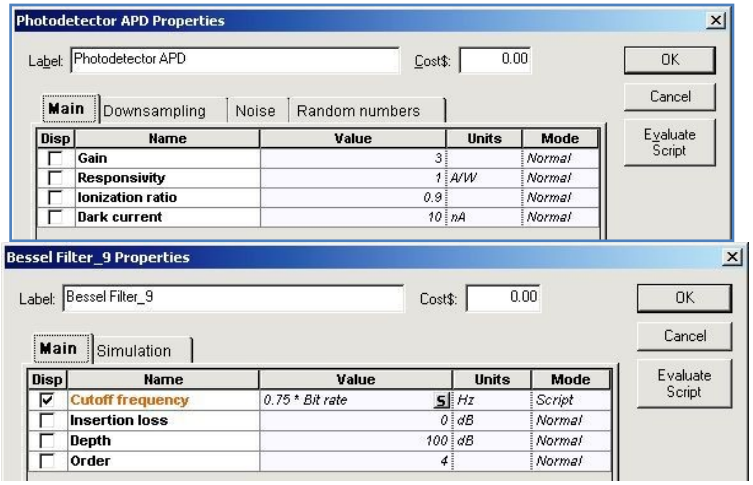


Figura 5.23 - Propriedades dos blocos fotodetector APD e filtro de Bessel.

Durante a fase de teste da aplicação, verificou-se, que existia um bloco analisador de BER no qual se poderia obter o valor da taxa de bits errados, complementando a simulação. De acordo com a tabela 2c/G.984.2 em [50] é indicado o valor mínimo do BER para uma taxa de transmissão de 2,5 Gbps *downstream* e que este teria que ser inferior a 1×10^{-10}.

Executou-se a simulação elaborando todos os cálculos anteriormente descritos e após a sua conclusão verificaram-se todos medidores de potência e analisadores de BER. No caso dos analisadores de espectro e medidores de potência os valores já foram abordados durante o procedimento anterior. No analisador de BER obteve-se o gráfico ilustrado na Figura 5.24 representando o sinal *downstream,* e verificou-se o desempenho do sistema através do diagrama de olho e uma tabela de análise rápida indicando os valores dos parâmetros.

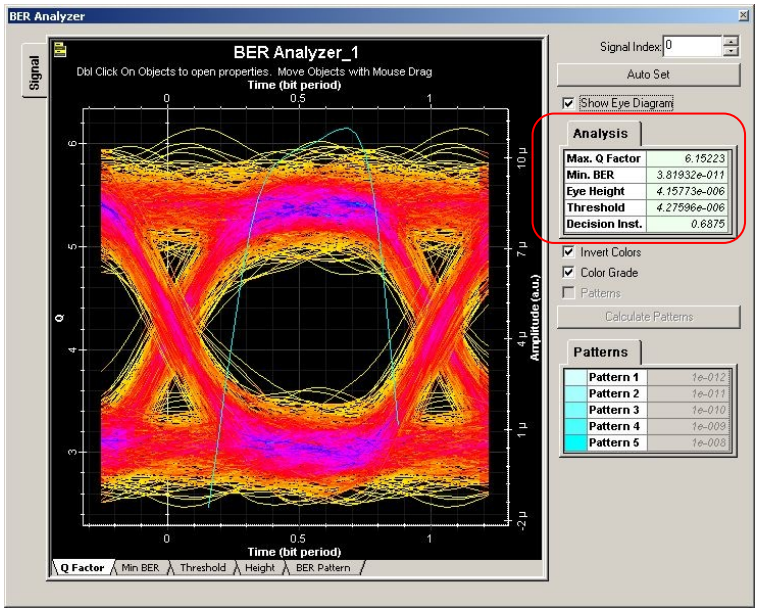


Figura 5.24- Analisador BER no ONU 1

De acordo com a tabela de análise na Figura 5.24 no canto superior direito, podemos observar o valor mínimo da taxa de BER é 3,82x 10^{-11} no ONU1, obtendo-se um valor inferior ao permitido que era de 1x 10^{-10}. Contudo verificou-se que para o ONU2 obteve-se um valor mínimo da taxa de BER de 6,56x10^{-13} sendo este também inferior ao permitido,

No documento T-REC-G.984.2 existem apenas os valores ideais dos limites do diagrama de olho para uma taxa de transmissão de 1,25 Gbps, e apenas alguns valores dos limites do diagrama de olho para 2,5 Gbps, representado na Figura 5.25.

Consideraram-se os valores no diagrama de olho obtidos através das linhas verdes na Figura 5.25 para o ONU2, comparou-se com o diagrama de olho e os valores da tabela da Figura 5.26. Na Figura 5.25 retiraram-se os valores de amplitude inferior de **y1=0,18**, e o valor superior de **y2=0,78** e, também em termos temporais o valor **x2=0,27**, e o valor **x3=0,8** a partir dos quais, se efectuou a operação **x3-x2=0,8-0,27=0,53**, ainda que o valor obtido pudesse ser inferior. No entanto, na tabela da Figura 5.26 o valor de **x3-x2** é de 0,2 o que é um valor inferior ao obtido. Os valores **y1=0,25** e **y2=0,75** também são inferiores aos obtidos anteriormente. Depois de comparar os valores alcançados com os valores do padrão, verificou-se que o sistema tem um bom desempenho, sendo possível, por isso, a sua implementação.

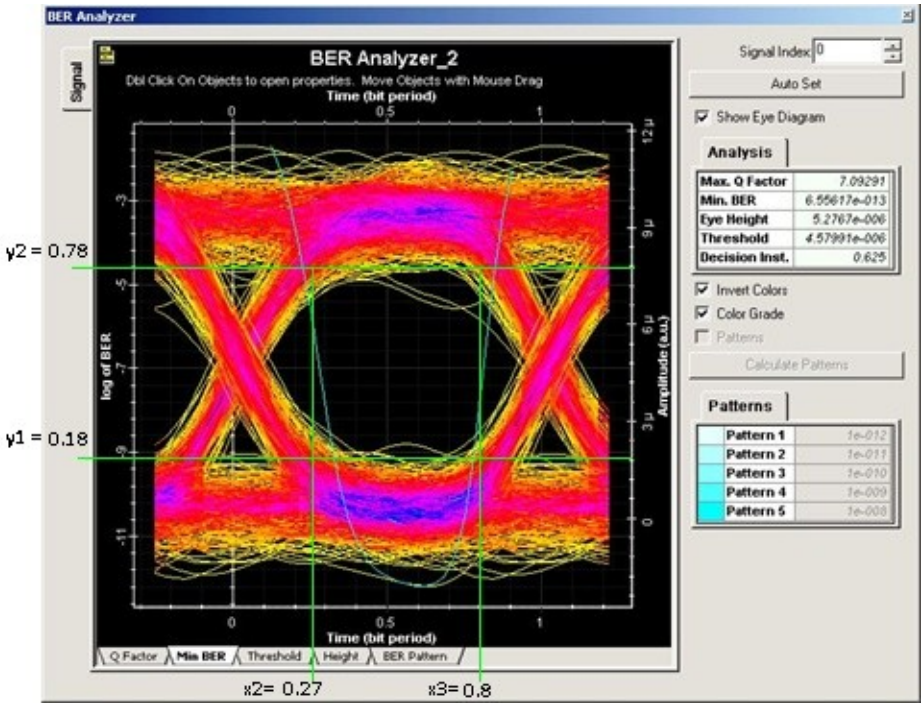
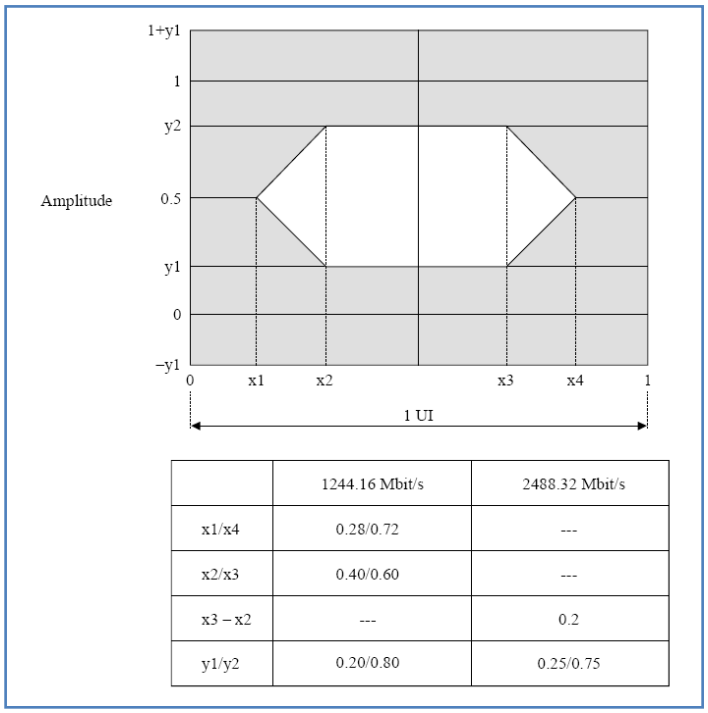


Figura 5.25 - Analisador de BER no ONU 2



	1244.16 Mbit/s	2488.32 Mbit/s
x1/x4	0.28/0.72	---
x2/x3	0.40/0.60	---
x3 – x2	---	0.2
y1/y2	0.20/0.80	0.25/0.75

Figura 5.26 - Diagrama de olho e tabela retirados do T-REC-G.984.2

Em relação ao balanço de potência podemos verificar que o valor simulado final obtido de perdas é verificado através da diferença entre o valor do primeiro medidor de potência (situado depois do bloco WDM) e o medidor de potência colocado no antes do ONU 1 na Figura 5.27, resultando num valor de – 25,44 dB:

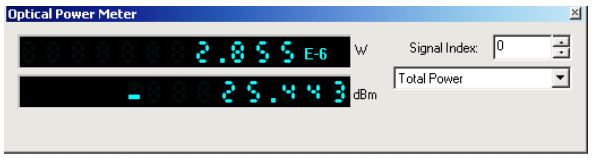


Figura 5.27 - Medidor de potência antes do ONU1

Atenuação total = Potência no WDM add – Potência antes do ONU

Atenuação total = 2,087 dBm – (-25,443) dBm = 27,53 dB

O valor teórico obtido no balanço de potência é de 27,6 dB, e na qual já se inclui a margem de segurança de 2 dB, e uma margem de reparações de fusões no valor de 0,5 dB para cada trajecto. Como podemos concluir, os valores obtidos são muito semelhantes aos projectados, permitindo confirmar a viabilidade do projecto embora o ideal seria comprovar estas simulações com testes, utilizando os equipamentos reais.

5.3 Conclusão

Com esta simulação, pretendeu-se analisar e simular o balanço de potência e comparar com o valor teórico obtido do mesmo, bem como obter o diagrama de olho típico, tal como consta das tabelas do padrão G.984.

Concluiu-se que, após todo o cálculo e todas as escolhas feitas, que o sistema é realizável pois tal como foi mencionado anteriormente teria que haver luz suficiente para percorrer todo o percurso, sendo o que valor final do excesso relativo de potência foi de 1,39 dB. Caso fosse negativo teria que ser feita uma revisão aos cálculos, introduzindo novos transmissores e receptores ou então ter-se ia que alterar a topologia do projecto. No entanto, é de frisar que os valores calculados são para o pior caso possível, onde foram considerados os valores mínimos de potência emitida e de sensibilidade do emissor e receptor, respectivamente.

A execução da simulação permitiu a análise do diagrama de olho, a taxa BER e a visualização do sinal através do bloco de analisador de espectros para além do balanço de potência.Os valores obtidos do balanço de potência estão dentro dos valores esperados, confirmando o estudo teórico feito, e respeitando-se o balanço de potência de 28 dBs, tal como é requisitado pelo padrão G.984 para a classe B+.

A taxa de BER obtida, encontra-se dentro dos valores esperados, ou seja, os valores teriam que ser inferiores a uma BER de $1X10^{-10}$, sendo que o valor mais alto obtido foi de $3,82X10^{-11}$.Depois da análise aos diagramas de olho obtidos com o diagrama de olho do documento ITU-R G984, concluiu-se que o diagrama indica um melhor desempenho do sistema do que seria pedido.

6. Conclusões

O projecto tratou de um estudo sobre a tecnologia FTTH. Inicialmente foram abordados os aspectos relativos à tecnologia, onde se teve que estudar qual seria o melhor padrão a aplicar dos vários em vigor, sendo o EPON e o GPON os favoritos. No entanto, concluiu-se que a opção mais correcta seria o GPON, devido a um leque maior de taxas de transmissão, maior capacidade de em termos de utilizadores.

De seguida estudou-se o padrão GPON, obtendo-se assim uma informação mais detalhada do mesmo e o seu modo de funcionamento. Apresentou-se uma gama de equipamentos activos, onde se teve a noção de um OLT, um ONT. Entretanto, também foram ilustrados os equipamentos passivos utilizados na implementação da rede de acesso, tais como o cabo de fibra óptica e caixas de junção.

O tipo de arquitectura é outro campo fundamental, onde abordaram-se os vários tipos de arquitectura disponíveis para as PONs e que tipo de protecção era utilizado em cada uma delas. Escolheu-se a arquitectura que na sua rede de distribuição contém duas fibras desde o OLT até ao repartidor, em que quando o caminho activo falhar é activado o caminho de protecção sendo uma opção bastante atractiva em termos económicos.

No planeamento utilizaram-se as ferramentas ArcView, e-SIT e o AutoCad que permitiram a sua execução. Com o ArcView foi possível obter-se um cadastro da rede de um ponto de vista *on-top,* visualizando-se o trajecto da fibra e a localização dos vários elementos numa carta militar da zona urbana em causa, obtendo também uma base de dados com a localização e informação. No e-SIT, foi onde se localizaram todos os pontos de distribuição ópticos através de um código do ramal dos mesmos. No AutoCad criaram-se os vários sinópticos das rede de distribuição e alimentação onde foi cadastrada toda a informação do ArcView para a área escolhida. Com a informação toda reunida criou-se a tabela de material passivo, que seria necessário para a implementação de todo o circuito da área em questão na rede GPON EEM 1.

No balanço de potência, estudou-se qual a sua importância nas redes ópticas e o seu método de cálculo. Com base na solução da Alcatel retiraram-se os valores necessários da potência mínima e sensibilidade mínima. Depois efectuou-se todo o cálculo e concluiu-se o sistema tinha um desempenho viável, no entanto, seria sempre mais interessante testar no campo.

Na simulação, com a utilização da ferramenta OptiSystem, testou-se tudo o que já tinha sido estudo até ao momento, desde os conceitos básicos do GPON até ao balanço de potência, onde também se utilizaram os valores do planeamento para o trajecto com maiores perdas. No trajecto considerado desde o CO até ao PDO470/8 analisou-se o seu desempenho através dos medidores de potência a partir do qual se poderia obter o valor das perdas e comparar com os valores teóricos do balanço de potência. O desempenho também foi analisado pelos diagramas de olho obtidos com a ajuda do bloco analisador de BER, onde se comparou com os valores do documento do ITU G-984.2 concluiu-se que o diagrama de olho apresentado indicava um bom desempenho e o valor do BER estava dentro dos valores pedidos.

7. Bibliografia

[1] - [Green] - Paul E. Green Jr. , Fiber To The Home – The New Empowerment,2006, págs.28-35
[2] - ITU-T recommendations G-984.1 series; http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en [05/01/2007]
[3] - [Cale, Salihovic, Ivekovic] - *Ivica Cale, Aida Salihivu, Matija Ivekovic,* GPON - Gigabit Passive Optical Network.
[4] – [MEF] - http://metroethernetforum.org/PDFs/EFMA/efm%20pon%20tutorial%20v2.pdf
[5] – [GPON] - http://www.fttxtra.com/ftth/gpon/gpon-tutorial/
[6] – [fiberoptics4sale] - http://www.fiberoptics4sale.com/wordpress/bpon-vs-gpon-vs-epon-a-comparison-of-bpon-gpon-and-epon/
[7] – Ramón Jesus Millan Tejedor. Que és… GPON. [Online] 2008 . [Acesso: Janeiro de 2009.] em http://www.ramonmillan.com/documentos/gpon.pdf
[8] - [Green] - Paul E. Green Jr. , Fiber To The Home – The New Empowerment,2006, págs.45-49
[9] – [Lam] - Lam, Cedric F., *Passive Optical Networks : Principles and Practice,* 2007, ISBN: 978-0-12-373853-0, págs. 46-49
[10] - ITU-T recommendations G-984.2 series; http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en [05/01/2007]
[11] - Portugal, Alcatel-Lucent**.** *Alcatel-Lucent FTTU solution.* [Apresentação] s.l. : Workshop QTel| Doha 2008, 2008.
[12] - Alcatel-Lucent**.** Alcatel-Lucent 7352 ISAM FTTB Optical Network Terminal (ETSI). [Online] 2006-2009 . [Citação: 8 de Janeiro de 2008.] http://www1.alcatel-lucent.com/com/en/appcontent/opgss/Brochure_Q2_08Launch_7_35xISAM_FTTB_tcm228-1421131635.pdf.
[13] - [CABELTE1] - http://www.cabelte.pt/Portals/0/Cat/PT/ADSS_L.swf
[14] - [CABELTE2] - http://www.cabelte.pt/Portals/0/Cat/PT/TON%20ZrE.swf
[15] - [TFO] - http://www.tfo.es/TFOImages/catalogo/eng/cat_6-7-8-9.pdf
[16] - [OPTRONCOMM] http://www.optroncomm.com/
[17] - Zhone Technologies, Inc**.** *Zhone FTTx Solutions.* [Catalogue] Oakland : s.n., 2008. FTTx PG 0108.
[18] - [Go4fiber] - http://www.go4fiber.com/spec/PLS-X-AXX-X.pdf
[19] - Fournier, Paul-François**.** *France Telecom.* [Online] Junho 2006. www.orange.fr.
[20] - [LAGE] Lage, Luiza Basilio (2006). Estudo de uma Rede de Acesso via Fibra Óptica (Projecto Final de Graduação), Departamento de Engenharia Eléctrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
[21] - A. Marx. *Outside Plant Solutions.* [Documento] s.l. : Nokia Siemens Networks, Nokia Siemens Networks, 2008.
[22] – I. Boyer Hard. *Availability and cost estimation of secured FTTH architectures,* artigo do *IEEE, 2008*
[23] - BIEU, Roxana Mariana de Washington State University e STANESCU, Constantin D. de "Politehnica" University of Bucharest, "On optical power budgets for fiber optics", [Disponível em http://imtuoradea.ro/auo.fmte/files-2006/MECATRONICA_files/Roxana-Marina%20Beiu%201.doc.pdf

[24] - G. SNELL, An introduction of fiber optics and broadcasting, SMPTE Journal, vol. 105, no. 4, pp. 1-7,1996

[25] - J. REINHARD, Fundamentals of fiber optics, Volpi Manufacturing Technical Report, 2000 [Disponível em https://www.machinevisiononline.org/public/articles/Volpi_FiberOpticsRevAa.PDF]

[26] - WALTER GORALSKI, Optical Networking & WDM, 2001 McGraw-Hill, págs 121-131.

