



Rui António Rodrigues Francisco

Proposta de Estratégia para a Rede de Fibras Ópticas da EDP Distribuição

Dissertação de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, orientada pelo Professor Doutor Henrique José Almeida da Silva, apresentada ao Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Julho 2014



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Dissertação de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Telecomunicações

Proposta de Estratégia para a Rede de Fibras Ópticas da EDP Distribuição

Rui António Rodrigues Francisco

Júri

Presidente: Professora Doutora Maria do Carmo Raposo de Medeiros

Orientador: Professor Doutor Henrique José Almeida da Silva

Vogal: Professor Doutor Mário Gonçalo Mestre Veríssimo Silveirinha

Coimbra

Julho de 2014

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Henrique Silva, orientador desta dissertação, primeiramente por ter aceitado a orientação de um trabalho atípico, elaborado por alguém que já está há alguns anos no mercado de trabalho, e depois pelos sábios conselhos, quer técnicos, quer metodológicos, que foi dando ao longo do percurso, e os quais foram fundamentais para manter a motivação e o rumo essenciais à sua conclusão.

Agradeço também à EDP Distribuição, em particular aos Eng^{os} Pais Rocha e Jorge Gomes, pela aprovação e incentivo inicial à realização deste trabalho, assim como pelo apoio e pela oportunidade de o realizar parcialmente na actividade da empresa, na componente alinhada com os objectivos da nova área de trabalho que integrei desde o início do ano.

Não me poderia também esquecer de agradecer aos meus novos colegas de Coimbra do Departamento de Planeamento e Controlo da Direcção de Manutenção, a quem agradeço o acolhimento e bom ambiente criado, e os quais facilitaram bastante a minha integração no Grupo de Trabalho e a manutenção do espírito necessário para “levar este trabalho a bom porto”.

Aos restantes colegas da EDP Distribuição, que directa ou indirectamente contribuíram para o conhecimento e informação partilhada nesta dissertação, o meu muito obrigado.

Aos meus amigos e família, em particular aos meus pais e irmãos, que são uma das bases de sustentação da pessoa que sou hoje, o meu eterno obrigado.

Por último, mas não menos importante, agradeço à minha esposa Sandra, pelo incentivo inicial à realização deste trabalho e pela compreensão que sempre demonstrou ao longo do período da sua elaboração, e a qual é especialmente de louvar quando se tem em casa três crianças para cuidar, incluindo a pequenina Leonor para adormecer todas as noites. Aos meus filhos Tomás, Afonso e Leonor, as minhas desculpas pelos serões em que estive menos presente. Vocês sabem que foi tudo feito a pensar em vós. Obrigado!

RESUMO

A EDP Distribuição (EDPD), uma empresa do Grupo EDP, é a empresa responsável pela distribuição de energia eléctrica em Portugal Continental. Como operadora de rede de distribuição de energia eléctrica, esta empresa tem que garantir os níveis de continuidade e qualidade de serviço exigidos no Regulamento de Qualidade de Serviço. Com esse objectivo, associado ao do aumento da performance financeira e da flexibilidade e fiabilidade da rede de distribuição, a EDPD tem vindo continuamente a desenvolver nas últimas três décadas a Automação e Telecontrolo dessa mesma rede eléctrica.

Para suportar essa evolução, grandes investimentos têm vindo a ser necessários, particularmente na rede de telecomunicações privativa, possibilitando o controlo de Subestações de Alta Tensão (AT) e de Órgão de Corte de Rede de Média Tensão (MT) a partir de uma localização remota (Centro de Despacho ou Condução).

Por essa razão, hoje em dia, na EDPD, mais de 400 Subestações (SEs) e Postos de Corte (PCs) AT e mais de 3000 instalações MT podem ser remotamente controladas (telecomandadas).

Esta característica é conseguida essencialmente tirando partido de uma rede de cabos de fibras ópticas de abrangência nacional, com cerca de 7000km de extensão, suportada nas infra-estruturas existentes das redes de alta e média tensão. Esta rede é depois a base de suporte às comunicações entre equipamentos de diversas tecnologias, como PDH, SDH e Ethernet/IP e ao acesso a equipamentos rádio VHF e microondas.

Embora continue a ser considerado, com a necessidade premente de migração das tecnologias legadas (PDH, SDH) para redes baseadas em IP, o recurso a fornecedores de serviços de telecomunicações externos para a disponibilização de serviços actualmente oferecidos por aquelas tecnologias de telecomunicações privadas, o mesmo já não poderá ser dito em relação à rede de cabo de fibras ópticas. Esta rede, essencialmente pela sua fiabilidade, disponibilidade, capilaridade e características tecnológicas à prova de futuro, continuará a ser um activo estratégico para a EDPD, não só porque será de utilização obrigatória pelos fornecedores de serviços no cenário referido, mas também porque terá que continuar a suportar outros serviços críticos à partida não enquadráveis naquele cenário (como a comunicação entre sistemas de protecções diferenciais de teleprotecções) e ainda porque dela

se poderá continuar a tirar contrapartida financeira directa na cedência de circuitos a operadores de telecomunicações.

Pelo valor estratégico que o activo fibras ópticas tem e que se prevê que continue a ter nos próximos anos para a EDPD propõe-se uma revisão da estratégia de investimento, gestão, operação e manutenção desta rede, à luz do nível risco que o mesmo acarreta para a actividade da empresa, nomeadamente através de adição de uma componente de manutenção preventiva preditiva com a implementação de um Sistema de Gestão e Monitorização Remota.

Palavras Chave: Rede de Distribuição de Energia Eléctrica, Telecomunicações, Rede de Fibras Ópticas, Estratégia, Manutenção, Gestão e Monitorização.

ABSTRACT

EDP Distribuição (EDPD), a company of the Portuguese EDP Group, is the company responsible for the electricity distribution in Continental Portugal. In the role of The Portuguese Distribution System Operator (DSO), this company ought to guarantee the levels of continuity and quality of service required in the Portuguese Quality of Service Regulation. Considering this goal, complemented with the financial performance and network flexibility and reliability increasing objective, EDPD has been continuously developing, in the last three decades, the automation and remote control of that electrical network.

In order to support this evolution, huge investments have been necessary, particularly in the private telecommunications network, permitting the control of High Voltage (HV) Substations and Medium Voltage (MV) Network Switches, from a remote and centralized location (Dispatch Center).

For that reason, nowadays, in EDPD, more than 400 HV Substations and more than 3000 MV switches can be remotely controlled (telecontrolled).

This feature is essentially obtained relying on a private owned nationwide fiber optics cable network, with an extent of more than 7000km, installed on the existing high and medium voltage electrical network infrastructures. This fiber optics network is then the base for the communication between equipment of several technologies, such as PDH, SDH and Ethernet/IP, and for the access to the VHF and microwave radio networks.

Despite the fact that it continues to be considered, with the imperious needing of migrating from legacy technologies (PDH, SDH) to IP based networks, the reliance on telecommunication services providers outsourcing for the providing of services actually supported on those private owned legacy networks, the same cannot be said concerning the EDPD's fiber optics cable network. This network, essentially for its reliability, availability, capillarity and future-proof technical features, will continue to be considered as a strategic asset for EDPD, not just because it will be of mandatory use for the external providers scenario referred above, but also because it has to keep supporting other critical services, at first sight not compatible with that scenario (as for example the communication between protection systems), and also because it is expected EDPD to keep obtaining financial profit from it, providing spare dark fiber circuits to external telecommunications operators.

For the strategic value the fiber optics assets represent and that is expected to continue to represent in the next years for EDPD, a fiber optics network investment, management, operation and maintenance strategy revision is proposed in the scope of this work, based on the risk level it represents for the EDPD *core business*, namely through the addition of a predictive maintenance component to that network, with the implementation of a Remote Fiber Monitoring System.

Keywords: Electrical Energy Distribution Network, Automation and Telecontrol, Telecommunications, Fiber Optics Network, Strategy, Maintenance, Management, Monitoring.