[27] – OptiSystem Getting Started, Optiwave Software.

[28] – TFO, *Fiber To The Home Solutions* - http://www.tfo.es/web/guest/37

[29] - [Draka] - Datasheet Draka - DCOF_G657_BendBright-XS_SMF

[30] - Zhone Technologies, Inc. *The Convergence of GPON and the Connected Home.* [Application Note] Oakland : Zhone Technologies, 2006. GPON-SOL_AP_0707.

[31] - Farmer, James O. "Jim". *Optical Considerations in FTTH Networks.* [Updated from a paper presented at the 2006 Fiber-to-the-Home Conference] s.l. : Enablence FTTx Networks, 2007.

[32] - Enablence Technologies Inc. *TRIDENT7™ ITU G.984 GPON Optical Network Terminals.* [Datasheet] Alpharetta, Georgia : Enablence FTTx Networks, 2008. 951-00232 Rev 1.1.

[33] - Enablence Technologies Inc. *TRIDENT7™ Element Management Suite.* [Documento] Alpharetta, Georgia : Enablence, 2008. 951-00233 Rev 1.0.

[34] - *TRIDENT7™ - The 10G Universal Access Platform.* [Products Catalogue] Alpharetta, Georgia : Enablence FTTx Networks, 2008. 951-00230 Rev 1.0.

[35] - Zhone Technologies, Inc. *The Convergence of GPON and the Connected Home.* [Application Note] Oakland : Zhone Technologies, 2006. GPON-SOL_AP_0707.

[36] - Zhone Technologies, Inc. *Choosing the Right FTTx Architecture.* [White Paper] Oakland, : s.n., 2008. FTTx Choices wp 0308.

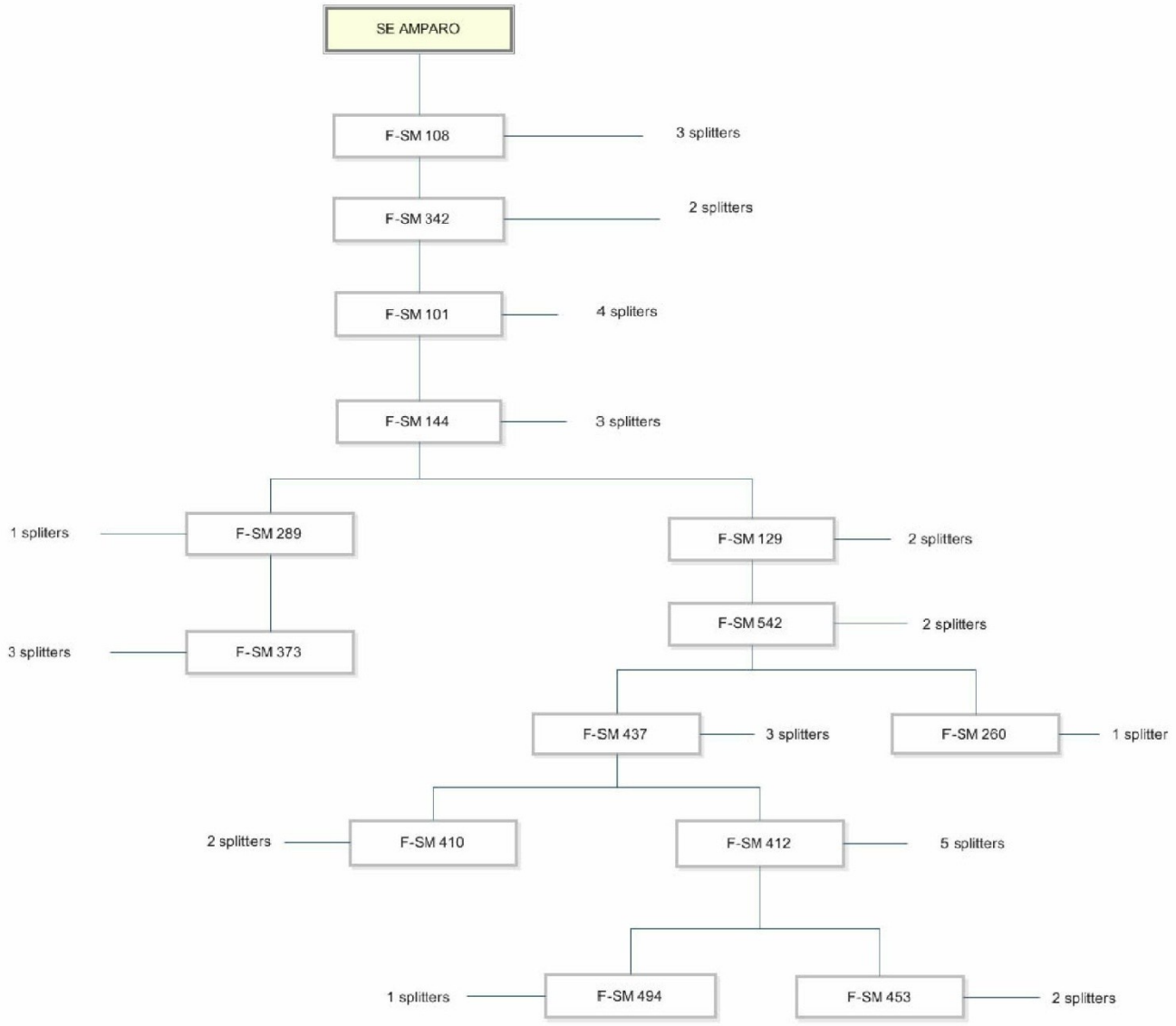
[37] - Fortes, Daniel Naves de Luces, *Estudo De Sistemas Wdm Incluindo Compensação De Dispersão* / Daniel Naves de Luces Fortes. - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2006

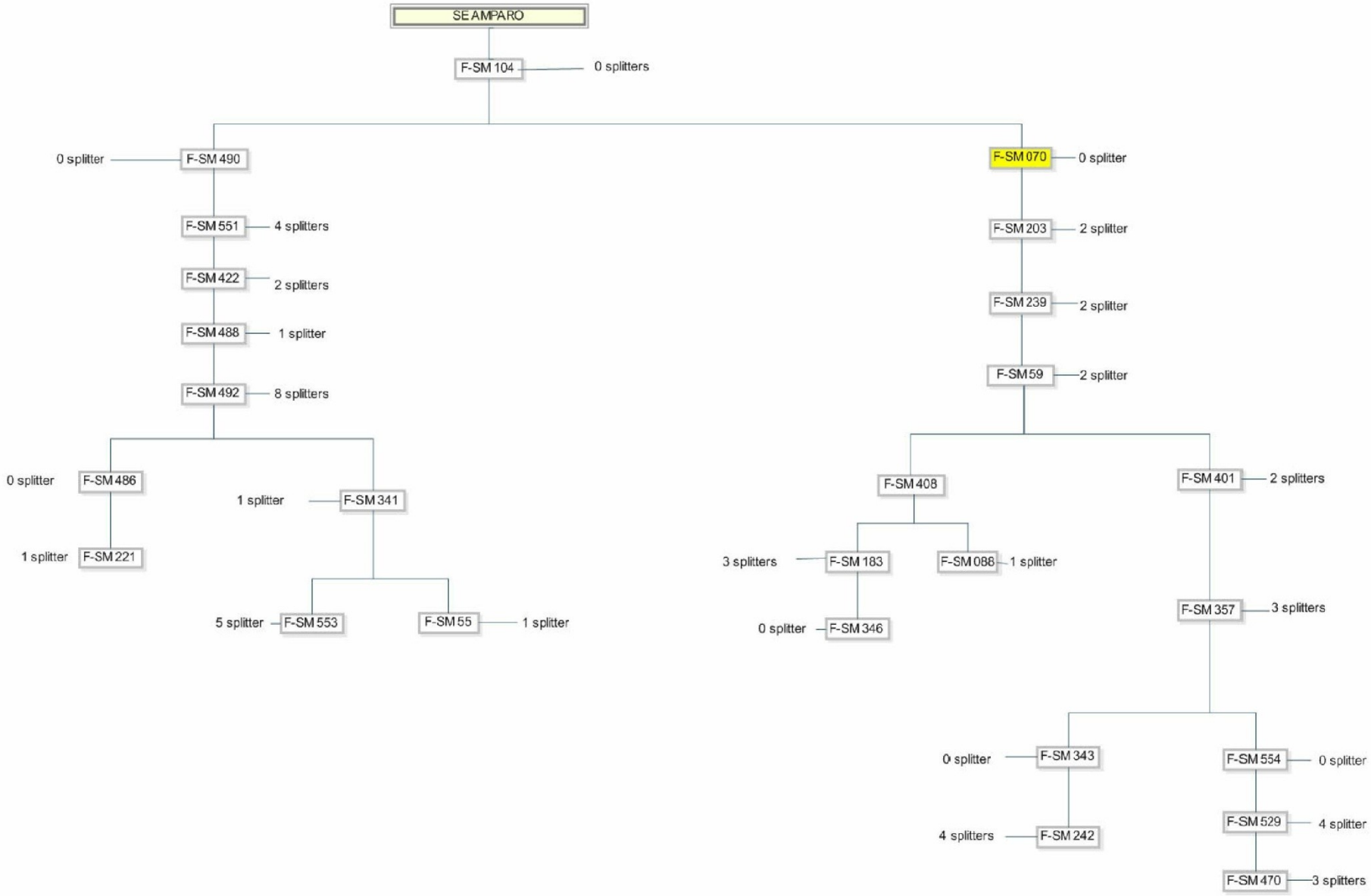
[38] - BICUDO, MARCO DIAS DUTRA, *Sobrevivência em Redes Ópticas Transparentes* [Rio de Janeiro] 2005, XIV, 75 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Eléctrica, 2005) Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

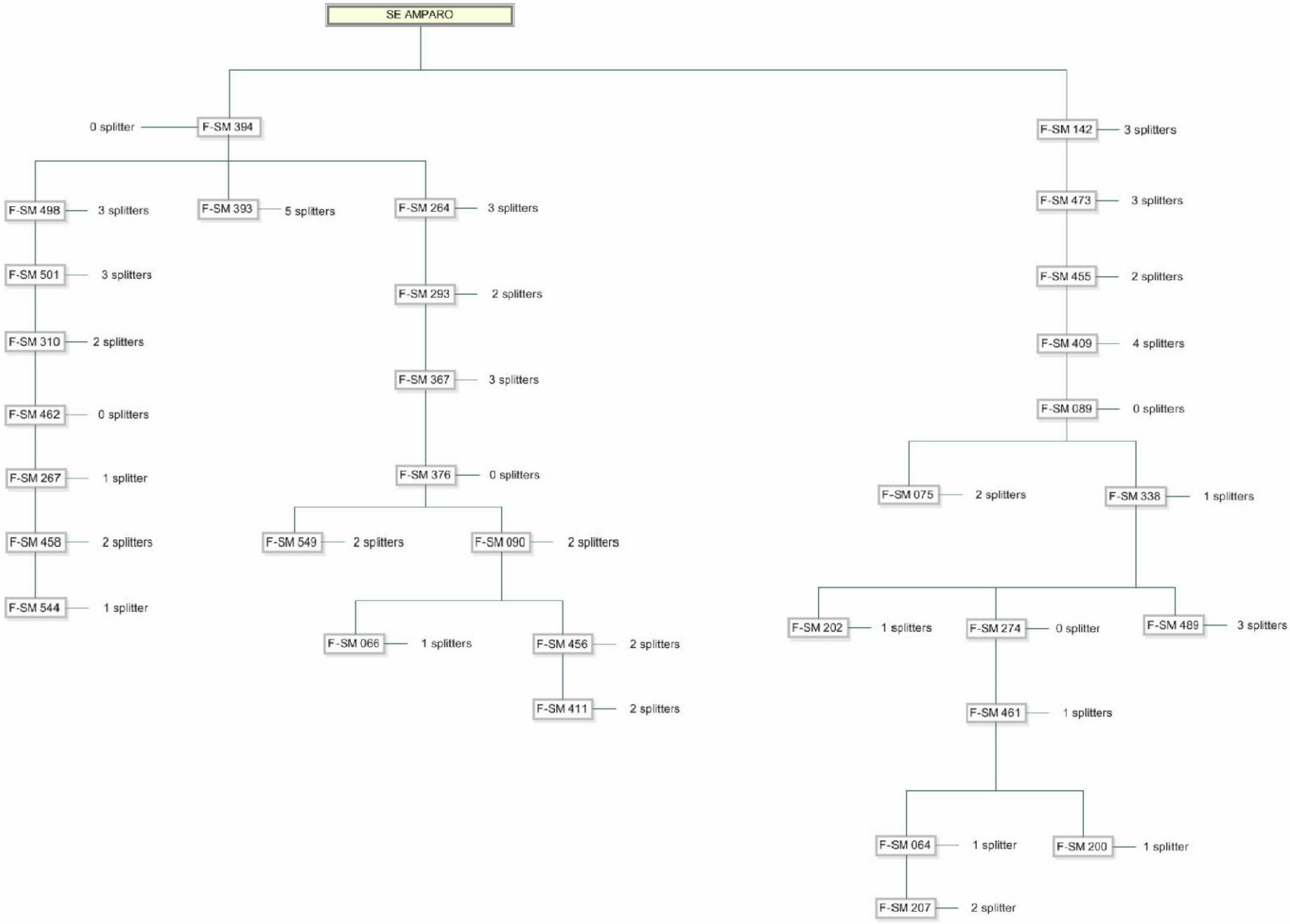
[39] - Leopold Diouf. *Consideration for possible synergies between next generations ITU-T GPON and IEEE EPON*. Geneva, Switzerland : Alcatel-Lucent, 2008.

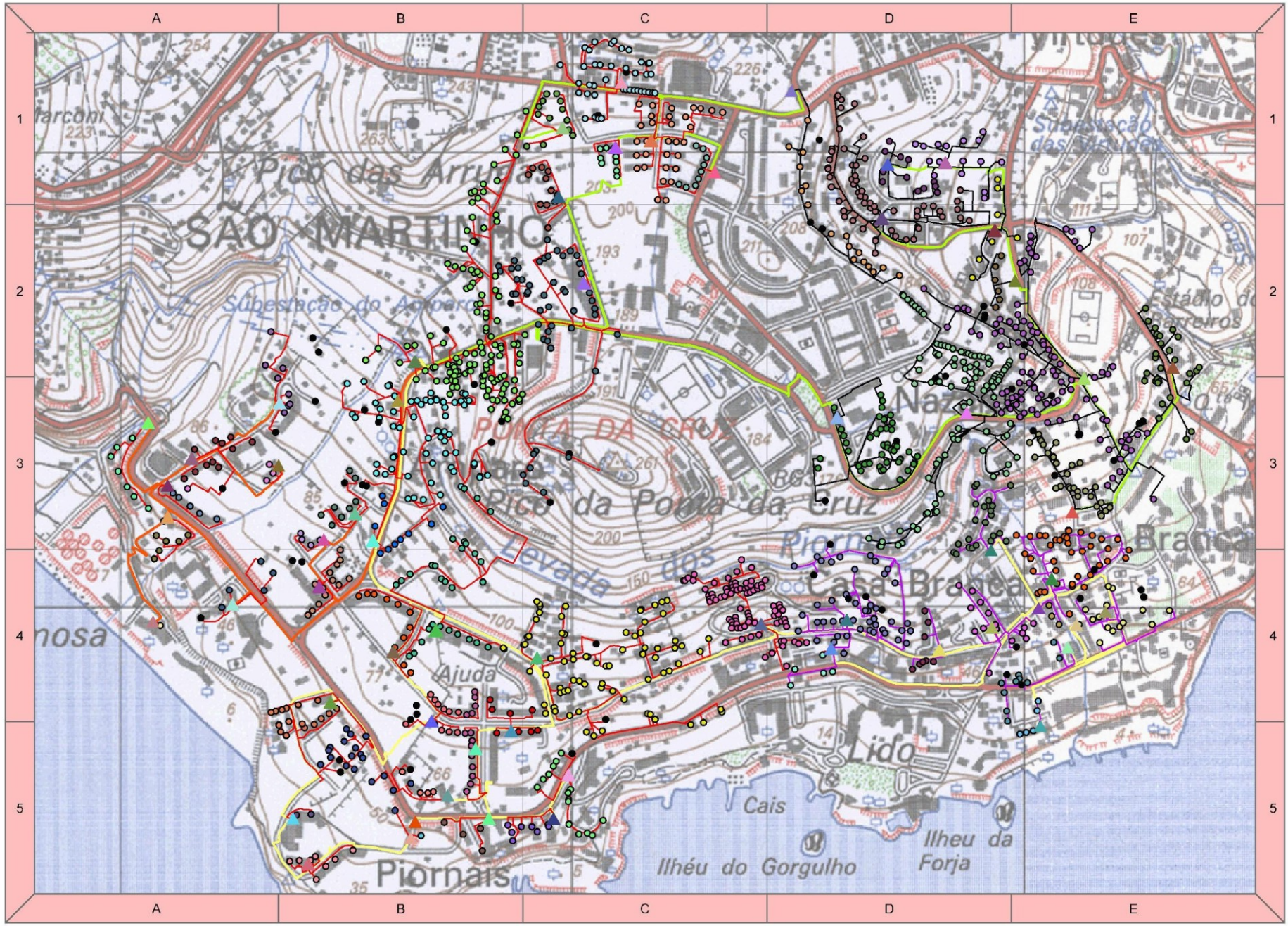
ANEXOS A

ESQUEMAS

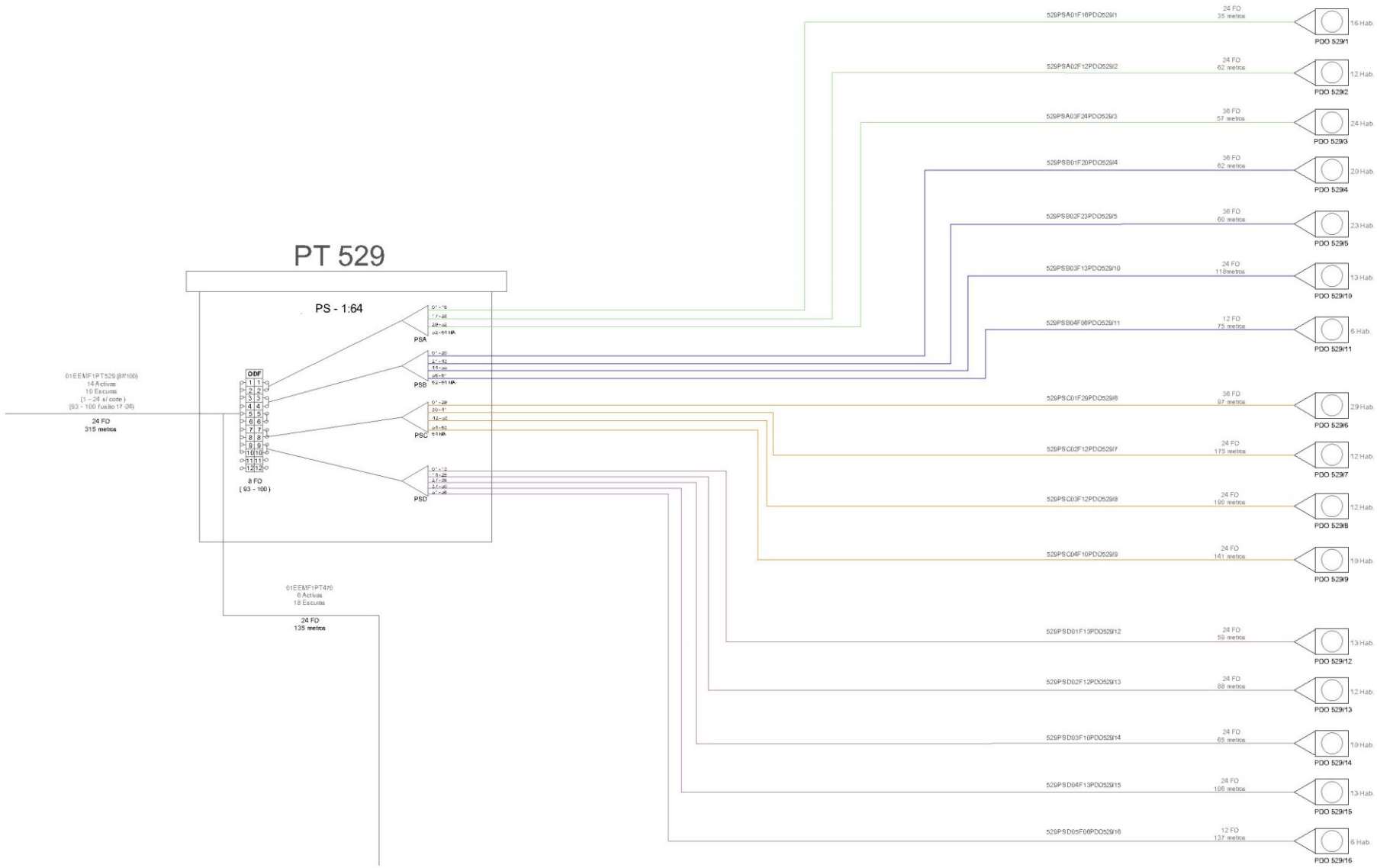

SE AMPARO
F-SM 108
3 splitters
F-SM 342
2 splitters
F-SM 101
4 spliters
F-SM 144
3 splitters
1 spliters
F-SM 289
F-SM 129
2 splitters
F-SM 542
2 splitters
3 splitters
F-SM 373
F-SM 437
3 splitters
F-SM 260
1 splitter
2 splitters
F-SM 410
F-SM 412
5 splitters
1 splitters
F-SM 494
F-SM 453
2 splitters


SE AMPARO
F-SM 104
0 splitters
0 splitter
F-SM 490
F-SM 551
4 splitters
F-SM 422
2 splitters
F-SM 488
1 splitter
F-SM 492
8 splitters
0 splitter
F-SM 486
1 splitter
F-SM 221
1 splitter
F-SM 341
5 splitter
F-SM 553
F-SM 55
1 splitter
F-SM 070
0 splitter
F-SM 203
2 splitter
F-SM 239
2 splitter
F-SM 59
2 splitter
F-SM 408
F-SM 401
2 splitters
3 splitters
F-SM 183
F-SM 088
1 splitter
0 splitter
F-SM 346
F-SM 357
3 splitters
0 splitter
F-SM 343
4 splitters
F-SM 242
F-SM 554
0 splitter
F-SM 529
4 splitter
F-SM 470
3 splitters

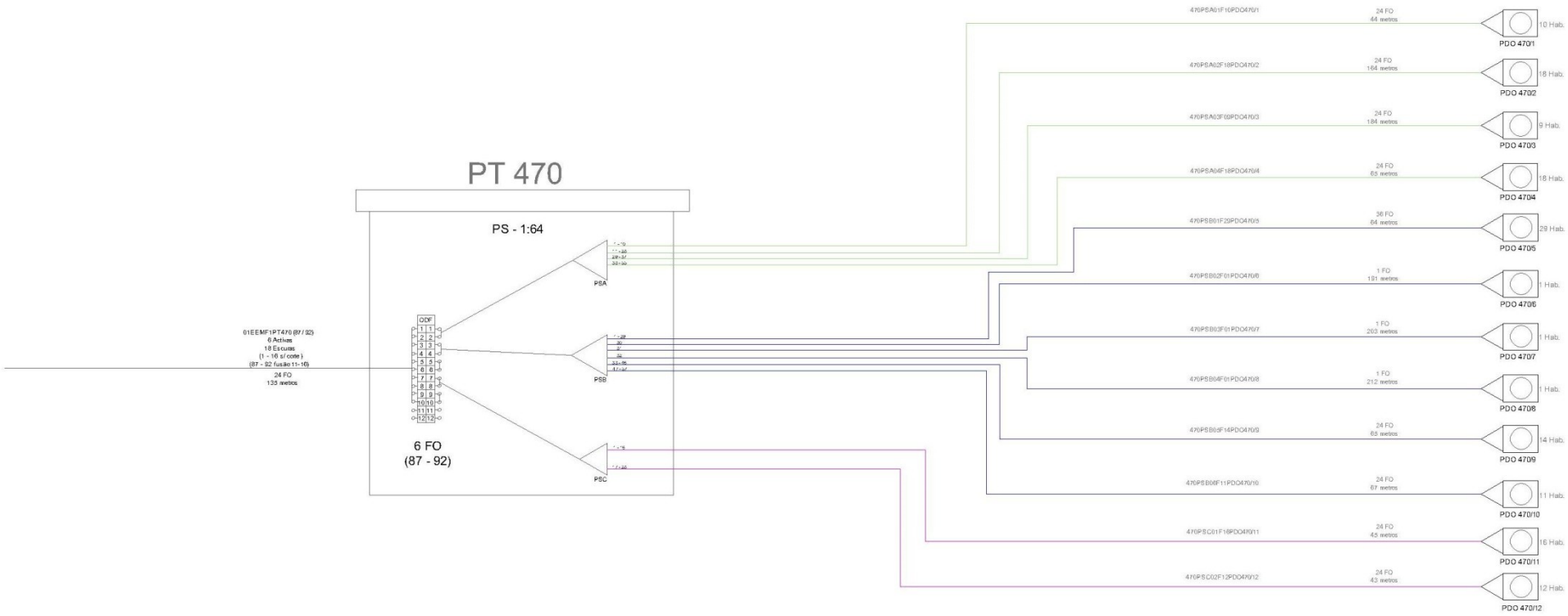

SE AMPARO
0 splitter
F-SM 394
F-SM 498
3 splitters
F-SM 393
5 splitters
F-SM 264
3 splitters
F-SM 501
3 splitters
F-SM 293
2 splitters
F-SM 310
2 splitters
F-SM 367
3 splitters
F-SM 462
0 splitters
F-SM 267
1 splitter
F-SM 376
0 splitters
F-SM 458
2 splitters
F-SM 549
2 splitters
F-SM 090
2 splitters
F-SM 544
1 splitter
F-SM 066
1 splitters
F-SM 456
2 splitters
F-SM 411
2 splitters
F-SM 142
3 splitters
F-SM 473
3 splitters
F-SM 455
2 splitters
F-SM 409
4 splitters
F-SM 089
0 splitters
F-SM 075
2 splitters
F-SM 338
1 splitters
F-SM 202
1 splitters
F-SM 274
0 splitter
F-SM 489
3 splitters
F-SM 461
1 splitters
F-SM 064
1 splitter
F-SM 200
1 splitter
F-SM 207
2 splitter


A
B
C
D
E
1
2
3
4
5
SÃO MARTINHO
Pico das Arrugas
Subestação do Aeroporto
PORTA DA CRUZ
Pico da Porta da Cruz
Levada dos
Piornais
Casa Branca
Ajuda
Lido
Cais
Ilhéu do Gorgulho
Ilheu da Forja
Piornais

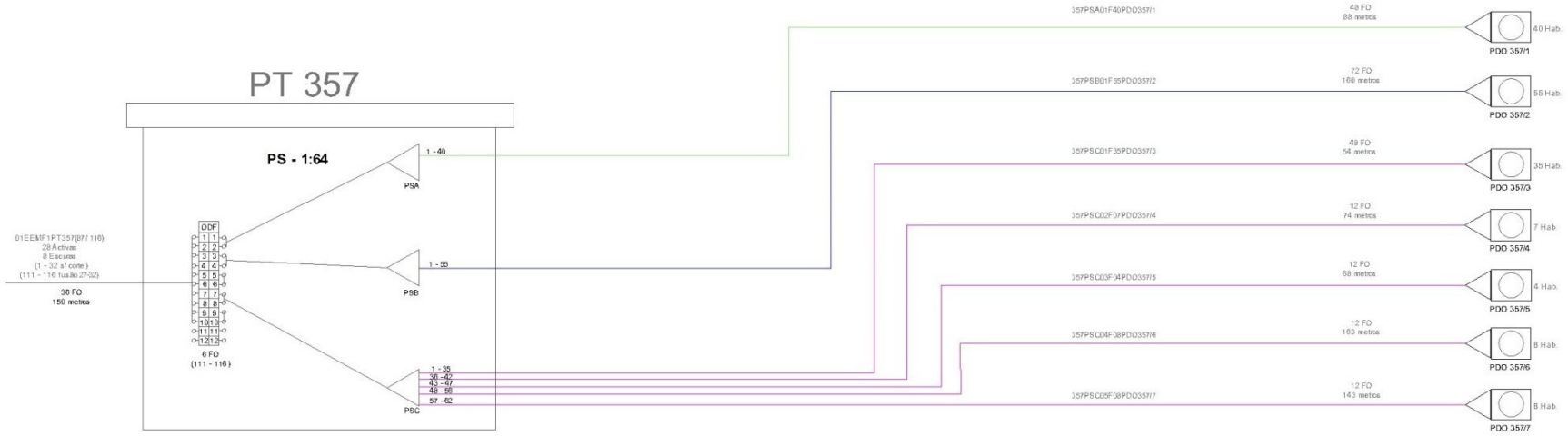
PT 529


PT 529
PS - 1:64
PSA
PSB
PSC
PSD
ODF
01EEMF1PT529 (87/100)
14 Activas
10 Escuras
(1 - 24 s/ code)
(93 - 100 fusão 17-24)
24 FO
315 metros
8 FO
(93 - 100)
01EEMF1PT470
6 Activas
18 Escuras
24 FO
135 metros
529PSA01F16PDO529/1
24 FO
35 metros
16 Hab.
PDO 529/1
529PSA02F12PDO529/2
24 FO
62 metros
12 Hab.
PDO 529/2
529PSA03F24PDO529/3
36 FO
57 metros
24 Hab.
PDO 529/3
529PSB01F20PDO529/4
36 FO
62 metros
20 Hab.
PDO 529/4
529PSB02F23PDO529/5
36 FO
69 metros
23 Hab.
PDO 529/5
529PSB03F13PDO529/10
24 FO
118metros
13 Hab.
PDO 529/10
529PSB04F06PDO529/11
12 FO
75 metros
6 Hab.
PDO 529/11
529PSC01F29PDO529/6
36 FO
97 metros
29 Hab.
PDO 529/6
529PSC02F12PDO529/7
24 FO
175 metros
12 Hab.
PDO 529/7
529PSC03F12PDO529/8
24 FO
190 metros
12 Hab.
PDO 529/8
529PSC04F10PDO529/9
24 FO
141 metros
10 Hab.
PDO 529/9
529PSD01F13PDO529/12
24 FO
59 metros
13 Hab.
PDO 529/12
529PSD02F12PDO529/13
24 FO
88 metros
12 Hab.
PDO 529/13
529PSD03F10PDO529/14
24 FO
65 metros
10 Hab.
PDO 529/14
529PSD04F13PDO529/15
24 FO
106 metros
13 Hab.
PDO 529/15
529PSD05F06PDO529/16
12 FO
137 metros
6 Hab.
PDO 529/16