Índice

1.	Introdução.....	15
1.1	Motivação e enquadramento	15
1.2	Objectivos.....	16
1.3	Estrutura da dissertação.....	17
2.	Caracterização da rede óptica da EDP Distribuição.....	18
2.1	Infra-estrutura de fibras ópticas.....	19
2.1.1	Fibras Ópticas.....	19
2.1.2	Considerações de instalação	20
2.1.3	Cabos	21
2.1.4	Conectores.....	22
2.2	Redes Ópticas da EDPD.....	23
2.2.1	PDH	24
2.2.2	SDH.....	24
2.2.3	IP/Ethernet.....	24
2.3	Gestão e Monitorização Remota da infra-estrutura de fibras ópticas.....	25
2.4	Política de Manutenção.....	27
2.4.1	Conceitos de manutenção.....	27
2.4.2	Caracterização de falhas de redes de fibras ópticas e seus riscos para a EDPD....	27
2.4.3	Política de manutenção actual.....	30
3	Proposta de evolução da rede óptica da EDP Distribuição	31
3.1	Infra-estrutura de fibras ópticas.....	31
3.1.1	Cabos	32
3.1.2	Fibras Ópticas.....	34
3.1.3	Conectores.....	35
3.2	Gestão e Monitorização Remota	37
3.2.1	Requisitos básicos	38
3.2.2	Requisitos de componente de monitorização remota	40
3.2.3	Caracterização técnica e económica da solução.....	41
3.2.3.1	Unidades de Teste Óptico	41
3.2.3.2	Protocolo e interfaces de comunicação	44
3.2.3.3	Número de Unidades de Teste Óptico e sua distribuição pela rede	45
3.2.3.4	Custos da solução.....	47
3.2.3.5	<i>Payback</i> da solução	48
3.3	Política de Manutenção.....	49
3.3.1	Manutenção Preventiva Preditiva e Sistemática	50

3.3.2	Manutenção baseada na condição e risco (CBRM).....	51
3.3.3	Actuação em caso de avaria.....	52
3.3.4	Stock de reservas – materiais e quantidades.....	53
3.3.4.1	Política de encomendas	53
3.3.4.2	Stock mínimo de reservas	54
3.3.5	Formação.....	55
3.4	Acompanhamento da evolução das redes de fibras ópticas	56
4	Conclusões.....	56
4.1	Síntese do trabalho realizado	56
4.2	Principais contribuições.....	58
4.3	Propostas de trabalho futuro.....	59
4.3.1.	Optimização do Sistema de Gestão e Monitorização da Rede.....	59
4.3.2.	Detalhe de estratégia de manutenção baseada no estado e no risco dos activos	59
4.3.3.	Mitigação dos riscos de falha da rede de fibras ópticas com base na evolução tecnológica da rede óptica (WDM)	59
	Bibliografia	61
	Anexos	63
	Anexo A.1 - Características de materiais em uso na rede de fibras ópticas da EDPD.....	64
	Anexo A.2 - Proposta de evolução de fibras ópticas e conectores da rede da EDPD	66
	Anexo A.3 - Proposta para requisitos dimensionais de cabos de fibras ópticas da EDPD	69
	Anexo A.4 - Proposta de código de cores de fibras ópticas para cabos EDPD	70
	Anexo A.5 - Rede PDH da EDPD.....	74
	Anexo A.6 - Rede SDH da EDPD.....	77
	Anexo A.7 - Rede IP/Ethernet da EDPD	80
	Anexo A.8 - Caracterização de avarias de cabos de fibras da EDP Distribuição.....	82
	Anexo A.9 - Proposta de distribuição de Unidades de Teste Óptico.....	83
	Anexo A.10 - Ficha de manutenção preventiva sistemática revista	84
	Anexo A.11 - Conceitos de Manutenção	85
	Anexo A.12 - Proposta de procedimentos de actuação em caso de avaria	88
	Anexo A.13 - Proposta de Ficha de apoio ao comissionamento de novas ligações.....	90
	Anexo A.14 - Rede de cabos de Fibras Ópticas da EDPD.....	92
	Anexo A.15 - Cabos de fibras ópticas em uso na EDP Distribuição	93
	A.15.1 OPGW	93
	A.15.2 ADSS.....	94
	A.15.3 Dieléctrico de conduta.....	96
	A.15.4 Outros tipos de cabo.....	97

Índice de Figuras

Figura i - Modelo clássico de camadas OSI	18
Figura ii - Aspecto de um cabo <i>pigtail</i> com conector tipo FC/PC	23
Figura iii - Operação de instalação de cabo de fibras ópticas tipo WRAP em torno de cabo OPGW existente [6].	33
Figura iv - Atenuação em função do comprimento de onda para as fibras monomodo tradicionais (G.652.B) e fibras do tipo baixo pico de água (IEC B1.3). [7]	35
Figura v - Conector tipo SC/APC.....	37
Figura vi - Esboço do esquema funcional de um exemplo de um sistema de monitorização remota de fibras ópticas [8].	38
Figura vii - Diferentes definições de gama dinâmica de um OTDR [9].	42
Figura viii - Trace de OTDR indiciando uma dobragem na fibra a cerca de 3km da origem [9].	43
Figura ix - Esboço de interfaces de comunicação de um exemplo de um sistema de monitorização remota de fibra óptica comercialmente disponível [11].	45
Figura x - Exemplo de raciocínio utilizado para determinação da localização de UTOs na Área Metropolitana do Porto.....	47
Figura xi - Gráfico custos versus nível de manutenção [13]	49
Figura xii - Aspecto duma ligação simplificada entre MUXs.....	76
Figura xiii - Rede SDH da EDP Distribuição.....	78
Figura xiv - Arquitectura da Rede Piloto IP/Ethernet Flexnet	80
Figura xv - Formas de manutenção [12].	85
Figura xvi - Processo de resolução de avarias em cabos de fibras ópticas da EDPD – fase de despiste e mitigação	88
Figura xvii - Processo de resolução de avarias em cabos de fibras ópticas da EDPD – fase de resolução	89
Figura xviii - Rede de cabos de fibras ópticas da EDP Distribuição.....	92
Figura xix - Esboço de uma ligação baseada em cabo OPGW sobre uma alinha AT.....	93
Figura xx - Aspecto de um cabo tipo OPGW.....	94
Figura xxi - Corte longitudinal de um cabo OPGW.....	94
Figura xxii - Esboço de uma ligação óptica baseada em cabo ADSS apoiado numa linha AT/MT.	95
Figura xxiii - Aspecto de um cabo tipo ADSS.....	95
Figura xxiv - Perfil com a constituição de um cabo ADSS.....	96
Figura xxv - Constituição de um cabo de fibras ópticas tipo dieléctrico de conduta.	97
Figura xxvi - Aspecto do cabo tipo Microcable™	98
Figura xxvii - Perfil e constituição de um cabo tipo “Figura 8”.....	98

Índice de Tabelas

Tabela i - Modos de falha típicos e principais causas de avaria de sistemas de fibras ópticas da EDPD	29
Tabela ii - Comparação técnico-económica entre vários tipos de conectores.....	36
Tabela iii - Estimativa de custos de Sistema para Gestão e Monitorização Remota de Cabos de Fibras Ópticas da EDP Distribuição a nível nacional.	48
Tabela iv - Características das fibras ópticas monomodo padrão, de acordo com a rec. G.652.B do ITU-T	64
Tabela v - Características típicas de pigtails com conectores tipo FC/PC	65
Tabela vi - Tabela comparativa das características das fibras ópticas monomodo mais utilizadas no mercado	66
Tabela vii - Características das fibras ópticas monomodo de baixo pico de água, de acordo com a especificação da família B1.3 da norma IEC 60793-2-50 (equivalente a ITU G.652.D).....	67
Tabela viii - Características técnicas dos <i>pigtails</i> com conectores do tipo SC/APC propostos	68
Tabela ix - Especificações físicas STM-1 e STM-14 da SDH [24].....	79
Tabela x - Listagem de avarias em cabos de fibras ópticas da rede da EDPD ocorridas/resolvidas no período 2010-2014	82
Tabela xi - Lista de Unidades de Teste Óptico propostas e respectiva caracterização.....	83
Tabela xii - Extracto de ficha de manutenção preventiva sistemática a sistemas de fibras ópticas, actuando directamente sobre a sua terminação (repartidores ópticos).	84
Tabela xiii - Vantagens e desvantagens da manutenção correctiva [24].	86
Tabela xiv - Vantagens e desvantagens da manutenção preventiva sistemática [24].....	87
Tabela xv - Vantagens e desvantagens da manutenção preditiva [24].	87
Tabela xvi - Ficha de apoio ao comissionamento de novas ligações de Fibras Óptica da EDPD.....	90

1. Introdução

1.1 Motivação e enquadramento

À semelhança do que acontece na generalidade das empresas distribuidoras de electricidade mundiais, a EDP Distribuição tem vindo a dotar as suas infra-estruturas aéreas e subterrâneas da rede eléctrica de cabos de fibras ópticas, os quais são utilizados essencialmente como suporte a redes de telecomunicações privativas PDH e SDH e a circuitos de “fibra escura” cedidos a operadores externos.