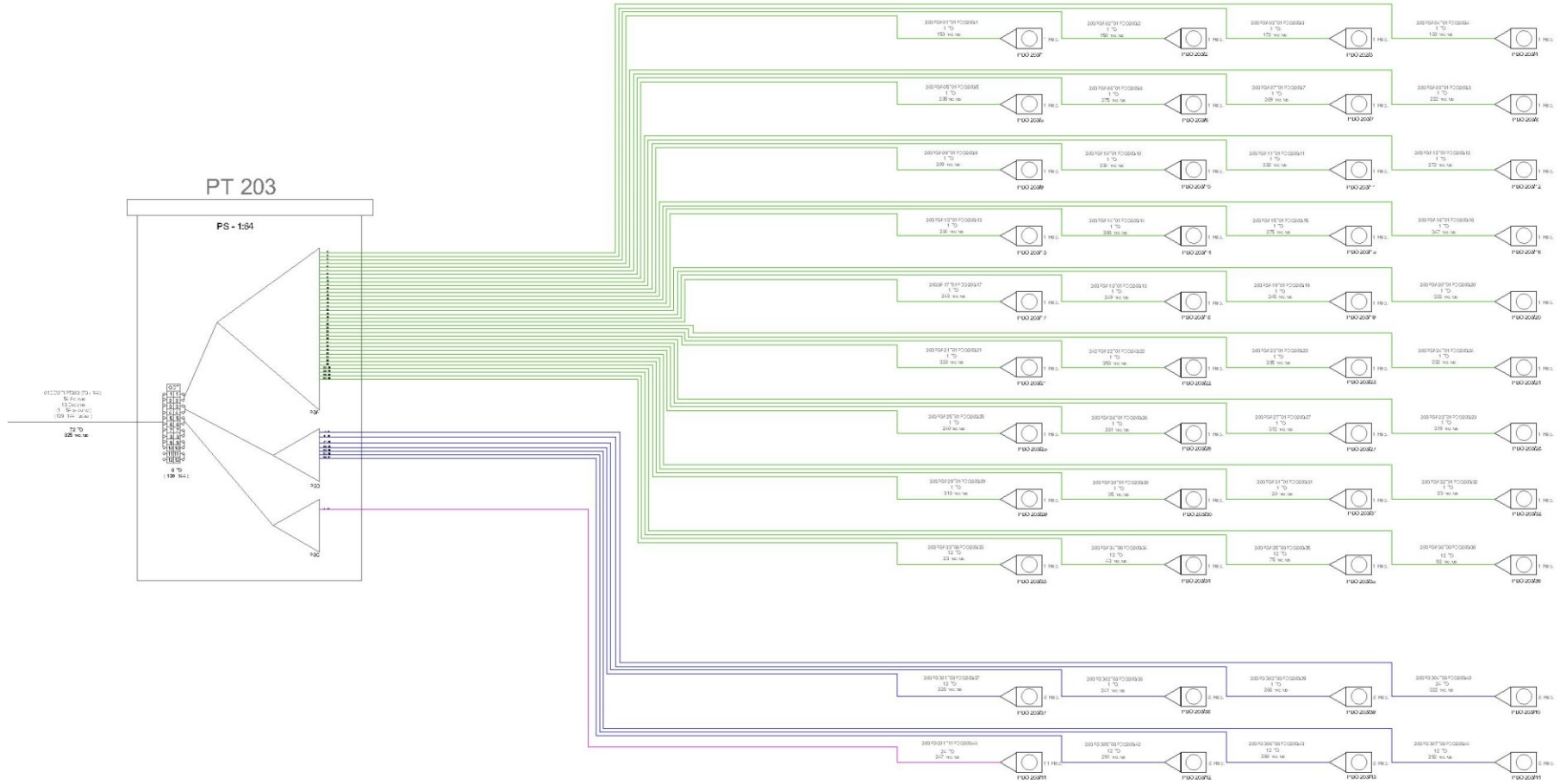
PT 470


PT 470
PS - 1:64
PSA
PSB
PSC
ODF
01EEMF1PT470 (87 / 92)
6 Activas
18 Escuras
(1 - 16 s/ corte)
(87 - 92 fusão 11-16)
24 FO
135 metros
6 FO
(87 - 92)
470PSA01F10PDO470/1
24 FO
44 metros
10 Hab.
PDO 470/1
470PSA02F18PDO470/2
24 FO
164 metros
18 Hab.
PDO 470/2
470PSA03F09PDO470/3
24 FO
184 metros
9 Hab.
PDO 470/3
470PSA04F18PDO470/4
24 FO
65 metros
18 Hab.
PDO 470/4
470PSB01F29PDO470/5
36 FO
64 metros
29 Hab.
PDO 470/5
470PSB02F01PDO470/6
1 FO
191 metros
1 Hab.
PDO 470/6
470PSB03F01PDO470/7
1 FO
203 metros
1 Hab.
PDO 470/7
470PSB04F01PDO470/8
1 FO
212 metros
1 Hab.
PDO 470/8
470PSB05F14PDO470/9
24 FO
65 metros
14 Hab.
PDO 470/9
470PSB06F11PDO470/10
24 FO
67 metros
11 Hab.
PDO 470/10
470PSC01F16PDO470/11
24 FO
45 metros
16 Hab.
PDO 470/11
470PSC02F12PDO470/12
24 FO
43 metros
12 Hab.
PDO 470/12

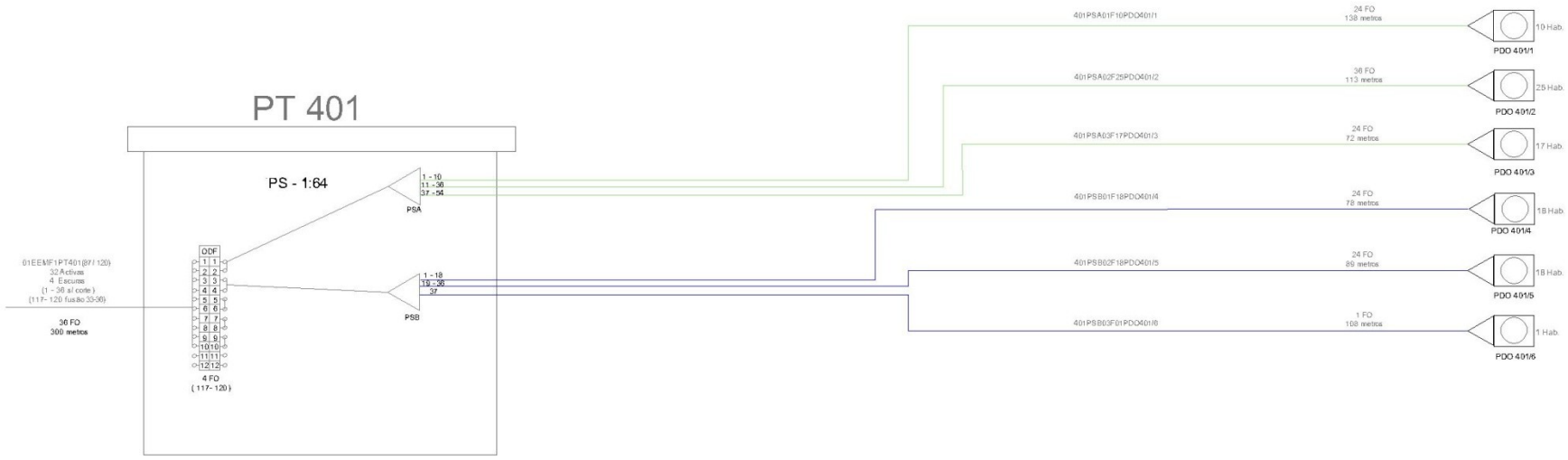
PT 357


PT 357
PS - 1:64
ODF
01EEMF1PT357(87 / 116)
28 Activas
8 Escuras
(1 - 32 s/ corte)
(111 - 116 fusão 27-32)
36 FO
150 metros
6 FO
(111 - 116)
1 - 40
PSA
1 - 55
PSB
1 - 35
36 - 42
43 - 47
48 - 56
57 - 62
PSC
357PSA01F40PDO357/1
48 FO
88 metros
40 Hab.
PDO 357/1
357PSB01F55PDO357/2
72 FO
160 metros
55 Hab.
PDO 357/2
357PSC01F35PDO357/3
48 FO
54 metros
35 Hab.
PDO 357/3
357PSC02F07PDO357/4
12 FO
74 metros
7 Hab.
PDO 357/4
357PSC03F04PDO357/5
12 FO
68 metros
4 Hab.
PDO 357/5
357PSC04F08PDO357/6
12 FO
163 metros
8 Hab.
PDO 357/6
357PSC05F08PDO357/7
12 FO
143 metros
8 Hab.
PDO 357/7

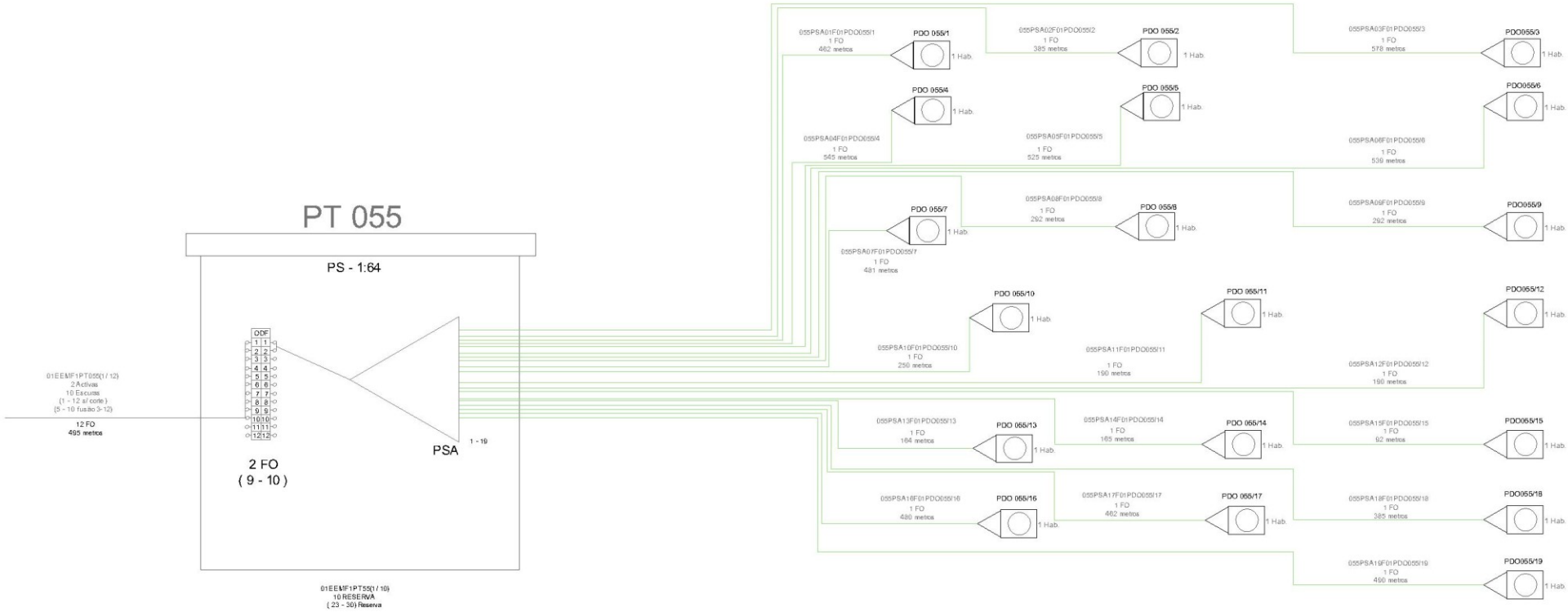
PT 203



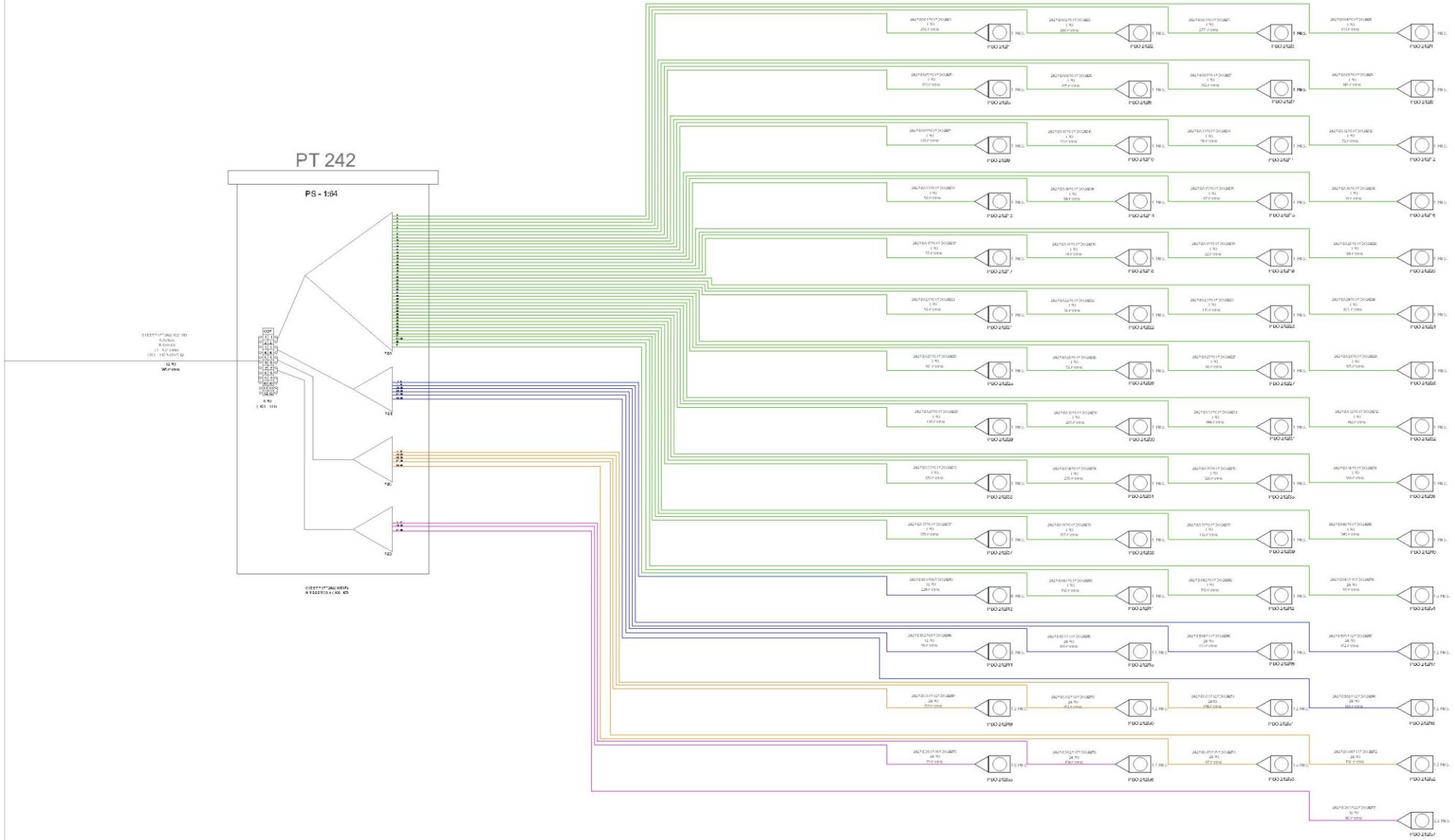
PT 401


PT 401
PS - 1:64
ODF
01EEMF1PT401(87 / 120)
32 Activas
4 Escuras
(1 - 36 s/ corte)
(117- 120 fusão 33-36)
36 FO
300 metros
4 FO
(117- 120)
1 - 10
11 - 36
37 - 54
PSA
1 - 18
19 - 36
37
PSB
401PSA01F10PDO401/1
24 FO
138 metros
10 Hab.
PDO 401/1
401PSA02F25PDO401/2
36 FO
113 metros
25 Hab.
PDO 401/2
401PSA03F17PDO401/3
24 FO
72 metros
17 Hab.
PDO 401/3
401PSB01F18PDO401/4
24 FO
78 metros
18 Hab.
PDO 401/4
401PSB02F18PDO401/5
24 FO
89 metros
18 Hab.
PDO 401/5
401PSB03F01PDO401/6
1 FO
108 metros
1 Hab.
PDO 401/6