Esta opção, em detrimento da opção pela utilização de redes de fibras ópticas de terceiros (operadores de telecomunicações), justifica-se pela elevada fiabilidade e disponibilidade que lhe são exigidas, em linha com a criticidade dos serviços que suporta (telecomando de instalações eléctricas, comunicação entre sistemas de protecções, comunicações de voz operacionais, etc.), essenciais à condução e exploração da rede de distribuição eléctrica nacional.

Numa primeira fase, e com a proliferação de fabricantes de cabos de fibras ópticas e, em especial, de fabricantes de acessórios de fibras ópticas, foi necessário elaborar especificações exigentes, adequadas à criticidade do serviço prestado pela EDPD, e que pudessem garantir a qualidade dos produtos adquiridos pela empresa.

Mais recentemente, tem-se verificado que a crescente procura de largura de banda, quer na rede privativa da EDPD, quer nas redes de operadores que utilizam a rede de fibras ópticas da EDPD, tem conduzido à constante actualização de capacidade e de tecnologias das redes de comunicações existentes (por exemplo o aumento de níveis de transmissão nas redes SDH e introdução de tecnologias WDM).

Estas evoluções têm trazido, por seu turno, exigências de qualidade e de capacidade à rede de fibras ópticas existente.

Paralelamente, alguns acessórios de fibras ópticas passaram a estar tecnologicamente obsoletos e pouco disponíveis no mercado, limitando as escolhas e reduzindo a competitividade dos preços.

Estes dois factores motivaram assim o acompanhamento de evolução de normalização internacional nesta área e a realização de estudos de mercado, conduzindo a uma proposta de actualização técnica de cabos, fibras e acessórios ópticos a utilizar na rede da EDPD.

Constrangimentos existentes na Gestão da Rede de Fibras Ópticas da EDPD, devido principalmente à sua extensão (mais de 700km de cabo) e à sua abrangência nacional, associado à dispersão de bases de dados do “tipo caseiras” de cadastro e de ocupação da rede, “amplificadas” por recentes mudanças organizacionais, justificam a reflexão sobre a implementação de Sistema de Gestão profissional e centralizado.

Já no capítulo de manutenção destas redes, e em busca de uma estratégia de manutenção o mais próxima possível do ponto óptimo que minimiza os seus custos, poderá fazer sentido complementar o Sistema referido no parágrafo anterior com uma componente de monitorização remota da rede, que acrescentará uma componente de manutenção preventiva preditiva à referida estratégia de manutenção, conduzindo a uma efectiva actuação antes do acontecimento de falhas catastróficas.

Por forma a mitigar os riscos criados pela falha de cabos de fibras ópticas e pela recente mudança organizacional na responsabilidade pela manutenção da rede de fibras ópticas, será importante clarificar os procedimentos de actuação em caso de avaria e os respectivos responsáveis, assim como definir a política de stock de reservas e dotar as novas equipas de formação adequada à responsabilidade que assumiram.

Assim, sendo o autor desta dissertação detentor de grau de Licenciatura anterior à introdução do Processo de Bolonha, aquilo que começou por ter como objectivo principal a reposição da injustiça de confusão de graus académicos criada por este Processo em Portugal, acabou por ser uma excelente oportunidade para o autor desta dissertação aprofundar os seus conhecimentos em sistemas de fibras ópticas e encontrar as melhores práticas na manutenção dos mesmos, colmatando num trabalho de valor acrescentado para a EDP Distribuição, alinhado com as suas políticas actuais de excelência na qualidade de serviço e gestão de activos baseada no risco.

1.2 Objectivos

Os objectivos principais que pautaram a elaboração desta dissertação foram os seguintes:

- Descrição da Rede de Fibras Ópticas e de comunicações da EDP Distribuição (EDPD) e identificação de constrangimentos técnicos e operacionais que lhe estão associados;
- Proposta de evolução técnica de cabos, fibras ópticas e acessórios de fibras ópticas na rede da EDPD;
- Descrição da actual política de Gestão, Operação e Manutenção da Rede de Fibras Ópticas da EDPD e identificação de constrangimentos que lhe estão associados;

- Concepção e proposta de implementação de Sistema de Gestão e Monitorização Remota da Rede de Fibras Ópticas da EDP Distribuição;
- Elaboração de proposta de actualização da estratégia de manutenção da Rede de Fibras Ópticas da EDPD com base na componente de manutenção preditiva introduzida por aquele Sistema;
- Definição das linhas orientadoras para futura elaboração de plano de manutenção desta rede baseado no estado e no risco que a mesma apresenta para o negócio da empresa;
- Criação de documentos de suporte à aquisição, instalação, comissionamento e manutenção da rede de fibras ópticas da EDPD.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta essencialmente por dois grandes capítulos dedicados ao estado actual da rede de fibras ópticas da EDPD e às propostas de evolução da mesma em várias vertentes, para além dos capítulos introdutórios e de conclusão sobre o trabalho realizado, e é apresentada da seguinte forma:

- **Capítulo 1 – Introdução:** neste capítulo é efectuado um enquadramento e são apresentados os objectivos a atingir com a elaboração desta dissertação;
- **Capítulo 2 – Caracterização da Rede Óptica da EDP Distribuição:** capítulo em que é efectuada uma descrição das redes ópticas da EDPD, incluindo o detalhe dos materiais utilizados e das políticas de gestão e manutenção associadas, e para cuja especificação o autor desta dissertação tem tido participação activa ao longo dos anos de trabalho na empresa. São ainda identificados neste capítulo os respectivos constrangimentos e oportunidades de melhoria;
- **Capítulo 3 – Propostas de evolução da rede óptica da EDP Distribuição:** é aqui que são efectuadas propostas de evolução técnica da rede de fibras ópticas da EDPD em várias vertentes, assim como a concepção e proposta de implementação de um Sistema de Gestão e Monitorização Remota dessa rede e de uma redefinição da estratégia de manutenção associada, com base na introdução, através deste Sistema, de uma componente de detecção precoce de falhas e na condição e risco que a rede apresenta para a empresa;
- **Capítulo 4 – Conclusões:** no último capítulo da dissertação são apresentadas as conclusões sobre o trabalho realizado e identificados temas com potencial de serem desenvolvidos em iniciativas de continuidade ao trabalho realizado;
- **Anexos:** Nos anexos a esta dissertação é dado detalhe técnico sobre as redes ópticas e rede de cabos de fibras ópticas da EDPD. São ainda dados alguns conceitos teóricos de manutenção. Estão ali também colocadas as especificações dos materiais que têm vindo a ser usados nos últimos anos e dos materiais que se propõe que passem a ser utilizados na rede de fibras ópticas da EDPD, e cujo principal contribuidor no seio da EDPD tem sido, em ambas as situações, o autor desta dissertação. É ainda apresentada uma série de documentos criados no âmbito desta dissertação, referentes a definições técnicas e processuais relacionadas com a aquisição, instalação, comissionamento e manutenção de cabos de fibras ópticas. Por fim, mas não menos importante, são ainda

apresentadas as propostas detalhadas do Sistema de Gestão e Monitorização Remota e do estudo de caracterização das avarias da rede de fibras ópticas efectuado.

2. Caracterização da rede óptica da EDP Distribuição

Tirando partido do plano que tem vindo a ser implementado ao longo das últimas duas décadas, referente à instalação de uma infra-estrutura de cabos de fibras ópticas privativa de abrangência nacional, a EDPD tem vindo a implementar diversas redes ópticas, essencialmente de primeira geração - como é o caso da rede PDH (Plesiocronous Digital Hierarchy), a rede SDH (Synchronous Digital Hierarchy) e a rede IP/Ethernet, a abordar em 2.2 - e que utilizam a referida infra-estrutura para interligação dos seus elementos de rede (NEs), em substituição aos clássicos cabos de cobre.

Sendo as redes ópticas da EDPD de primeira-geração, assentam no modelo clássico de camadas para redes proposto pelo OSI, e o qual pode ser observado na Figura i.



Figura i - Modelo clássico de camadas OSI.

Nas redes ópticas da EDPD, a infra-estrutura de cabos de fibras ópticas faz o papel da camada 1 (camada física) referida no modelo da Figura i, e será descrita em detalhe na secção 2.1 do presente capítulo. Já as redes SDH, PDH e Ethernet em uso na EDPD fazem o papel da camada 2, e serão descritas com mais detalhe em 2.2.

A referida infra-estrutura é também utilizada como base a redes ópticas de segunda-geração - redes que disponibilizam comutação por circuitos de “caminhos de luz”, roteando e comutando comprimentos de onda dentro da rede [1]. Podemos dizer que as redes ópticas de segunda-geração acrescentam ao modelo referido na Figura i uma nova camada, chamada de camada óptica. No entanto, estas redes são detidas por entidades externas (Operadores de Telecomunicações) a quem a EDPD cede, numa perspectiva de rentabilização da sua infra-

estrutura óptica, circuitos de “fibra escura”. São assim esses Operadores que são responsáveis pelos elementos típicos destas redes ópticas, como os Optical Line Terminals (OTLs), os Optical Add/Drop Multiplexers (OADMs) e os Optical Crossconnects (OXC), razão pela qual este tipo de redes ópticas não será abordada em detalhe no âmbito deste trabalho.

2.1 Infra-estrutura de fibras ópticas

Com o aparecimento de soluções de cabos de fibras ópticas para montagem em redes de distribuição de electricidade, a preços considerados razoáveis, no final da década de 90 do século passado, a EDPD delineou um plano de instalação de cabos contendo fibras ópticas nas suas infra-estruturas aéreas e subterrâneas de alta e média tensão. Com o objectivo de suportar a comunicação entre equipamentos de telecomunicações das tecnologias SDH e PDH, transportando serviços associados à condução e exploração da rede, esta rede atingiu uma capilaridade de tal ordem que, no final de 2005, 95% das SEs e PCs de alta tensão de Portugal Continental estavam dotados de cabos de fibras ópticas. Hoje em dia todas as novas instalações eléctricas daquele nível de tensão são dotadas deste tipo de cabo de comunicações.

Tendo em conta que a EDPD também utiliza esta rede para suporte às suas comunicações de voz corporativas (comunicações telefónicas), de igual modo a grande maioria dos Edifícios Administrativos da empresa estão dotadas de cabo de fibras ópticas, assim como os Edifícios Técnicos, como sejam os Centros de Despacho e Condução e Data Centers (locais onde estão instalados os sistemas centrais SCADA).

Deste modo, todas as ligações em fibra óptica da EDP Distribuição são do tipo ponto-a-ponto, sendo estas efectuadas, na maioria das vezes, entre as suas instalações eléctricas, administrativas, técnicas ou operacionais.

Com esta evolução, a EDPD tem hoje uma rede de cabos de fibras ópticas de abrangência nacional, com cerca de 7.000km de extensão, à qual correspondem cerca de 200.000km de fibra óptica.

Na Figura xviii do Anexo A.14 é apresentado o aspecto da infra-estrutura de cabos de fibras ópticas da EDPD.

2.1.1 Fibras Ópticas

Tendo em conta que o comprimento das linhas de energia eléctrica da EDPD que tipicamente são dotadas de cabos de fibras ópticas pode variar entre alguns e várias dezenas

de quilómetros, para que fosse possível a comunicação entre equipamentos activos localizados nessas instalações, sem recorrer a amplificadores ou regeneradores intermédios, a EDP decidiu adoptar desde o primeiro momento o tipo de fibra monomodo para as suas redes.

Este tipo de fibra, disponível comercialmente desde 1984, veio permitir eliminar um dos grandes constrangimentos das fibras multimodo – a dispersão intermodal – que limitava o débito binário, exigindo a instalação de regeneradores espaçados de poucos quilómetros para o ultrapassar, o que tornava as soluções de comunicações baseadas neste tipo de fibra muito dispendiosas.

Apesar desta opção por uso de fibras ópticas monomodo, a EDPD teve ainda de ultrapassar alguns desafios iniciais no planeamento das suas redes ópticas. Um dos principais foi o da limitação de distância de transmissão a cerca de 40km, causado pela atenuação na fibra, uma vez que os primeiros elementos da rede óptica da EDPD (equipamentos da família PDH) estavam dotados de lasers MLM Fabry-Perot na banda de comprimento de onda de 1310nm. Este problema foi mitigado com a instalação de elementos de rede da família SDH que estavam dotados de lasers na banda de comprimento de onda de 1550nm que permitiram tirar partido da menor atenuação deste tipo de fibras ópticas nesta janela de transmissão (3ª janela). Ainda que as fibras monomodo possuíssem uma maior dispersão (dispersão cromática) a 1550nm do que a 1310nm, comprimento de onda no qual era praticamente desprezável, este não era na altura um factor limitador para a transmissão óptica nas redes da EDP tendo em conta os débitos binários máximos então utilizados naquelas redes SDH (155Mbps – STM-1).

A fibra então adoptada pela EDPD, e que constitui ainda actualmente a grande maioria da infra-estrutura óptica da EDPD, foi a fibra óptica monomodo que é considerada como padrão, a qual se baseia na recomendação G.652.B da ITU-T.

Na Tabela iv do Anexo A.1 poderão ser encontrados os principais requisitos técnicos para essas fibras ópticas os quais, conforme já referido, seguiam aquela recomendação da ITU-T.

2.1.2. Considerações de instalação

Tendo em conta os comprimentos típicos de ligações ópticas já referidos, e que as bobinas de cabos de fibras ópticas são produzidas com um comprimento máximo de cerca de 5km, existe normalmente a necessidade de realizar várias junções por fusão numa ligação óptica. Por forma a que não se comprometesse a performance destas ligações - e mais numa vertente de instalação - foram definidos valores máximos admissíveis para atenuação em juntas por fusão.

O módulo destes valores, independentemente do comprimento de onda, e obtidos recorrendo a ensaio de reflectometria óptica com OTDR, foram então definidos como de 0,3dB, em cada sentido, e 0,1 dB em média. Este último é considerado como a efectiva perda na junta e calcula-se com o objectivo de minimizar o efeito de alteração do coeficiente de backscattering muitas vezes notado de uma fibra para a outra devido a diferenças no diâmetro do campo modal (diâmetro do núcleo, etc.), e que por vezes nos induz erradamente em “ganhos” nas juntas.

Durante vários anos a EDPD definiu que as fibras ópticas que constituíam os seus cabos deveriam seguir o código de cores definido na norma *IEC 60304*. Esta norma define um leque de 12 cores a utilizar, mas não a sequência em que devem ser ligadas aquando a instalação, nem a forma como devem ser distinguidas fibras em cabos com mais de 12 fibras de capacidade. Esta abertura fez com que uma panóplia de códigos de cores fosse de facto utilizada nas ligações em serviço, com o conseqüente inconveniente de difícil gestão do código de cores existente em cada troço ou junção para efeitos de operação e manutenção da rede, motivo pelo qual no âmbito deste trabalho também se decidiu efectuar a normalização dessa codificação (ver Anexo A.4 - Proposta de código de cores de fibras ópticas para cabos EDPD).

2.1.3. Cabos

Tendo em conta que a EDPD utiliza as infra-estruturas existentes da rede eléctrica para suportar a sua rede de cabos de fibra óptica, o tipo de cabos seleccionados possuem construção específica, adequada à instalação naquelas redes. A escolha por um determinado tipo de cabo de fibras ópticas depende fundamentalmente das características da infra-estrutura existente entre os dois pontos a interligar e da forma como poderá ser feito o acesso a essa infra-estrutura durante o processo de instalação.

Os tipos de cabos de fibra óptica usualmente utilizados por *utilities* como a EDPD são: OPGW, OPPC, ADSS, MASS, OPAC, WRAP, AAC, micro cabo e dieléctrico de conduta. De entre estes, a EDPD tem vindo a utilizar apenas o OPGW, o ADSS, o microcabo e o dieléctrico de conduta, os quais são descritos em mais detalhe no Anexo A.15 - Cabos de fibras ópticas em uso na EDP Distribuição, e para cuja especificação de requisitos o autor desta dissertação tem sido um dos principais contribuidores na EDPD ao longo dos anos, sendo co-autor de vários documentos referidos nesse anexo.