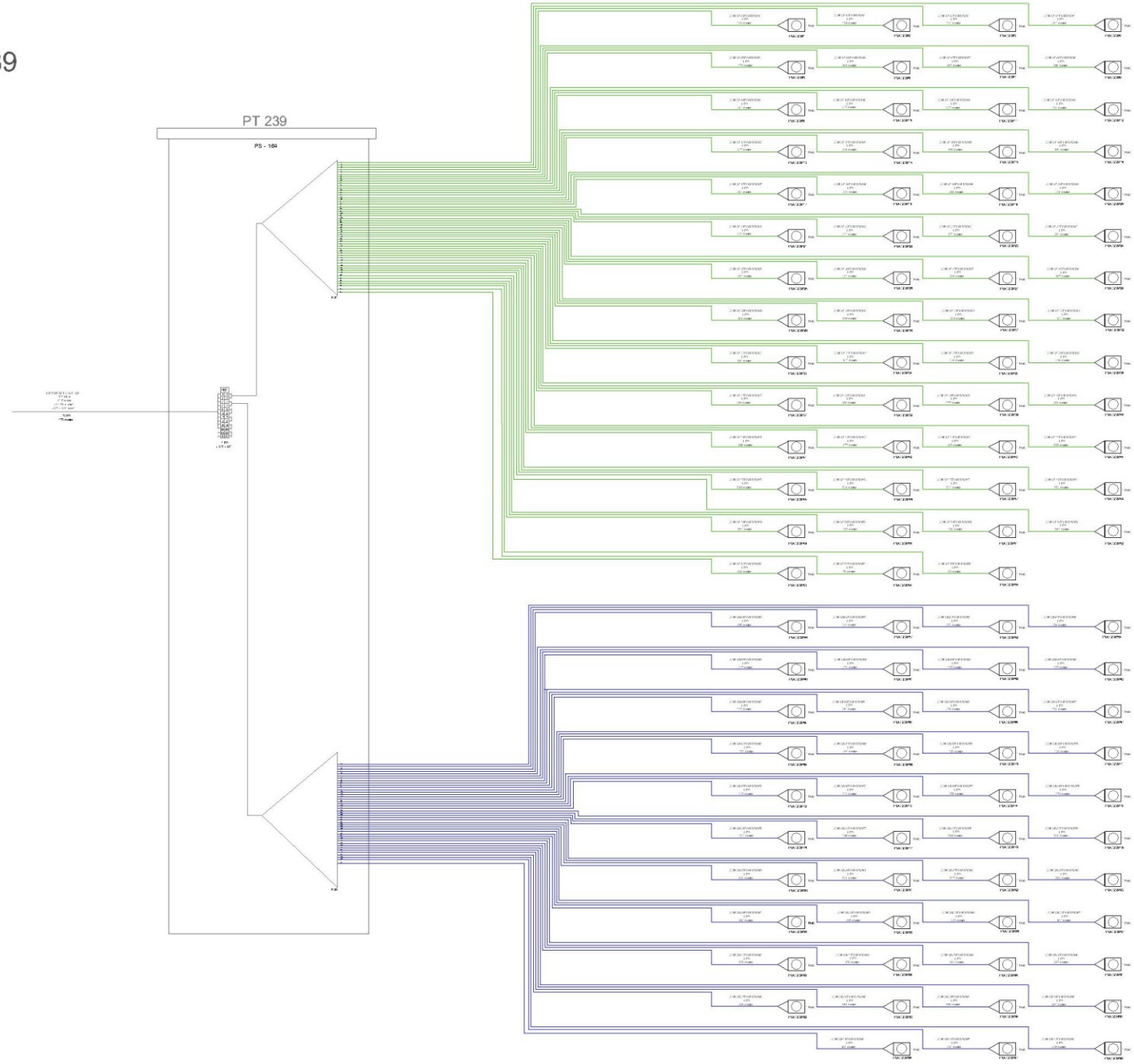
PT 055


PT 055
PS - 1:64
ODF
01EEMIF1PT055(1 / 12)
2 Activas
10 Escuras
(1 - 12 al corte)
(5 - 10 fusão 3-12)
12 FO
495 metros
2 FO
(9 - 10)
PSA
1 - 19
01EEMIF1PT55(1 / 10)
10 RESERVA
(23 - 30) Reserva
055PSA01F01PDO055/1
1 FO
462 metros
PDO 055/1
1 Hab.
055PSA02F01PDO055/2
1 FO
385 metros
PDO 055/2
1 Hab.
055PSA03F01PDO055/3
1 FO
578 metros
PDO055/3
1 Hab.
PDO 055/4
1 Hab.
PDO 055/5
1 Hab.
PDO055/6
1 Hab.
055PSA04F01PDO055/4
1 FO
545 metros
055PSA05F01PDO055/5
1 FO
525 metros
055PSA06F01PDO055/6
1 FO
539 metros
PDO 055/7
1 Hab.
055PSA08F01PDO055/8
1 FO
292 metros
PDO 055/8
1 Hab.
055PSA09F01PDO055/9
1 FO
292 metros
PDO055/9
1 Hab.
055PSA07F01PDO055/7
1 FO
481 metros
PDO 055/10
1 Hab.
PDO 055/11
1 Hab.
PDO055/12
1 Hab.
055PSA10F01PDO055/10
1 FO
250 metros
055PSA11F01PDO055/11
1 FO
190 metros
055PSA12F01PDO055/12
1 FO
190 metros
055PSA13F01PDO055/13
1 FO
164 metros
PDO 055/13
1 Hab.
055PSA14F01PDO055/14
1 FO
165 metros
PDO 055/14
1 Hab.
055PSA15F01PDO055/15
1 FO
92 metros
PDO055/15
1 Hab.
055PSA16F01PDO055/16
1 FO
480 metros
PDO 055/16
1 Hab.
055PSA17F01PDO055/17
1 FO
462 metros
PDO 055/17
1 Hab.
055PSA18F01PDO055/18
1 FO
385 metros
PDO055/18
1 Hab.
055PSA19F01PDO055/19
1 FO
490 metros
PDO055/19
1 Hab.

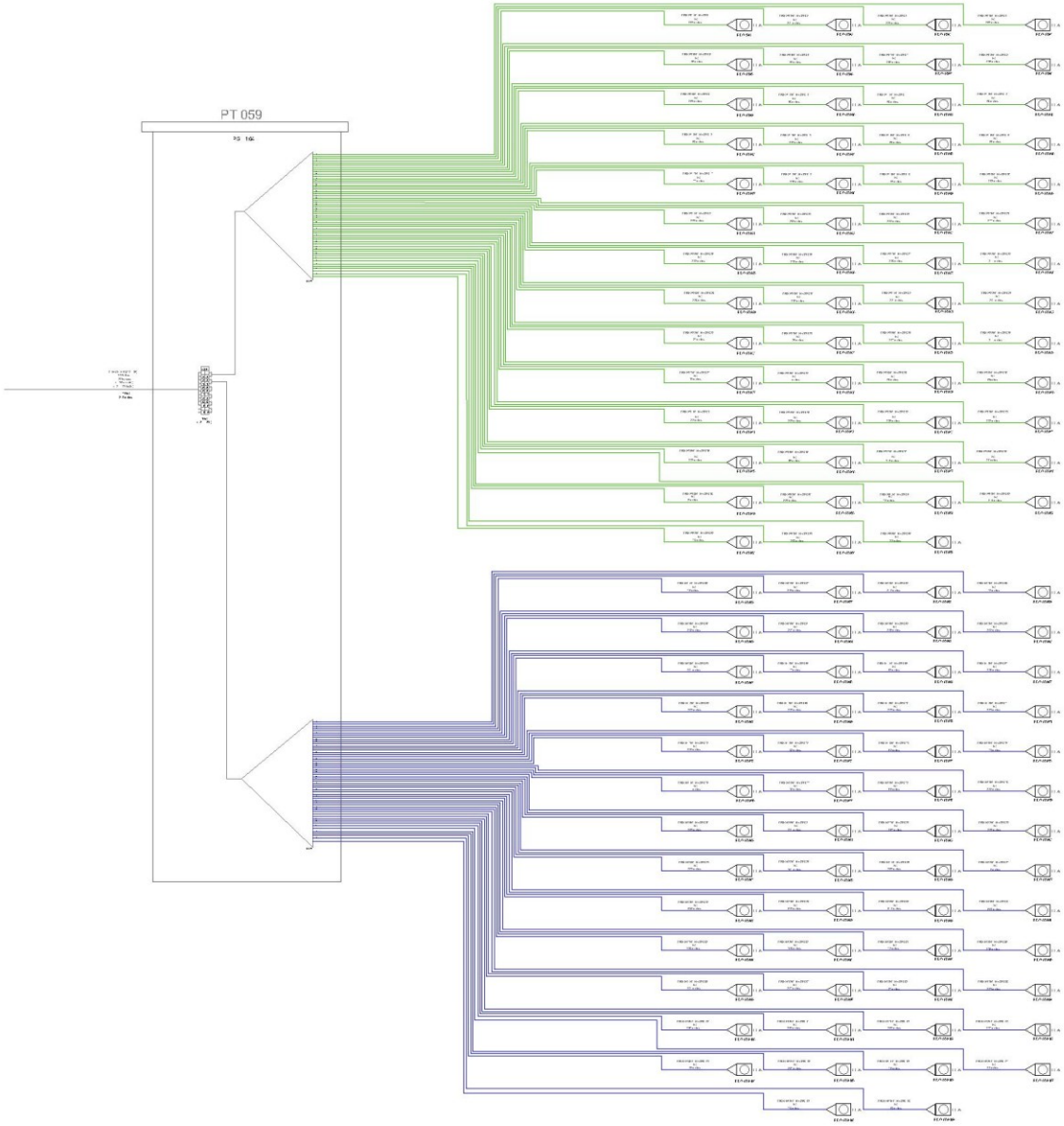
PT 242



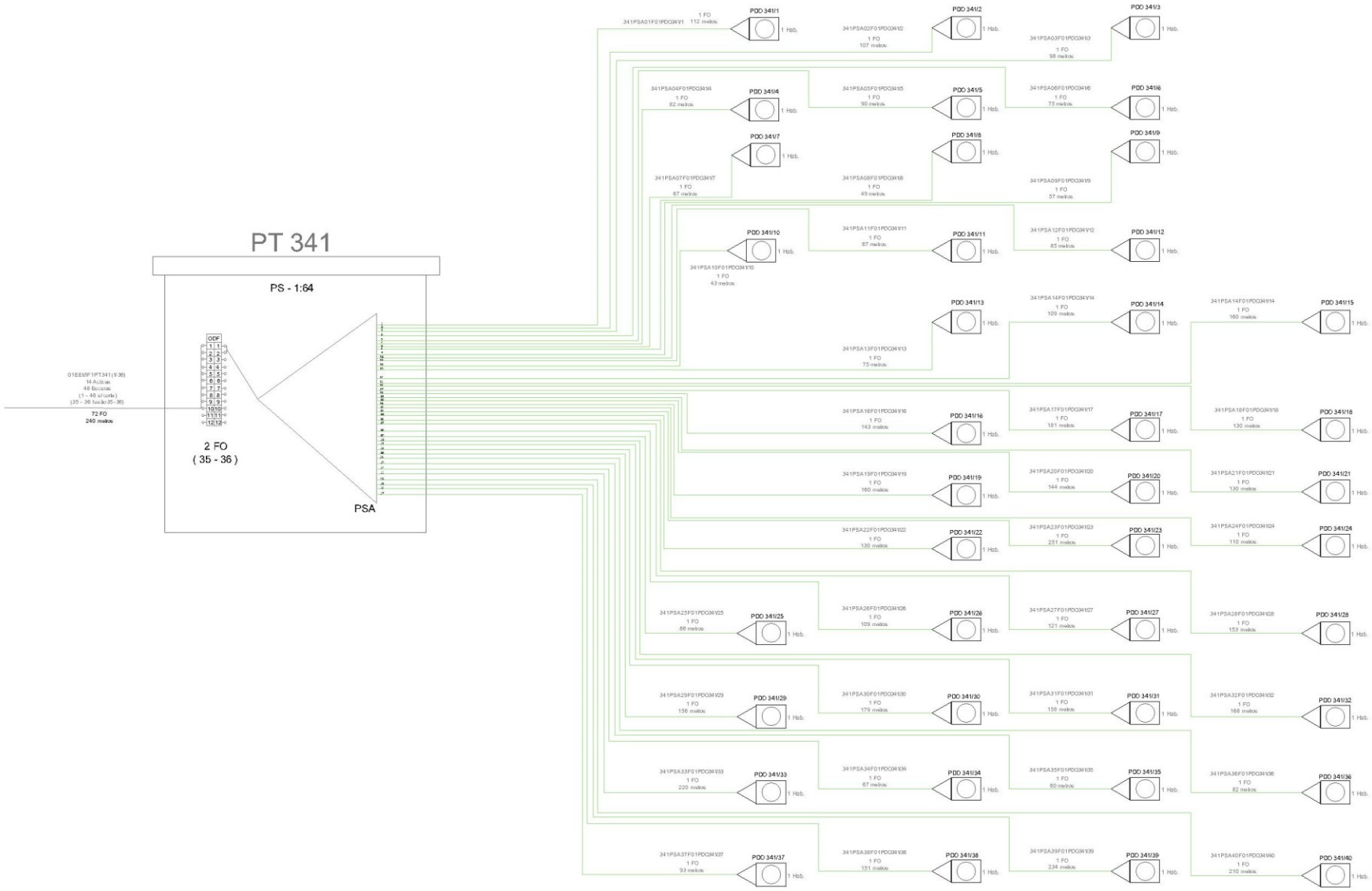
PT 239



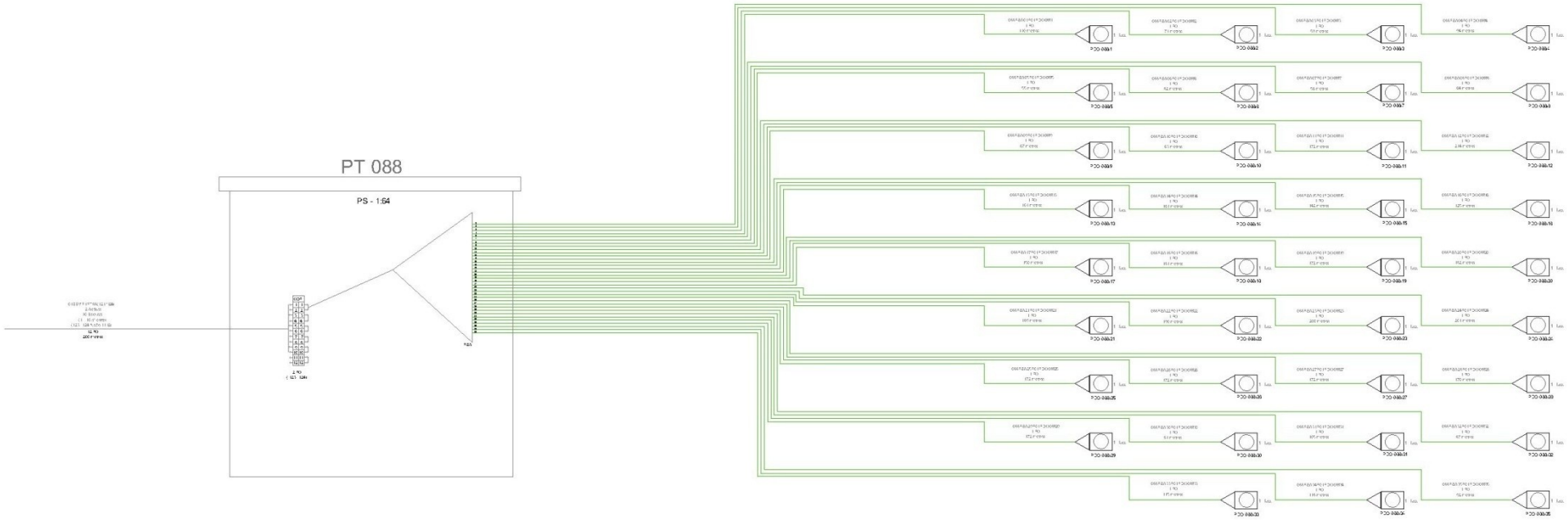
PT 059



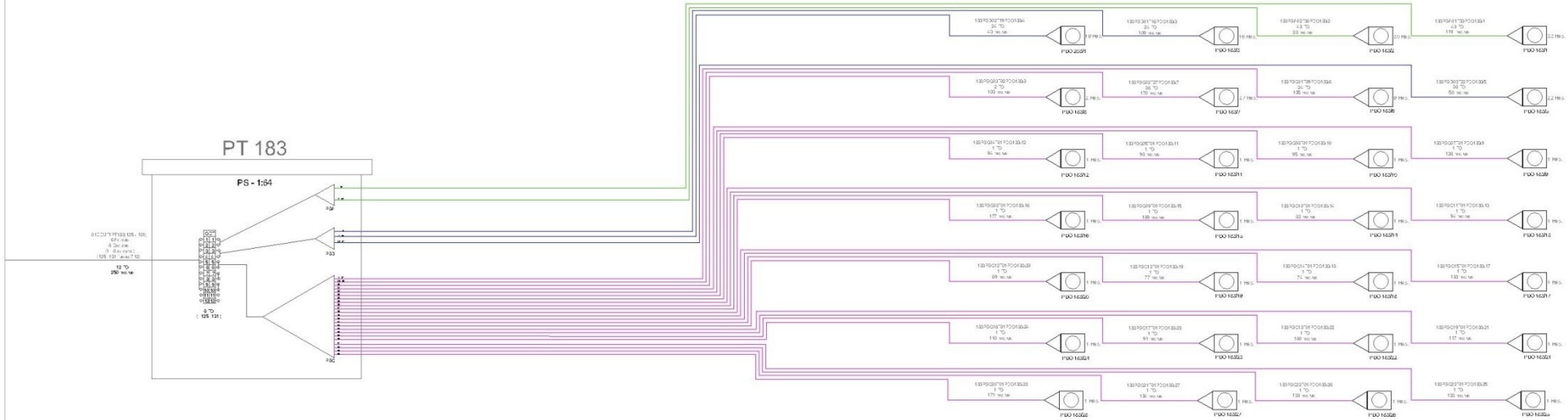
PT 341


PT 341
PS - 1:64
ODF
01EE1/F1PT341 (1/36)
14 Acótrias
48 Bicoras
(1 - 48 s/conta)
(35 - 36 fusão 35-36)
72 FO
240 metros
2 FO
(35 - 36)
PSA
341PSA01F01PDO341/1
1 FO
112 metros
PDO 341/1
1 Hab.
341PSA02F01PDO341/2
1 FO
107 metros
PDO 341/2
1 Hab.
341PSA03F01PDO341/3
1 FO
98 metros
PDO 341/3
1 Hab.
341PSA04F01PDO341/4
1 FO
82 metros
PDO 341/4
1 Hab.
341PSA05F01PDO341/5
1 FO
90 metros
PDO 341/5
1 Hab.
341PSA06F01PDO341/6
1 FO
75 metros
PDO 341/6
1 Hab.
PDO 341/7
1 Hab.
PDO 341/8
1 Hab.
PDO 341/9
1 Hab.
341PSA07F01PDO341/7
1 FO
67 metros
341PSA08F01PDO341/8
1 FO
49 metros
341PSA09F01PDO341/9
1 FO
57 metros
PDO 341/10
1 Hab.
341PSA10F01PDO341/10
1 FO
43 metros
341PSA11F01PDO341/11
1 FO
67 metros
PDO 341/11
1 Hab.
341PSA12F01PDO341/12
1 FO
85 metros
PDO 341/12
1 Hab.
PDO 341/13
1 Hab.
341PSA13F01PDO341/13
1 FO
75 metros
341PSA14F01PDO341/14
1 FO
109 metros
PDO 341/14
1 Hab.
341PSA14F01PDO341/14
1 FO
160 metros
PDO 341/15
1 Hab.
341PSA16F01PDO341/16
1 FO
143 metros
PDO 341/16
1 Hab.
341PSA17F01PDO341/17
1 FO
161 metros
PDO 341/17
1 Hab.
341PSA18F01PDO341/18
1 FO
130 metros
PDO 341/18
1 Hab.
341PSA19F01PDO341/19
1 FO
160 metros
PDO 341/19
1 Hab.
341PSA20F01PDO341/20
1 FO
144 metros
PDO 341/20
1 Hab.
341PSA21F01PDO341/21
1 FO
130 metros
PDO 341/21
1 Hab.
341PSA22F01PDO341/22
1 FO
130 metros
PDO 341/22
1 Hab.
341PSA23F01PDO341/23
1 FO
251 metros
PDO 341/23
1 Hab.
341PSA24F01PDO341/24
1 FO
110 metros
PDO 341/24
1 Hab.
341PSA25F01PDO341/25
1 FO
86 metros
PDO 341/25
1 Hab.
341PSA26F01PDO341/26
1 FO
109 metros
PDO 341/26
1 Hab.
341PSA27F01PDO341/27
1 FO
121 metros
PDO 341/27
1 Hab.
341PSA28F01PDO341/28
1 FO
153 metros
PDO 341/28
1 Hab.
341PSA29F01PDO341/29
1 FO
156 metros
PDO 341/29
1 Hab.
341PSA30F01PDO341/30
1 FO
179 metros
PDO 341/30
1 Hab.
341PSA31F01PDO341/31
1 FO
158 metros
PDO 341/31
1 Hab.
341PSA32F01PDO341/32
1 FO
168 metros
PDO 341/32
1 Hab.
341PSA33F01PDO341/33
1 FO
220 metros
PDO 341/33
1 Hab.
341PSA34F01PDO341/34
1 FO
67 metros
PDO 341/34
1 Hab.
341PSA35F01PDO341/35
1 FO
60 metros
PDO 341/35
1 Hab.
341PSA36F01PDO341/36
1 FO
82 metros
PDO 341/36
1 Hab.
341PSA37F01PDO341/37
1 FO
93 metros
PDO 341/37
1 Hab.
341PSA38F01PDO341/38
1 FO
151 metros
PDO 341/38
1 Hab.
341PSA39F01PDO341/39
1 FO
234 metros
PDO 341/39
1 Hab.
341PSA40F01PDO341/40
1 FO
210 metros
PDO 341/40
1 Hab.