2.1.4 Conectores

Tendo em conta as suas reduzidas dimensões (da ordem dos μm), o interface de uma fibra óptica com os seus clientes (como os equipamentos PDH e SDH) requer dispositivos adequados e específicos e que se designam por conectores. Na prática existem duas técnicas diferentes para terminar uma fibra óptica com conectores. Uma consiste na utilização de cabos pré-conectorizados de fábrica e a outra consiste no recurso a cabos especiais denominados *pigtails*. Pela natureza do processo de instalação envolvido, a primeira não é praticável para a EDPD pelo que se optou pela utilização da segunda. Esta técnica envolve a fusão no terreno do cabo de fibras ópticas com o cabo *pigtail* pré-montado em fábrica, e o qual é já terminado em conector. Este *pigtail* e a respectiva fusão com o cabo de fibras ópticas são alojados numa caixa de distribuição acessível aos clientes usualmente designadas por Repartidores Ópticos ou, do inglês, ODF (Optical Distribution Frame). Estas caixas têm então um painel frontal onde a ligação entre os referidos conectores e os conectores dos cabos de ligação aos clientes (cabos Patchcords) é efectuada recorrendo a adaptadores compatíveis com estes conectores.

Embora logicamente o tipo de fibra óptica que constitui o *pigtail* deva ser o mesmo que o utilizado nos cabos em uso na EDPD, já no que diz respeito ao tipo de conector que os compõem existe uma diversidade de escolhas possíveis. No caso da EDP, e principalmente por uma questão de preço vs performance, optou-se inicialmente pela utilização do conector do tipo FC, com o polimento da ferrule em PC (Physical Contact).

Um exemplo de um *pigtail* com conector FC/PC pode ser visto na Figura ii e as respectivas características técnicas para este tipo de conectores podem ser confirmadas na Tabela v do Anexo A.1.

Estes conectores apresentam como principais desvantagens a sensibilidade a más conexões (apertos) e a limitação na densidade da sua instalação em repartidores ópticos, principalmente devido à sua forma de encaixe ser por método de rosca, motivos que levarão à realização, no âmbito deste trabalho, de estudo de adopção de novo conector de fibras ópticas padrão para a rede da EDPD (ver 3.1.3).



Figura ii - Aspecto de um cabo *pigtail* com conector tipo FC/PC.

2.2 Redes Ópticas da EDPD

Os cabos de fibras ópticas da rede da EDPD possuem tipicamente 24 ou 48 fibras ópticas. Não sendo a EDPD um operador de telecomunicações, a utilização que é dada a esta rede é maioritariamente a serviços de suporte à condução e exploração da rede eléctrica de distribuição, como:

- a) telecomando de instalações eléctricas de AT e MT;
- b) comunicação entre equipamentos de protecção de instalações eléctricas;
- c) comunicações de voz corporativas;
- d) comunicações de voz operacionais;
- e) acesso remoto para teleengenharia;
- f) acessos remotos para monitorização de qualidade de serviço eléctrico.

No entanto, tendo em conta a sua forte capilaridade (devido à sua abrangência nacional) e fiabilidade (maioritariamente suportada nas infra-estruturas das redes de alta tensão), a rede de fibras ópticas da EDPD tem sido muito cobiçada por empresas de telecomunicações de referência que operam no mercado nacional, e que pretendem chegar aos seus clientes finais ou reforçar a resiliência da sua rede *core* com investimentos reduzidos. Desta forma têm vindo a ser efectuados diversos protocolos com operadores para cedência de circuitos de “fibra escura” tirando partido da capacidade inutilizada nos cabos existentes, o que conduz a uma maior rentabilização de investimentos por parte da EDPD.

As redes ópticas suportadas nestes circuitos de “fibra escura” são, por serem cedidos a terceiros, transparentes para a EDPD. Neste caso os operadores em causa são os responsáveis

pelos equipamentos ópticos que ligam à extremidade dos circuitos de “fibra escura” cedidos pela EDPD. É sabido no entanto que estes operadores têm vindo a implementar redes ópticas de segunda-geração, utilizando clientes de camada óptica como o SDH, o WDM e o DWDM sobre a rede de fibras ópticas da EDPD.

Já no que diz respeito aos serviços internos da EDPD referidos anteriormente, por estarem suportados em redes ópticas totalmente da responsabilidade da empresa, será feita de seguida uma breve descrição de cada uma delas.

2.2.1 PDH

Tendo em conta a crescente procura de largura de banda para serviços de comunicações sobre a rede privativa de telecomunicações da EDPD, esta empresa tem vindo a implementar desde os finais da década de 90 do século passado, uma rede de acesso às suas instalações eléctricas, baseada em PDH (Plesiocronous Digital Hierarchy), e de abrangência nacional, tirando partido do plano de instalação de cabo de fibras ópticas que desde essa altura tem também vindo a ser implementado, conforme mencionado em 2..

No Anexo A.5 é feita uma breve descrição dessa rede PDH, regra geral caracterizada por não suportar redundância automática em caso de falha de ligações entre equipamentos, e da qual se dá em particular mais algum detalhe técnico para o caso da rede implementada na Região Centro do país.

2.2.2 SDH

Por forma a agregar o tráfego gerado pela rede PDH e transportá-lo a grandes distâncias, introduzindo características de redundância automática em casa de falha de ligações entre equipamentos, a EDPD começou a implementar no final da década de 90 do século passado, uma rede de transporte de informação baseada em SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Esta rede é usada principalmente como *backbone* da rede de telecomunicações, isto é, em ligações que exigem uma capacidade de transporte de elevado volume de tráfego e será descrita em maior detalhe no Anexo A.6 - Rede SDH da EDPD.

2.2.3 IP/Ethernet

Com a tendência de convergência em IP de todos os serviços de comunicações, a EDPD tem vindo a delinear um plano de implementação de uma rede IP/Ethernet que tenderá a substituir

a rede PDH a médio prazo, e que se prevê que utilize parcialmente a rede SDH existente para interligação de equipamentos, numa primeira fase.

Neste momento encontra-se em avaliação técnica e política uma solução em que foram instaladas na rede da EDPD routers e switchs Ethernet, interligados através da rede óptica privativa da EDPD, mas operados e mantidos por uma entidade externa, e à qual se deu o nome de Projecto Flexnet.

No Anexo A.7 - Rede IP/Ethernet da EDPD é dado mais algum detalhe desta rede.

2.3 Gestão e Monitorização Remota da infra-estrutura de fibras ópticas

A EDP Distribuição possui uma rede de fibras ópticas que acompanha grande parte da sua rede eléctrica de alta tensão e alguma parte da de média tensão, numa extensão de mais de 7000 km de cabo. Sendo que cada cabo aloja, em média, um total de 24 fibras ópticas, aquele valor representa na prática mais de 168.000 km de fibras ópticas em operação, ou seja, cerca de 84000km de potenciais circuitos ópticos (assumindo que cada circuito necessita de uma fibra para transmissão e outra para recepção).

Estas fibras ópticas têm sido utilizadas não só para suportar serviços próprios de suporte ao *core business* da EDP (telecomando de rede de alta e média tensão, interligação de equipamentos de protecção de instalações eléctricas, supervisão e teleparametrização de equipamentos nas SEs, rede telefónica privativa, telecontrolo e supervisão de centrais de produção eólica e hídrica, etc.), como também para cedência de circuitos de “fibra escura” a clientes externos (como a ONI, a REN, a Vodafone, a Optimus e a Colt).

Historicamente esta rede tem sido operada e gerida regionalmente em cada um dos pólos com as competências na operação e manutenção das redes de telecomunicações da EDPD e que neste momento se designam por MNSE-PRT (na zona Norte) e MNSE-LSB (na zona Sul). Na zona Centro esta tarefa é neste momento efectuada por um Agrupamento Complementar de Empresas (ACE) com participação da EDPD.

A informação relativa à informação geográfica e características de cabos desta rede de fibras ópticas tem sido carregada, com mais ou menos rigor, na aplicação corporativa SIT Model.IT, a qual é considerada pouco *user-friendly* e pouco adequada às necessidades da EDPD nesta matéria. No entanto, outro tipo de informação como: a configuração (por exemplo esquemas de fusões em caixas de derivação e os códigos de cores utilizados), a performance e a ocupação desta rede de fibras ópticas, tem sido feita de forma proprietária por cada um dos

pólos regionais, em bases de dados do tipo “caseiras” que cada um deles criou para o efeito e, portanto, não uniformizadas.

Assim, para que se consiga ter o registo da informação mínima essencial à gestão, operação e manutenção desta rede, é comum que cada departamento tenha que actualizar uma série de bases de dados ou ficheiros dispersos, havendo assim grande risco de esquecimento de actualização de informação essencial.

Tendo em conta que a responsabilidade de gestão da rede de fibras ópticas está neste momento centralizada no departamento de Gestão de Serviços da Direcção de Automação e Telecontrolo é facilmente perceptível a dificuldade existente sempre que esta entidade tem necessidade de realizar estudos de reconfiguração de redes ópticas ou de dar resposta a pedidos externos de viabilidade de cedência de circuitos ópticos, situação ainda mais agravada quando estas tarefas envolvem análises da situação da rede em zonas fronteiras entre as várias regiões. De referir ainda a indesejável dependência na região Centro de uma entidade ACE para registo e análise de configurações de rede de fibras ópticas.

No que diz respeito ainda à monitorização da rede de fibras ópticas não existe neste momento qualquer sistema que faça monitorização directa da camada física dessa rede, ou seja que alerte em tempo real para a falha de fibras ópticas de um determinado cabo e forneça informação o mais exacta possível sobre a localização da mesma. A monitorização da rede de fibras ópticas é assim feita indirectamente através da tomada de conhecimento via telefone da falha de serviços de “clientes” afectados ou através de alarmística de sistemas de supervisão das redes de comunicações privadas nela suportadas (PDH e SDH), os quais supervisionam em tempo real a camada física óptica da ligação entre equipamentos adjacentes.

Tendo em conta que a alarmística em causa nestes sistemas de supervisão se limita quase exclusivamente a informação relativa a perda de sinal óptico (LOS – Loss of Signal), correspondente a um nível de sinal óptico recebido inferior à sensibilidade do receptor óptico do equipamento, e tendo em conta a elevada margem de perda de sinal normalmente considerada no projecto de uma ligação, é facilmente perceptível que esse alarme, quando recebido, já corresponderá a uma situação de falha catastrófica no terreno, não permitindo uma intervenção preditiva.

Ainda no capítulo da manutenção, a não coincidência das áreas de actuação dos departamentos que actualmente são responsáveis pela manutenção da rede de fibras ópticas com as dos departamentos que no passado o eram e que agora são responsáveis apenas pela operação da rede (estabelecimento de circuitos ou caminhos ópticos recorrendo à ligação de

cabos Patch-Cords) - e que foram e têm sido de uma forma mais ou menos exaustiva os responsáveis pela actualização das bases de dados regionais de ocupação das redes de fibras ópticas - tem trazido um enorme e perigoso entrave à eficiente resolução de avarias na rede de fibras ópticas e há autónoma e efectiva manutenção da rede de fibras ópticas por aqueles departamentos.

Desta forma podemos concluir que a gestão e monitorização desta rede de fibras ópticas não assumiram ainda, na EDPD, os contornos profissionais desejáveis e à altura da quantidade, retorno financeiro e criticidade dos circuitos que suporta, urgindo a implementação de uma ferramenta única centralizada que assegure a componente de monitorização remota, gestão e cadastro da infra-estrutura de fibras ópticas da empresa. Para o efeito, em 3.2, será efectuada a proposta e caracterização de uma solução que se prevê possa vir a resolver os constrangimentos existentes e trazer outras vantagens para a gestão, operação e manutenção da rede de fibras ópticas.

2.4 Política de Manutenção

2.4.1 Conceitos de manutenção

Qualquer equipamento em funcionamento pode avariar ou degradar-se com o tempo. É portanto necessário actuar sobre eles para proceder à reparação quando a avaria ocorre ou para evitar a sua ocorrência e os prejuízos que daí decorrem [2].

Desta forma, a manutenção constitui o acto de diagnosticar e reparar, ou prevenir, falhas de um sistema.

No Anexo A.11 é efectuada uma introdução teórica aos conceitos de manutenção, cuja leitura poderá ser fundamental à melhor compreensão das formas como poderemos resolver, mitigar e prevenir avarias, e que são a base da definição das estratégias de manutenção abordadas neste trabalho.

2.4.2 Caracterização de falhas de redes de fibras ópticas e seus riscos para a EDPD

A caracterização das avarias nos sistemas de fibras ópticas em termos de frequência, extensão, impacto (duração), criticidade (urgência na reparação da avaria), assim como da sua causa e modo como se manifestou (modos falha), é essencial para suportar a decisão sobre a estratégia de manutenção mais adequada a adoptar para esta rede.

Desta forma, no âmbito deste trabalho, foi efectuado um levantamento das avarias em sistemas de fibras ópticas (cabos, caixas de fusão, conectores, pig-tails), ocorridas nos últimos 4 anos, e que implicaram uma intervenção correctiva mais ou menos urgente.

Tendo em conta que ainda não se encontra implementado na empresa uma ferramenta informática de gestão de activos e da respectiva manutenção, a obtenção destes dados fiou-se fundamentalmente em informação obtida dos departamentos responsáveis pela manutenção daquela rede e baseada em registos de bases de dados regionais, o que poderá implicar que a lista obtida não seja exaustiva e que peque assim por defeito no número de avarias efectivamente acontecidas.

Na Tabela x do Anexo A.8 encontra-se a compilação com a caracterização das avarias ocorridas/resolvidas na rede de cabos de fibras ópticas da EDPD no período 2010-2014 (Junho).

De notar que esta listagem apenas inclui situações de avarias de cabos de fibras ópticas em que existiu intervenção correctiva. Não estão incluídas nesta listagem situações conhecidas de avaria em cabos de fibras ópticas, detectadas em acções de manutenção preventiva, e que ainda não foram alvo de intervenção, assim como situações de avaria em pigtails e conectores em repartidores ópticos (ODFs), detectadas em acções de manutenção preventiva, e as quais foram, na sua generalidade, imediatamente corrigidas. Estima-se que estas situações não consideradas rondem a centena de intervenções.

Da análise da listagem referida e do conhecimento dos problemas típicos nos sistemas de fibras ópticas encontrados na realização de tarefas de manutenção preventiva, associados ao conhecimento adquirido ao longo de mais de 13 anos de anos de experiência nas redes de fibras ópticas da EDPD, foram identificados os modos falha típicos em sistemas de fibras ópticas, assim como as principais causas das mesmas, e que se sintetizam na Tabela i.

Com base em [3] e na experiência adquirida ao longo dos anos, foram também propostas, para cada modo de falha, as formas de possível identificação preventiva de avarias, assim como a respectiva forma de resolução típica, as quais são também sintetizadas na Tabela i.

Tabela i - Modos de falha típicos e principais causas de avaria de sistemas de fibras ópticas da EDPD.

Modos de falha - Fibra Óptica	Sub-classe de Activo afectado	Principal causa	Forma de identificação	Resolução
Mau conector	Repartidor Óptico	Sujidade ou dano	Microscópio/OTDR	Limpeza/Substituição
Mau pigtail	Repartidor Óptico	Dobragem excessiva pigtail	OTDR/Inspeção visual	Corrigir dobragem
Atenuação localizada no cabo	Cabo FO	Dobragem excessiva cabo	OTDR/Inspeção visual	Corrigir dobragem
	Cabo FO	Tiro de caçadeira	OTDR/Inspeção visual	Remoção chumbo/Substituição
Aumento distribuído na atenuação do cabo	Cabo FO	Cabo com defeito ou excedidas as especificações de instalação	OTDR	Reduzir tensão/substituir
Junta com perda elevada	Caixa de fusão	Alteração das características da fusão	OTDR/Inspeção visual	Abrir caixa e rectificar
	Caixa de fusão	Perda devido a esticamento da fibra na caixa de fusão		
Corte de fibra	Cabo FO	Corte ou dano no cabo FO	OTDR/Inspeção Visual	Reparar/substituir
	Repartidor Óptico	Pigtail/fibra danificados por roedores		

A tarefa realizada de caracterização das avarias dos sistemas de fibras ópticas da EDPD é essencial para suporte ao detalhe da estratégia de manutenção dos sistemas de fibras ópticas da EDPD - e um dos objectos principais desta dissertação - nomeadamente nos seguintes aspectos:

- ✓ elaboração/revisão de fichas de manutenção preventiva sistemática - Anexo A.10 - Ficha de manutenção preventiva sistemática revista;
- ✓ elaboração de plano detalhado de manutenção preventiva sistemática;
- ✓ proposta de Sistema de Monitorização Remota de Cabos de Fibras Ópticas - 3.2;
- ✓ proposta de actuação em caso de avaria - 3.3.3;
- ✓ definição de política de stock de reservas - 3.3.4;

- ✓ ministração de acções de formação focadas na manutenção da rede - 3.3.5.