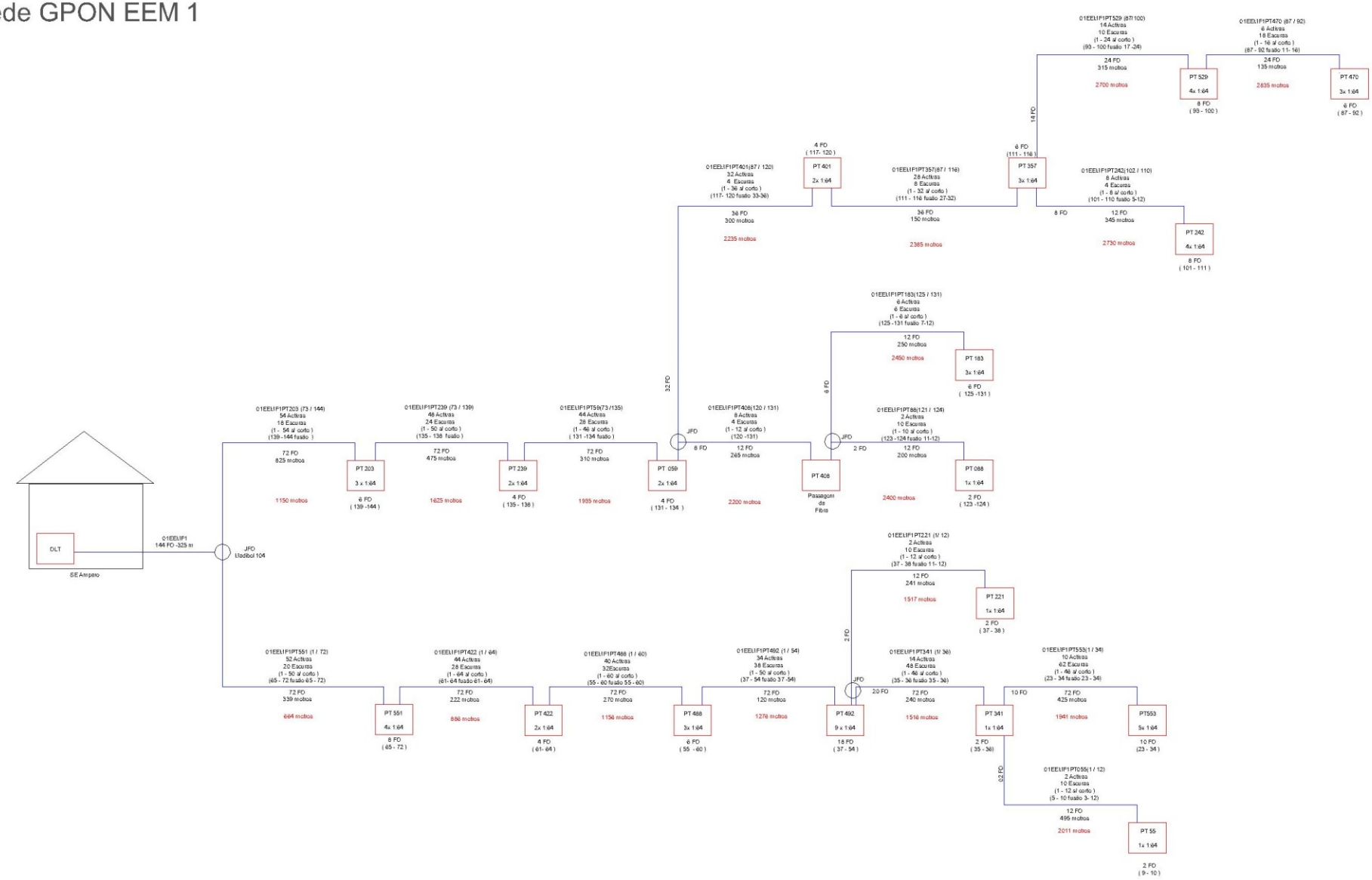
PT 088



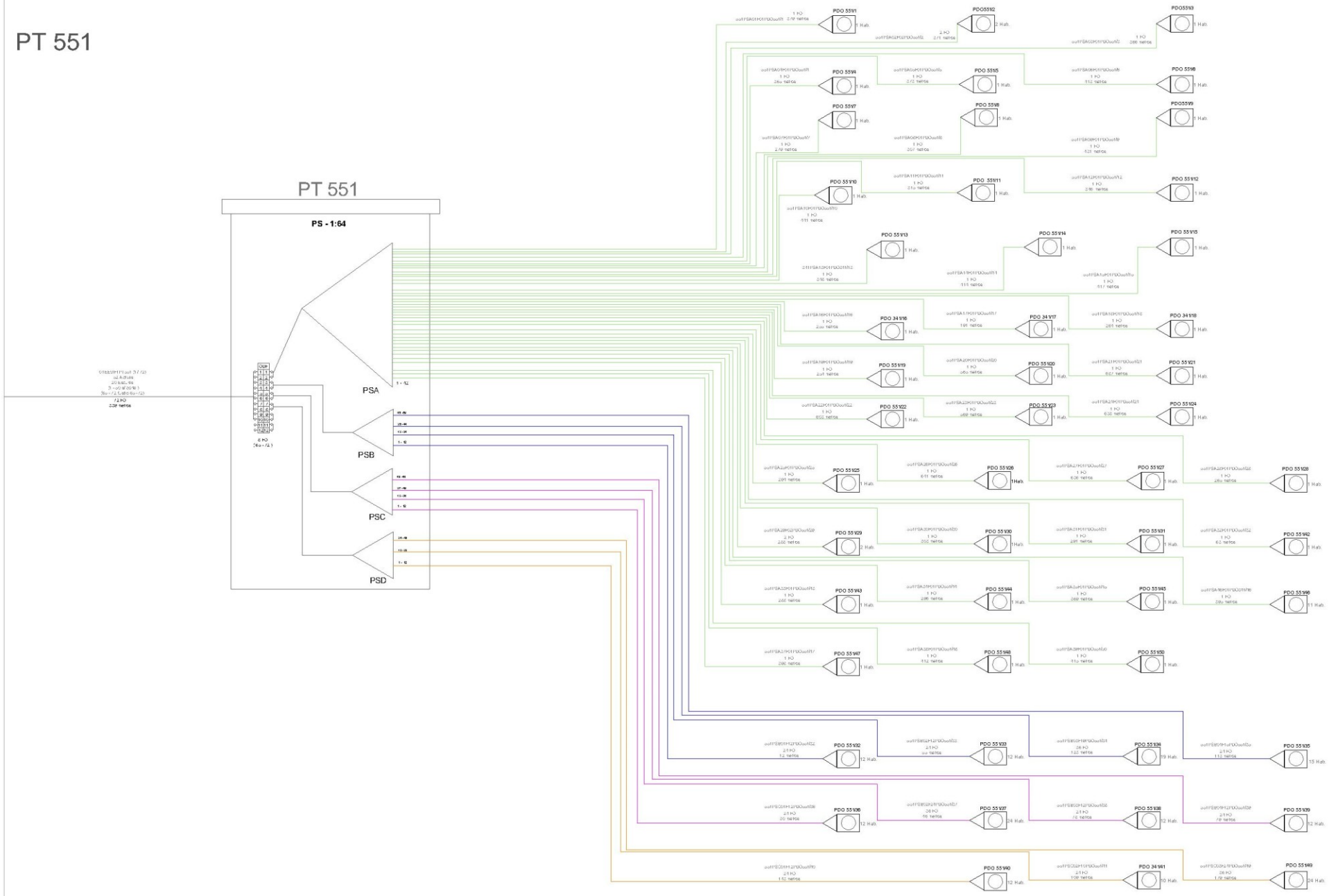
PT 183



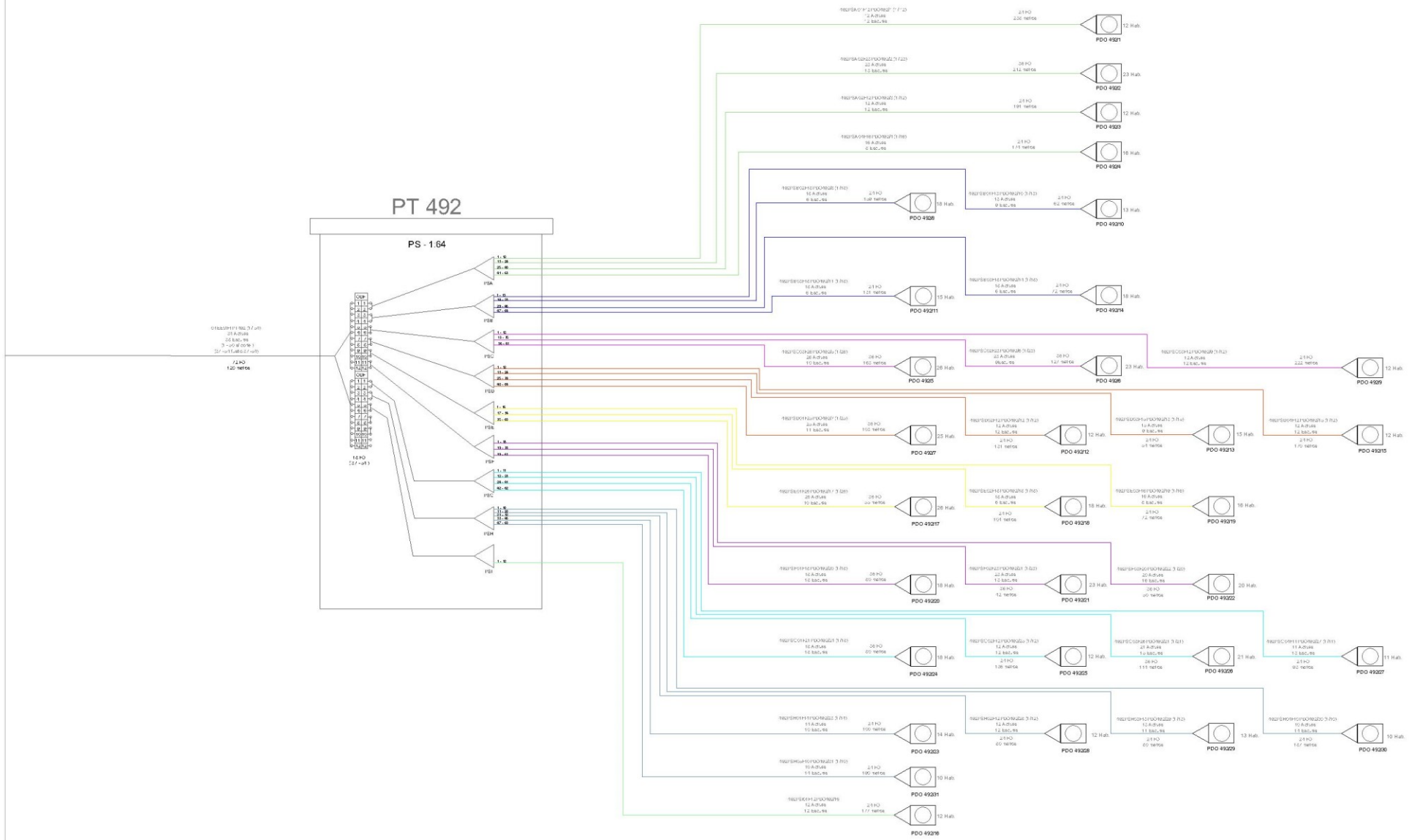
Rede GPON EEM 1



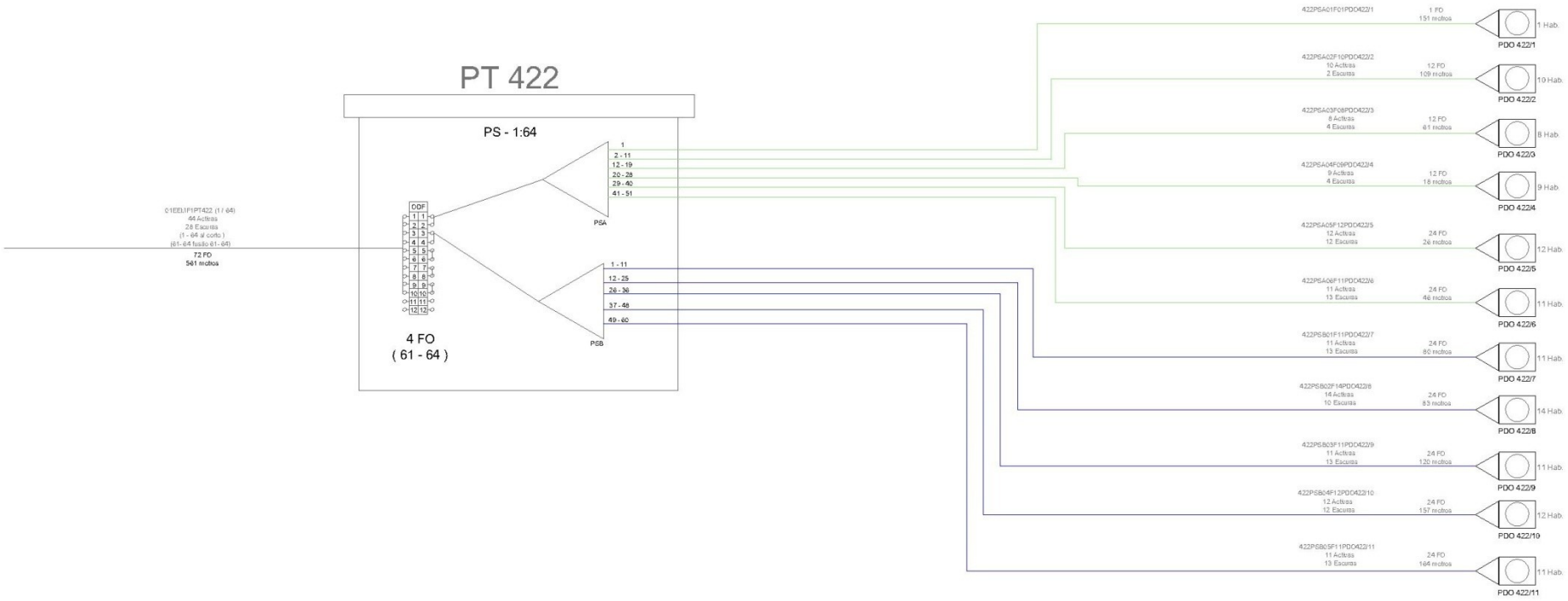
PT 551



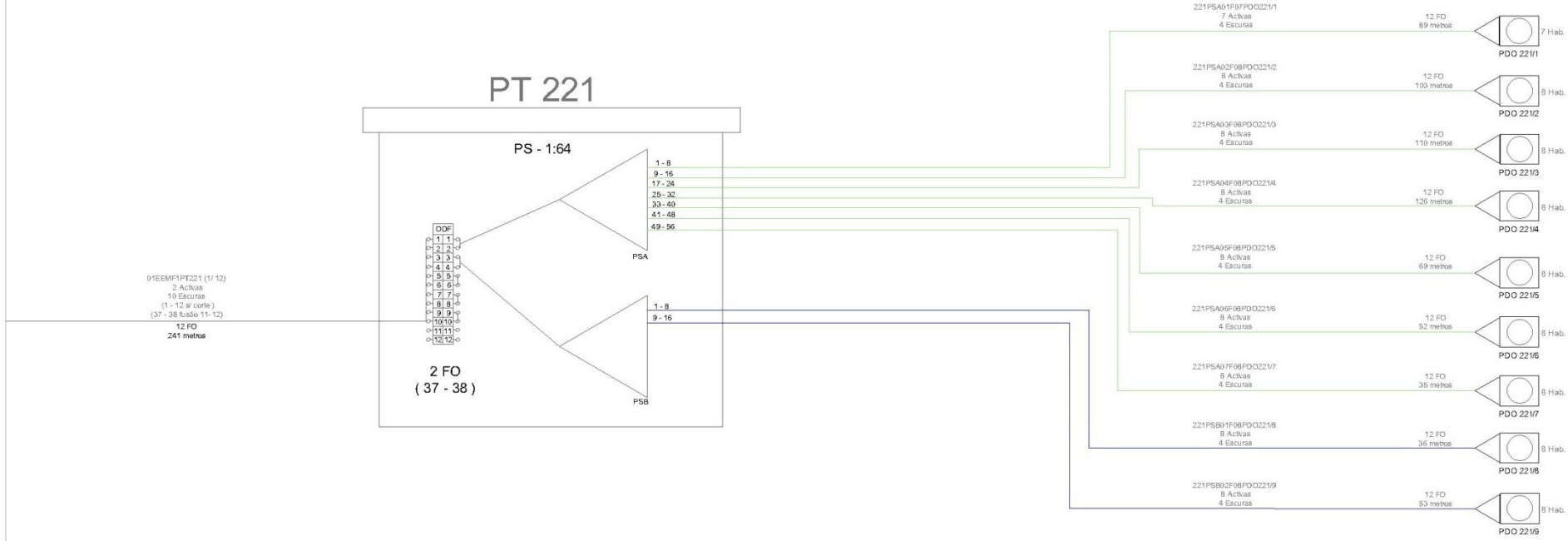
PT 492


PT 492
PS - 1:64
PDO 49221
PDO 49222
PDO 49223
PDO 49224
PDO 49208
PDO 49210
PDO 49211
PDO 49214
PDO 49225
PDO 49226
PDO 49209
PDO 49227
PDO 49212
PDO 49213
PDO 49215
PDO 49217
PDO 49218
PDO 49219
PDO 49220
PDO 49221
PDO 49222
PDO 49224
PDO 49225
PDO 49226
PDO 49227
PDO 49223
PDO 49228
PDO 49229
PDO 49230
PDO 49231
PDO 49216

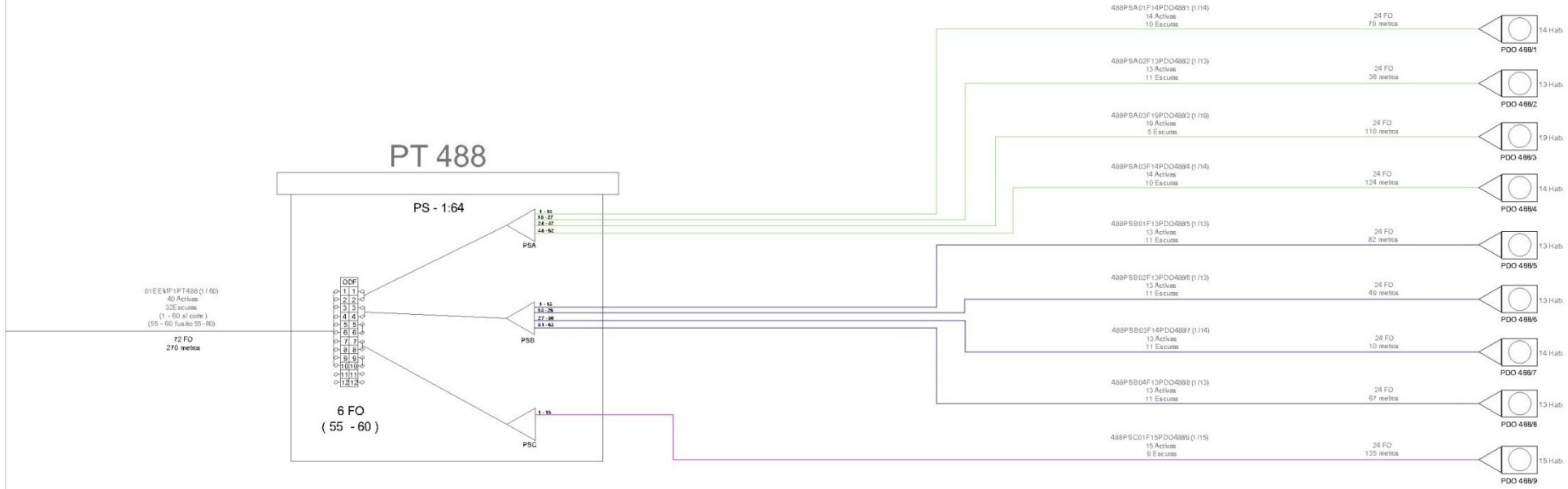
PT 422


PT 422
PS - 1:64
ODF
PSA
PSB
4 FO
(61 - 64)
72 FO
561 metros
1
2 - 11
12 - 19
20 - 28
29 - 40
41 - 51
1 - 11
12 - 25
26 - 36
37 - 48
49 - 60
422PSA01F01PDO422/1
1 FO
151 metros
1 Hab.
PDO 422/1
422PSA02F10PDO422/2
10 Activas
2 Escuras
12 FO
109 metros
10 Hab.
PDO 422/2
422PSA03F08PDO422/3
8 Activas
4 Escuras
12 FO
61 metros
8 Hab.
PDO 422/3
422PSA04F09PDO422/4
9 Activas
4 Escuras
12 FO
16 metros
9 Hab.
PDO 422/4
422PSA05F12PDO422/5
12 Activas
12 Escuras
24 FO
26 metros
12 Hab.
PDO 422/5
422PSA06F11PDO422/6
11 Activas
13 Escuras
24 FO
46 metros
11 Hab.
PDO 422/6
422PSB01F11PDO422/7
11 Activas
13 Escuras
24 FO
80 metros
11 Hab.
PDO 422/7
422PSB02F14PDO422/8
14 Activas
10 Escuras
24 FO
83 metros
14 Hab.
PDO 422/8
422PSB03F11PDO422/9
11 Activas
13 Escuras
24 FO
120 metros
11 Hab.
PDO 422/9
422PSB04F12PDO422/10
12 Activas
12 Escuras
24 FO
157 metros
12 Hab.
PDO 422/10
422PSB05F11PDO422/11
11 Activas
13 Escuras
24 FO
164 metros
11 Hab.
PDO 422/11

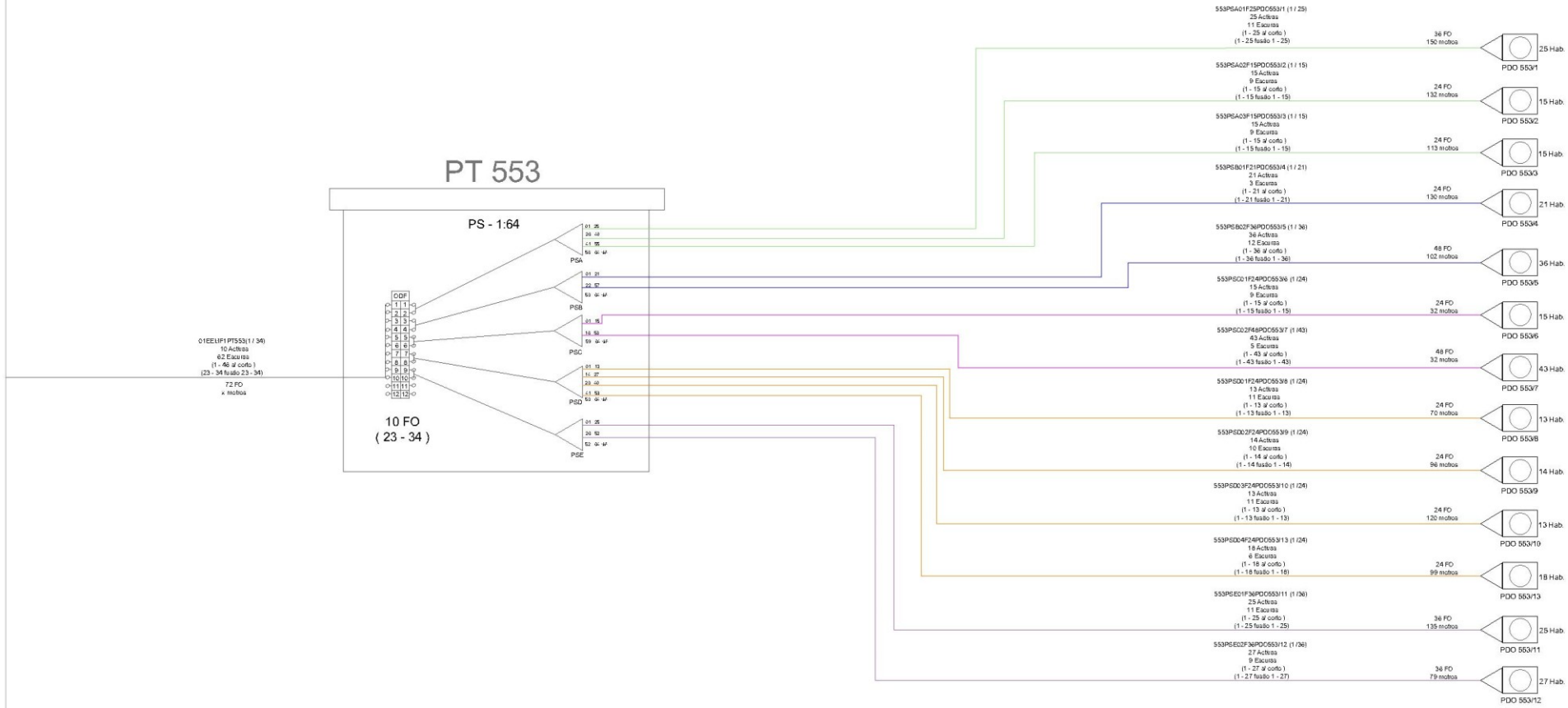
PT 221


PT 221
PS - 1:64
ODF
1 - 8
9 - 16
17 - 24
25 - 32
33 - 40
41 - 48
49 - 56
PSA
PSB
2 FO
(37 - 38)
01EEMF1PT221 (1/ 12)
2 Activas
10 Escuras
(1 - 12 s/ corte)
(37 - 38 fusão 11- 12)
12 FO
241 metros
221PSA01F07PDO221/1
7 Activas
4 Escuras
12 FO
89 metros
7 Hab.
PDO 221/1
221PSA02F08PDO221/2
8 Activas
4 Escuras
12 FO
103 metros
8 Hab.
PDO 221/2
221PSA03F08PDO221/3
8 Activas
4 Escuras
12 FO
110 metros
8 Hab.
PDO 221/3
221PSA04F08PDO221/4
8 Activas
4 Escuras
12 FO
126 metros
8 Hab.
PDO 221/4
221PSA05F08PDO221/5
8 Activas
4 Escuras
12 FO
69 metros
8 Hab.
PDO 221/5
221PSA06F08PDO221/6
8 Activas
4 Escuras
12 FO
52 metros
8 Hab.
PDO 221/6
221PSA07F08PDO221/7
8 Activas
4 Escuras
12 FO
35 metros
8 Hab.
PDO 221/7
221PSB01F08PDO221/8
8 Activas
4 Escuras
12 FO
36 metros
8 Hab.
PDO 221/8
221PSB02F08PDO221/9
8 Activas
4 Escuras
12 FO
53 metros
8 Hab.
PDO 221/9

PT 488


PT 488
PS - 1:64
DDF
PSA
PSB
PSC
6 FO
(55 - 60)
01EEMF1PT488 (1 / 60)
40 Activas
32Escuras
(1 - 60 s/ corte)
(55 - 60 fua.ão 55 - 60)
72 FO
270 metros
488PSA01F14PDO488/1 (1/14)
14 Activas
10 Escuras
24 FO
70 metros
14 Hab.
PDO 488/1
488PSA02F13PDO488/2 (1/13)
13 Activas
11 Escuras
24 FO
38 metros
13 Hab.
PDO 488/2
488PSA03F19PDO488/3 (1/19)
19 Activas
5 Escuras
24 FO
110 metros
19 Hab.
PDO 488/3
488PSA03F14PDO488/4 (1/14)
14 Activas
10 Escuras
24 FO
124 metros
14 Hab.
PDO 488/4
488PSB01F13PDO488/5 (1/13)
13 Activas
11 Escuras
24 FO
82 metros
13 Hab.
PDO 488/5
488PSB02F13PDO488/6 (1/13)
13 Activas
11 Escuras
24 FO
49 metros
13 Hab.
PDO 488/6
488PSB03F14PDO488/7 (1/14)
13 Activas
11 Escuras
24 FO
10 metros
14 Hab.
PDO 488/7
488PSB04F13PDO488/8 (1/13)
13 Activas
11 Escuras
24 FO
67 metros
13 Hab.
PDO 488/8
488PSC01F15PDO488/9 (1/15)
15 Activas
9 Escuras
24 FO
135 metros
15 Hab.
PDO 488/9

PT 553


PT 553
PS - 1:64
ODF
PSA
PSB
PSC
PSD
PSE
10 FO
(23 - 34)
01EEL1F1 PT553(1 / 34)
10 Activas
62 Escuras
(1 - 46 s/ corto)
(23 - 34 fusão 23 - 34)
72 FO
x metros
553PSA01F25PDO553/1 (1 / 25)
25 Activas
11 Escuras
(1 - 25 s/ corto)
(1 - 25 fusão 1 - 25)
36 FO
150 metros
25 Hab.
PDO 553/1
553PSA02F15PDO553/2 (1 / 15)
15 Activas
9 Escuras
(1 - 15 s/ corto)
(1 - 15 fusão 1 - 15)
24 FO
132 metros
15 Hab.
PDO 553/2
553PSA03F15PDO553/3 (1 / 15)
15 Activas
9 Escuras
(1 - 15 s/ corto)
(1 - 15 fusão 1 - 15)
24 FO
113 metros
15 Hab.
PDO 553/3
553PSB01F21PDO553/4 (1 / 21)
21 Activas
3 Escuras
(1 - 21 s/ corto)
(1 - 21 fusão 1 - 21)
24 FO
130 metros
21 Hab.
PDO 553/4
553PSB02F36PDO553/5 (1 / 36)
36 Activas
12 Escuras
(1 - 36 s/ corto)
(1 - 36 fusão 1 - 36)
48 FO
102 metros
36 Hab.
PDO 553/5
553PSC01F24PDO553/6 (1 /24)
15 Activas
9 Escuras
(1 - 15 s/ corto)
(1 - 15 fusão 1 - 15)
24 FO
32 metros
15 Hab.
PDO 553/6
553PSC02F48PDO553/7 (1 /43)
43 Activas
5 Escuras
(1 - 43 s/ corto)
(1 - 43 fusão 1 - 43)
48 FO
32 metros
43 Hab.
PDO 553/7
553PSD01F24PDO553/8 (1 /24)
13 Activas
11 Escuras
(1 - 13 s/ corto)
(1 - 13 fusão 1 - 13)
24 FO
70 metros
13 Hab.
PDO 553/8
553PSD02F24PDO553/9 (1 /24)
14 Activas
10 Escuras
(1 - 14 s/ corto)
(1 - 14 fusão 1 - 14)
24 FO
96 metros
14 Hab.
PDO 553/9
553PSD03F24PDO553/10 (1 /24)
13 Activas
11 Escuras
(1 - 13 s/ corto)
(1 - 13 fusão 1 - 13)
24 FO
120 metros
13 Hab.
PDO 553/10
553PSD04F24PDO553/13 (1 /24)
18 Activas
6 Escuras
(1 - 18 s/ corto)
(1 - 18 fusão 1 - 18)
24 FO
99 metros
18 Hab.
PDO 553/13
553PSE01F36PDO553/11 (1 /36)
25 Activas
11 Escuras
(1 - 25 s/ corto)
(1 - 25 fusão 1 - 25)
36 FO
135 metros
25 Hab.
PDO 553/11
553PSE02F36PDO553/12 (1 /36)
27 Activas
9 Escuras
(1 - 27 s/ corto)
(1 - 27 fusão 1 - 27)
36 FO
79 metros
27 Hab.
PDO 553/12