2.4.3 Política de manutenção actual

Os sistemas de cabos de fibras ópticas são geralmente livres de manutenção. Uma vez correctamente instalados, eles irão operar correctamente por muitos anos, se não forem perturbados. A chave é garantir que o sistema de cabos não é perturbado [4]. No entanto esta é uma tarefa praticamente impossível uma vez que estes sistemas estão sujeitos a serem afectados acidentalmente por factores externos (humanos e da natureza), e portanto fora do nosso controlo, nomeadamente:

- ✓ corte ou danos devido a obras de construção em infra-estruturas subterrâneas;
- ✓ corte ou danos devido a queda de infra-estruturas onde estão suportados;
- ✓ corte de cabo ou pigtails provocado por roedores;
- ✓ corte ou danos devido a efeitos de fenómenos metereológicos como descargas atmosféricas, ventos fortes, tempestades de gelo;
- ✓ corte ou danos ao serem atingidos por objectos (chumbos de tiros de caçadeira, árvores);
- ✓ corte ou danos devido a incêndios.

Desta forma, e ainda que certos fabricantes de cabos de fibras ópticas possam reivindicar que os seus sistemas de cabos são livres de manutenção, será aconselhável o planeamento de rotinas de inspecção periódica aos mesmos [4], que nos permitam avaliar e monitorizar a sua condição técnica. É esperado que estas inspecções contribuam para a redução da probabilidade de falhas dos sistemas de fibras ópticas, com a consciência de que não eliminarão a possibilidade de ocorrência de falhas catastróficas nos mesmos.

Seguindo esta orientação, e com o intuito de prevenir ao máximo o acontecimento dos modos de falha referidos em 2.4.2, o autor desta dissertação elaborou no passado um plano de inspecção periódico a todas as instalações contendo cabos de fibras ópticas.

Apesar de a princípio, com base nas recomendações dos fabricantes e no histórico de falhas, ter sido idealizada a realização de inspecções com diferentes periodicidades [5], consoante o tipo de cabo – 1 ano para ADSS, 3 anos para OPGW e 3 anos para cabos dieléctricos de conduta - acabou por considerar-se, no primeiro plano de manutenção preventiva sistemática (MPS) à rede de fibras ópticas da EDP, lançado em 2010, uma periodicidade única de 3 anos, independentemente do tipo de cabo. Esta decisão prendeu-se fundamentalmente com as vantagens processuais e de implementação no terreno de um plano com base nas instalações

em lugar de um plano com base em ligações (cabos). Desta forma, ao visitar-se uma instalação eram verificadas todas as ligações (cabos) com terminação na mesma.

No início deste ano, e na fase inicial deste trabalho, houve necessidade de rever o plano anteriormente definido por forma a abranger instalações que haviam ficado de fora no plano 2010-2013 e a actualizar o número de repartidores ópticos por instalação para efeitos de encomenda de execução de tarefa a prestadores de serviço externos. Aproveitou-se assim esta oportunidade para melhorar a ficha de inspecção de suporte a estas acções de manutenção assim como para redefinir a ordem de intervenção com base na criticidade das instalações (número de cabos que albergam) e na data da última realização de MPS – de notar que existiam instalações como Edifícios Administrativos, subestações da REN (Rede Eléctrica Nacional) e PTs (Postos de Transformação) onde nunca havia sido feita nenhuma acção de MPS. No Anexo A.10 - Ficha de manutenção preventiva sistemática revista junta-se a ficha de manutenção revista assim como o plano elaborado. Para este plano 2014-2016, detalhado em anexo, preconiza-se a manutenção da periodicidade de 3 anos praticada no plano anterior.

Tendo em conta que se prevê que exista margem de optimização deste plano, nomeadamente através de uma abordagem assente na adaptação da política de manutenção à criticidade de cada cabo/instalação com fibras ópticas e à possibilidade dessa rede vir a ser monitorizada em tempo real, incluindo assim uma componente de manutenção preditiva na mesma, irá ser efectuada em 3.3 uma proposta de revisão da política de manutenção da rede de fibras ópticas da EDPD.

3 Proposta de evolução da rede óptica da EDP Distribuição

3.1 Infra-estrutura de fibras ópticas

Nesta secção são apresentadas propostas de evolução técnica de cabos, fibras ópticas e conectores para instalação na rede de fibras ópticas da EDPD. Tendo em conta a necessidade de verificação, por parte dos técnicos que efectuem a recepção das ligações no terreno, da conformidade dos produtos instalados com as novas especificações, foi também construído, no âmbito deste trabalho, um documento de apoio ao comissionamento de novas ligações, que tenta mitigar a eventual falta de conhecimento das alterações técnicas a seguir referidas e as recentes mudanças organizacionais ocorridas na empresa, e o qual é apresentado no Anexo A.13.

3.1.1 Cabos

Os tipos de cabos de fibras ópticas que têm vindo a ser utilizados na rede da EDP Distribuição, e já referidos em 2.1.3, continuam a adequar-se, de uma forma geral, às necessidades da empresa. No entanto, com a experiência adquirida ao longo dos anos, foram identificadas algumas margens de melhoria a incluir numa revisão de requisitos técnicos deste tipo de meio de comunicação, e as quais se prendem fundamentalmente com a tentativa de eliminação de alguns constrangimentos de operação e manutenção da rede de fibras ópticas, e portanto mais relacionados com a pós-instalação de cabos. As mudanças chave propostas neste âmbito são:

- ✓ uniformização de características dimensionais, em especial limitando a gama de diâmetros admissíveis por sub-tipo de cabo OPGW e ADSS, por forma a reduzir o leque de diferentes acessórios mecânicos (de amarração e suspensão) utilizados para fixação dos cabos nos apoios de linhas áreas de alta e média tensão, facilitando assim a gestão de stocks de peças de reserva para intervenções na rede (ver proposta no Anexo A.3);
- ✓ uniformização de códigos de cores de fibras ópticas por tipo de cabo, baseados na norma IEC 60304, por forma a limitar o leque de códigos de cores disponíveis, cujo número tem até aqui sido praticamente igual ao número de fornecedores/tipo de cabo, trazendo enormes constrangimentos na instalação e na posterior operação e manutenção da rede de fibras ópticas (ver propostas no Anexo A.4).

Sendo que, no entanto, foram identificadas já algumas situações em que a instalação, em linhas aéreas, de cabos dos tipos homologados na EDPD não se revela técnica ou economicamente viável, nomeadamente:

- ✓ quando os apoios que não suportam a carga adicional de cabo não sendo economicamente viável a sua substituição;
- ✓ quando não existe distância de segurança/regulamentar às linhas e/ou ao solo (caso cabo ADSS);
- ✓ quando existe elevado risco de incêndio por debaixo das linhas (e só se afigura possível a instalação de cabo do tipo ADSS);
- ✓ quando existem zonas de difícil acesso para proceder à montagem de cabo (montanhas, albufeiras de barragens, etc.);

- ✓ quando a actual ligação de fibras ópticas se encontra completamente saturada e não existe possibilidade, por questões operacionais, de desmontar o actual cabo e/ou instalar um cabo tradicional adicional.

foi efectuada uma análise de soluções alternativas disponíveis no mercado tendo-se identificado uma tecnologia que poderá satisfazer os requisitos pontuais da EDPD nas situações atrás identificadas.

Esta tecnologia, denominada de WRAP (Wrapped Around the Phase Conductor or the Ground Wire), consiste num cabo de fibras ópticas totalmente dieléctrico, de reduzidas dimensões (diâmetro), para instalação em linhas aéreas de energia eléctrica, enrolado aos condutores de fase ou cabo de guarda/OPGW (ver Figura iii).



Figura iii - Operação de instalação de cabo de fibras ópticas tipo WRAP em torno de cabo OPGW existente [6].

Importa referir que, no entanto, a utilização desta tecnologia deverá ser limitada às situações atrás referidas, tendo em conta a maior sensibilidade destes cabos a factores externos (como por exemplo tiros de caçadeira), e que a sua instalação poderá trazer constrangimentos pontuais em eventuais intervenções futuras de manutenção sobre os cabos que a suportam.

3.1.2 Fibras Ópticas

Apesar da relativa estabilidade de evolução ao longo das últimas duas décadas dos clientes da camada óptica propriedade da EDPD referidos em 2.2, alguns constrangimentos de transmissão têm sido identificados neste âmbito, com a utilização do tipo de fibra anteriormente homologado (fibra tipo G.652.B), e ainda mais no âmbito de circuitos ópticos cedidos a operadores externos, que muitas vezes os utilizam como suporte à sua rede o WDM. Alguns constrangimentos encontrados incluíam:

- ✓ limitação de distância de transmissão devido a elevada dispersão cromática no comprimento de onda de 1550nm (SDH e DWDM);
- ✓ limitação de distância de transmissão devido a atenuação no comprimento de onda de 1550nm (SDH).