Comprimentos e quantidade de Fibras

PT 841	Dist (m)	FO
PD0841/1	112	1
PD0841/2	107	1
PD0841/3	98	1
PD0841/4	82	1
PD0841/5	90	1
PD0841/6	75	1
PD0841/7	67	1
PD0841/8	49	1
PD0841/9	57	1
PD0841/10	43	1
PD0841/11	67	1
PD0841/12	85	1
PD0841/13	75	1
PD0841/14	109	1
PD0841/15	160	1
PD0841/16	143	1
PD0841/17	181	1
PD0841/18	130	1
PD0841/19	160	1
PD0841/20	144	1
PD0841/21	130	1
PD0841/22	130	1
PD0841/23	251	1
PD0841/24	110	1
PD0841/25	86	1
PD0841/26	109	1
PD0841/27	121	1
PD0841/28	153	1
PD0841/29	156	1
PD0841/30	179	1
PD0841/31	158	1
PD0841/32	168	1
PD0841/33	220	1
PD0841/34	67	1
PD0841/35	80	1
PD0841/36	82	1
PD0841/37	93	1
PD0841/38	151	1
PD0841/39	234	1
PD0841/40	210	1

PT 492	Dist (m)	FO
PD0492/1	238	24
PD0492/2	212	36
PD0492/3	191	24
PD0492/4	174	24
PD0492/5	163	36
PD0492/6	127	36
PD0492/7	103	36
PD0492/8	159	24
PD0492/9	222	24
PD0492/10	62	24
PD0492/11	82	24
PD0492/12	131	24
PD0492/13	54	24
PD0492/14	72	24
PD0492/15	170	24
PD0492/16	177	24
PD0492/17	55	36
PD0492/18	104	24
PD0492/19	72	24
PD0492/20	80	36
PD0492/21	42	36
PD0492/22	50	36
PD0492/23	100	24
PD0492/24	80	36
PD0492/25	136	24
PD0492/26	114	36
PD0492/27	93	24
PD0492/28	80	24
PD0492/29	80	24
PD0492/30	187	24
PD0492/31	190	24

PT 055	Dist (m)	FO
PD0055/1	462	1
PD0055/2	385	1
PD0055/3	578	1
PD0055/4	545	1
PD0055/5	525	1
PD0055/6	539	1
PD0055/7	481	1
PD0055/8	292	1
PD0055/9	252	1
PD0055/10	250	1
PD0055/11	198	1
PD0055/12	190	1
PD0055/13	164	1
PD0055/14	165	1
PD0055/15	92	1
PD0055/16	480	1
PD0055/17	462	1
PD0055/18	385	1
PD0055/19	490	1

PT 221	Dist (m)	FO
PD0221/1	89	12
PD0221/2	103	12
PD0221/3	110	12
PD0221/4	126	12
PD0221/5	69	12
PD0221/6	52	12
PD0221/7	35	12
PD0221/8	36	12
PD0221/9	53	12

PT 488	Dist (m)	FO
PD0488/1	70	24
PD0488/2	36	24
PD0488/3	110	24
PD0488/4	124	24
PD0488/5	82	24
PD0488/6	49	24
PD0488/7	10	24
PD0488/8	67	24
PD0488/9	135	24

PT 553	Dist (m)	FO
PD0553/1	150	36
PD0553/2	132	24
PD0553/3	113	24
PD0553/4	130	24
PD0553/5	102	48
PD0553/6	32	24
PD0553/7	32	48
PD0553/8	70	24
PD0553/9	96	24
PD0553/10	120	24
PD0553/11	135	36
PD0553/12	79	36
PD0553/13	99	24

PT 357	Dist (m)	FO
PD0357/1	88	48
PD0357/2	160	72
PD0357/3	54	48
PD0357/4	74	12
PD0357/5	68	12
PD0357/6	163	12
PD0357/7	143	12

PT 422	Dist (m)	FO
PD0422/1	151	1
PD0422/2	109	12
PD0422/3	61	12
PD0422/4	18	12
PD0422/5	26	24
PD0422/6	46	24
PD0422/7	80	24
PD0422/8	83	24
PD0422/9	120	24
PD0422/10	157	24
PD0422/11	164	24

PT 529	Dist (m)	FO
PD0529/1	35	24
PD0529/2	62	24
PD0529/3	57	36
PD0529/4	62	36
PD0529/5	60	36
PD0529/6	97	36
PD0529/7	175	24
PD0529/8	190	24
PD0529/9	141	24
PD0529/10	119	24
PD0529/11	75	12
PD0529/12	59	24
PD0529/13	88	24
PD0529/14	65	24
PD0529/15	106	24
PD0529/16	137	24

PT 470	Dist (m)	FO
PD0470/1	49	24
PD0470/2	164	24
PD0470/3	184	24
PD0470/4	65	24
PD0470/5	64	36
PD0470/6	191	1
PD0470/7	203	1
PD0470/8	212	1
PD0470/9	65	24
PD0470/10	67	24
PD0470/11	45	24
PD0470/12	43	24

PT 242	Dist (m)	FO
PD0242/1	250	1
PD0242/2	260	1
PD0242/3	277	1
PD0242/4	191	1
PD0242/5	193	1
PD0242/6	195	1
PD0242/7	182	1
PD0242/8	145	1
PD0242/9	118	1
PD0242/10	93	1
PD0242/11	96	1
PD0242/12	72	1
PD0242/13	50	1
PD0242/14	84	1
PD0242/15	87	1
PD0242/16	38	1
PD0242/17	55	1
PD0242/18	38	1
PD0242/19	22	1
PD0242/20	64	1
PD0242/21	50	1
PD0242/22	36	1
PD0242/23	115	1
PD0242/24	103	1
PD0242/25	80	1
PD0242/26	72	1
PD0242/27	80	1
PD0242/28	105	1
PD0242/29	116	1
PD0242/30	205	1
PD0242/31	144	1
PD0242/32	142	1
PD0242/33	170	1
PD0242/34	270	1
PD0242/35	326	1
PD0242/36	388	1
PD0242/37	370	1
PD0242/38	357	1
PD0242/39	112	1
PD0242/40	345	1
PD0242/41	350	1
PD0242/42	350	1

	Dist (m)	FO
PD0242/43	224	12
PD0242/44	96	12
PD0242/45	108	24
PD0242/46	133	24
PD0242/47	152	24
PD0242/48	168	24
PD0242/49	159	24
PD0242/60	152	24
PD0242/61	194	24
PD0242/62	150	24
PD0242/63	87	24
PD0242/64	89	24
PD0242/65	79	24
PD0242/66	154	24
PD0242/67	40	36

PT 203	Dist (m)	FO
PD0203/1	158	1
PD0203/2	150	1
PD0203/3	172	1
PD0203/4	188	1
PD0203/5	285	1
PD0203/6	275	1
PD0203/7	269	1
PD0203/8	222	1
PD0203/9	209	1
PD0203/10	284	1
PD0203/11	282	1
PD0203/12	272	1
PD0203/13	284	1
PD0203/14	266	1
PD0203/15	275	1
PD0203/16	347	1
PD0203/17	248	1
PD0203/18	249	1
PD0203/19	245	1
PD0203/20	338	1
PD0203/21	328	1
PD0203/22	353	1
PD0203/23	295	1
PD0203/24	232	1
PD0203/25	240	1
PD0203/26	261	1
PD0203/27	312	1
PD0203/28	319	1
PD0203/29	318	1
PD0203/30	35	1
PD0203/31	20	1
PD0203/32	23	12
PD0203/33	43	1
PD0203/34	60	1
PD0203/35	75	1
PD0203/36	92	1
PD0203/37	228	1
PD0203/38	241	1
PD0203/39	266	1
PD0203/40	322	1
PD0203/41	247	1
PD0203/42	291	1
PD0203/43	266	1
PD0203/44	292	24

TOTAL	4902	10735	3396	3894	6796	1985	10162

	Dist total m
CABO 1 FO	107156
CABO 12 FO	1830
CABO 24 FO	10034
CABO 36 FO	2457
CABO 48 FO	428
CABO 72 FO	160
TOTAL	122060

PT	FS
492	9
488	3
553	5
422	2
357	3
551	4
401	2
470	3
341	1
88	1
59	1
239	2
55	1
529	4
203	3
242	4
183	3
221	2
TOTAL	53

1830
10034
2457
429
160

Comprimentos e quantidade de Fibras

PT 401		
	Dist (m)	FO
PD0401/1	138	24
PD0401/2	113	36
PD0401/3	72	24
PD0401/4	78	24
PD0401/5	89	24
PD0401/6	108	1

PT 183		
	Dist (m)	FO
PD0183/1	119	48
PD0183/2	28	48
PD0183/3	109	24
PD0183/4	43	24
PD0183/5	56	36
PD0183/6	135	24
PD0183/7	170	36
PD0183/8	103	12
PD0183/9	126	1
PD0183/10	95	1
PD0183/11	96	1
PD0183/12	94	1
PD0183/13	94	1
PD0183/14	82	1
PD0183/15	169	1
PD0183/16	177	1
PD0183/17	188	1
PD0183/18	74	1
PD0183/19	77	1
PD0183/20	69	1
PD0183/21	117	1
PD0183/22	100	1
PD0183/23	91	1
PD0183/24	110	1
PD0183/25	133	1
PD0183/26	138	1
PD0183/27	184	1
PD0183/28	171	1

(pares de pares 12 e

PT 551		
	Dist (m)	FO
PD0551/1	379	1
PD0551/2	371	1
PD0551/3	366	1
PD0551/4	365	1
PD0551/5	373	1
PD0551/6	413	1
PD0551/7	279	1
PD0551/8	307	1
PD0551/9	431	1
PD0551/10	441	1
PD0551/11	315	1
PD0551/12	346	1
PD0551/13	348	1
PD0551/14	414	1
PD0551/15	417	1
PD0551/16	255	1
PD0551/17	191	1
PD0551/18	264	1
PD0551/19	254	1
PD0551/20	565	1
PD0551/21	687	1
PD0551/22	603	1
PD0551/23	569	1
PD0551/24	638	1
PD0551/25	294	1
PD0551/26	641	1
PD0551/27	696	1
PD0551/28	265	1
PD0551/29	288	1
PD0551/30	303	1
PD0551/31	291	1
PD0551/32	63	24
PD0551/33	55	24
PD0551/34	123	36
PD0551/35	113	24
PD0551/36	30	24
PD0551/37	46	36
PD0551/38	78	24
PD0551/39	79	24
PD0551/40	143	24
PD0551/41	109	24
PD0551/42	286	1
PD0551/43	288	1
PD0551/44	296	1
PD0551/45	369	1
PD0551/46	395	1
PD0551/47	398	1
PD0551/48	412	1
PD0551/49	179	36
PD0551/50	415	1

PT 088		
	Dist (m)	FO
PD0088/1	110	1
PD0088/2	71	1
PD0088/3	59	1
PD0088/4	94	1
PD0088/5	55	1
PD0088/6	82	1
PD0088/7	56	1
PD0088/8	64	1
PD0088/9	67	1
PD0088/10	63	1
PD0088/11	172	1
PD0088/12	214	1
PD0088/13	101	1
PD0088/14	161	1
PD0088/15	142	1
PD0088/16	125	1
PD0088/17	150	1
PD0088/18	181	1
PD0088/19	172	1
PD0088/20	182	1
PD0088/21	189	1
PD0088/22	190	1
PD0088/23	200	1
PD0088/24	201	1
PD0088/25	172	1
PD0088/26	172	1
PD0088/27	172	1
PD0088/28	170	1
PD0088/29	172	1
PD0088/30	81	1
PD0088/31	105	1
PD0088/32	87	1
PD0088/33	115	1
PD0088/34	118	1
PD0088/35	92	1

PT 059		
	Dist (m)	FO
PD0059/1	208	1
PD0059/2	201	1
PD0059/3	234	1
PD0059/4	253	1
PD0059/5	186	1
PD0059/6	163	1
PD0059/7	250	1
PD0059/8	225	1
PD0059/9	254	1
PD0059/10	169	1
PD0059/11	169	1
PD0059/12	169	1
PD0059/13	169	1
PD0059/14	202	1
PD0059/15	169	1
PD0059/16	155	1
PD0059/17	177	1
PD0059/18	226	1
PD0059/19	183	1
PD0059/20	205	1
PD0059/21	222	1
PD0059/22	348	1
PD0059/23	302	1
PD0059/24	377	1
PD0059/25	383	1
PD0059/26	344	1
PD0059/27	339	1
PD0059/28	311	1
PD0059/29	239	1
PD0059/30	230	1
PD0059/31	221	1
PD0059/32	201	1
PD0059/33	187	1
PD0059/34	186	1
PD0059/35	207	1
PD0059/36	211	1
PD0059/37	144	1
PD0059/38	111	1
PD0059/39	109	1
PD0059/40	109	1
PD0059/41	83	1
PD0059/42	306	1
PD0059/43	336	1
PD0059/44	238	1
PD0059/45	228	1
PD0059/46	166	1
PD0059/47	415	1
PD0059/48	80	1
PD0059/49	115	1
PD0059/50	328	1
PD0059/51	70	1
PD0059/52	319	1
PD0059/53	79	1
PD0059/54	309	1
PD0059/55	32	1

	Dist (m)	FO
PD0059/56	75	1
PD0059/57	244	1
PD0059/58	216	1
PD0059/59	172	1
PD0059/60	242	1
PD0059/61	227	1
PD0059/62	225	1
PD0059/63	203	1
PD0059/64	201	1
PD0059/65	177	1
PD0059/66	152	1
PD0059/67	225	1
PD0059/68	203	1
PD0059/69	223	1
PD0059/70	236	1
PD0059/71	234	1
PD0059/72	223	1
PD0059/73	192	1
PD0059/74	58	1
PD0059/75	174	1
PD0059/76	111	1
PD0059/77	143	1
PD0059/78	55	1
PD0059/79	288	1
PD0059/80	254	1
PD0059/81	231	1
PD0059/82	258	1
PD0059/83	288	1
PD0059/84	308	1
PD0059/85	401	1
PD0059/86	368	1
PD0059/87	113	1
PD0059/88	598	1
PD0059/89	534	1
PD0059/90	518	1
PD0059/91	500	1
PD0059/92	489	1
PD0059/93	489	1
PD0059/94	72	1
PD0059/95	246	1
PD0059/96	231	1
PD0059/97	207	1
PD0059/98	187	1
PD0059/99	234	1
PD0059/100	250	1
PD0059/101	253	1
PD0059/102	258	1
PD0059/103	247	1
PD0059/104	162	1
PD0059/105	357	1
PD0059/106	75	1
PD0059/107	38	1
PD0059/108	79	1
PD0059/109	103	1

PT 239		
	Dist (m)	FO
PD0239/1	420	1
PD0239/2	419	1
PD0239/3	423	1
PD0239/4	284	1
PD0239/5	471	1
PD0239/6	180	1
PD0239/7	185	1
PD0239/8	198	1
PD0239/9	213	1
PD0239/10	237	1
PD0239/11	227	1
PD0239/12	302	1
PD0239/13	287	1
PD0239/14	226	1
PD0239/15	191	1
PD0239/16	193	1
PD0239/17	303	1
PD0239/18	222	1
PD0239/19	260	1
PD0239/20	328	1
PD0239/21	238	1
PD0239/22	344	1
PD0239/23	174	1
PD0239/24	334	1
PD0239/25	294	1
PD0239/26	324	1
PD0239/27	120	1
PD0239/28	167	1
PD0239/29	161	1
PD0239/30	119	1
PD0239/31	129	1
PD0239/32	133	1
PD0239/33	118	1
PD0239/34	134	1
PD0239/35	320	1
PD0239/36	310	1
PD0239/37	300	1
PD0239/38	269	1
PD0239/39	477	1
PD0239/40	280	1
PD0239/41	195	1
PD0239/42	277	1
PD0239/43	285	1
PD0239/44	515	1
PD0239/45	519	1
PD0239/46	530	1
PD0239/47	534	1
PD0239/48	553	1
PD0239/49	554	1
PD0239/50	485	1
PD0239/51	492	1
PD0239/52	504	1
PD0239/53	200	1
PD0239/54	70	1
PD0239/55	85	1

	Dist (m)	FO
PD0239/56	295	1
PD0239/57	322	1
PD0239/58	273	1
PD0239/59	350	1
PD0239/60	347	1
PD0239/61	373	1
PD0239/62	417	1
PD0239/63	417	1
PD0239/64	445	1
PD0239/65	394	1
PD0239/66	376	1
PD0239/67	452	1
PD0239/68	454	1
PD0239/69	364	1
PD0239/70	415	1
PD0239/71	426	1
PD0239/72	435	1
PD0239/73	442	1
PD0239/74	455	1
PD0239/75	471	1
PD0239/76	483	1
PD0239/77	499	1
PD0239/78	509	1
PD0239/79	520	1
PD0239/80	528	1
PD0239/81	538	1
PD0239/82	547	1
PD0239/83	552	1
PD0239/84	193	1
PD0239/85	205	1
PD0239/86	221	1
PD0239/87	183	1
PD0239/88	170	1
PD0239/89	176	1
PD0239/90	182	1
PD0239/91	207	1
PD0239/92	200	1
PD0239/93	191	1
PD0239/94	196	1
PD0239/95	164	1
PD0239/96	188	1
PD0239/97	213	1
PD0239/98	229	1

3746 16186 4557 11852 12869 15963 15017 122060