Além disso, este tipo de fibra legado limita também a futura evolução para a utilização de tecnologias como o CWDM (Coarse wavelength-division multiplexing) - que utilizam todo o espectro das fibras monomodo entre os 1260 e os 1670nm para transmissão de sinais - por apresentarem uma elevada atenuação na zona em torno do comprimento de onda de 1383nm (a chamada zona de pico de água) – ver Figura iv.

Tendo em vista a mitigação deste problema, foi efectuada uma análise comparativa dos tipos de fibra óptica normalizados pela Internacional Electrotechnical Commission (IEC) e que são compatíveis com as fibras actualmente em uso na EDPD, e da qual resultou a compilação apresentada na Tabela vi do Anexo A.2.

Da sua análise concluímos que o tipo de fibra que mais se adequa às necessidades actuais e futuras da EDPD é a fibra da família B1.3 da norma IEC 60793-2-50 (equivalente à fibra ITU G.652.D) uma vez que:

- ✓ é a única que apresenta um diâmetro de campo modal (MFD) idêntico ao das fibras G.652.B, minimizando assim os conhecidos problemas de testes de perda real com OTDR em fusões que aconteceriam caso as fibras a interligar tenham diferentes MFD;
- ✓ é a única que apresenta baixas perdas na zona dos 1383nm (<0,4 dB/km), donde advém a sua nomenclatura de “fibras de baixo pico de água”, permitindo a futura utilização de tecnologia CWDM (ver Figura iv);

- ✓ apresenta melhoras nas perdas no comprimento de onda de 1550nm, as quais são ainda mais notadas na prática do que nos requisitos da norma;
- ✓ compatível com os equipamentos a funcionar no comprimento de onda de 1310nm – usado pela maioria dos equipamentos PDH da EDPD;
- ✓ na prática possuem uma construção que reduz o valor de dispersão modal de polarização (PMD);
- ✓ custos da ordem de grandeza das fibras legadas.

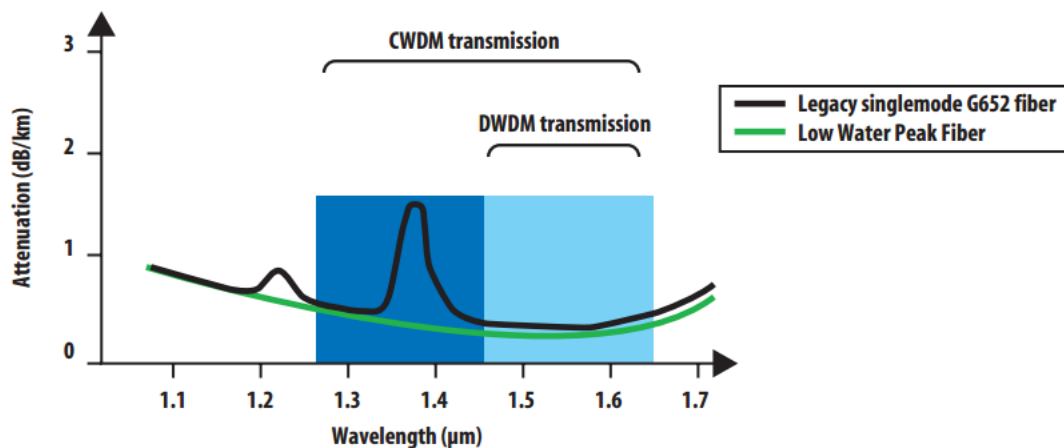


Figura iv - Atenuação em função do comprimento de onda para as fibras monomodo tradicionais (G.652.B) e fibras do tipo baixo pico de água (IEC B1.3) [7].

Pelo exposto, na revisão de especificações de cabos de fibras ópticas proposta à EDPD referida em 3.1.1, foi proposto que estes passem a vir dotados de fibras ópticas monomodo do tipo Baixo Pico de Água, de acordo com a especificação da família B1.3 da norma IEC 60793-2-50, cujas características normativas se sintetizam na tabela Tabela vii do Anexo A.2.

3.1.3 Conectores

Em recente consulta ao mercado para aquisição de repartidores ópticos (ODFs) dotados do tipo de conectores de fibra óptica até aí homologados na EDPD (tipo FC/PC (ver 2.1.4)) foi constatada a existência de muito pouca e, em alguns modelos, de nenhuma oferta no mercado que cumpra os requisitos da EDPD.

Essa limitação prendia-se fundamentalmente com os requisitos de espaço exigidos pela EDP nos painéis frontais destes equipamentos para os tipos de adaptadores FC/PC, requisitos estes que foram definidos no âmbito de Fóruns Técnicos de Telecomunicações internos da EDPD (iniciativa coordenada pelo autor desta dissertação), com base na longa experiência dos técnicos no terreno.





De facto verifica-se que com a crescente procura de capacidade nas redes de telecomunicações a nível mundial, a tendência tem sido para a compactação dos equipamentos, com vista à racionalização de espaço em bastidores de fibras ópticas, o que traz problemas de operacionalidade quando a conectorização é baseada em rosca, como é o caso do tipo de conector até aqui usado pela EDPD – o FC/PC.

Paralelamente, em última reunião do Fórum Técnico de Telecomunicações do Departamento de Operação e Manutenção da EDPD, foi identificada a aspiração de se alterar o tipo de adaptadores/conectores FC/PC padrão da rede de fibras ópticas da EDPD para uma solução mais prática e moderna, com encaixe tipo *push-pull*.

Pelo anteriormente exposto considerou-se que estavam reunidas as condições para se tomar uma decisão sobre o assunto pelo que, para apoiar a decisão, se efectuou um estudo de mercado com o intuito de verificar a existência de alternativas técnico-economicamente viáveis aos referidos conectores/adaptadores.

Para este efeito foram considerados os tipos de conectores mais disponíveis no mercado, isto é, os conectores FC (*Ferrule Conector* ou *Fiber Channel*), os E2000 (LSH) (*Laser Shock Hardening*), os SC (*Standard Conector* ou *Subscriber Conector*) e os LC (*Lucent Conector*), sendo que de seguida, baseado na experiência adquirida e nas pesquisas efectuadas, foi construída a Tabela ii que os compara em termos de praticabilidade, fiabilidade/robustez, e preço, uma vez que a sua performance (perdas de inserção e perdas de retorno) é idêntica e mais dependente do tipo de polimento da ferrule a escolher, conforme veremos mais abaixo.

Tabela ii - Comparação técnico-económica entre vários tipos de conectores.

	FC	E2000	SC	LC
				
Tipo de Encaixe	Rosca	Push-pull	Push-pull	Push-pull
Praticabilidade	●	●	●	●
Fiabilidade/ Robustez	●	●	●	●
Preço	●	○	●	●

●	Excelente
●	Bom
●	Razoável
○	Mau
○	Péssimo

Da sua análise conclui-se que a efectuar-se uma mudança de tipo de conector/adaptador na rede FO da EDP, essa deveria ser para os do tipo SC, visto ser este o tipo de conector mais equilibrado em termos praticabilidade, fiabilidade e robustez e preço.

Complementarmente propõe-se que o polimento da ferrule desses conectores passe a ser APC (Angled Physical Contact), devido aos elevados ganhos no aumento de perdas de retorno (ORL) em conectorizações comparativamente ao PC (perdas de retorno tipicamente >60dB em APC e >40dB em PC), e consequente diminuição de desgaste de lasers.

As perdas de inserção são praticamente independentes do tipo de conector e do tipo de polimento de ferrule e são tipicamente inferiores a 0,3dB pelo que não são um factor de performance a ter em conta.

Em suma propõe-se a alteração de conector/adaptador padrão da rede de fibras ópticas da EDPD de FC/PC para SC/APC (ver Figura v), e cujas características técnicas se resumem na Tabela viii do Anexo A.2 - Proposta de evolução de fibras ópticas e conectores da rede da EDPD.



Figura v - Conector tipo SC/APC.

3.2 Gestão e Monitorização Remota

Tendo em conta os constrangimentos identificados em 2.3, associados fundamentalmente à inexistência na EDPD de base de dados única de cadastro completo da rede de fibras ópticas assim como de sistema que possa, de forma automática e proactiva, avisar da degradação de performance de fibras ópticas permitindo uma actuação correctiva preventiva antes de se dar uma falha catastrófica, irá ser proposta a implementação de um sistema centralizado que se julga vir a dar resposta aos mesmos, e o qual será caracterizado em termos técnicos e económicos no presente capítulo. O esboço do esquema funcional de um sistema deste tipo é apresentado na Figura vi.

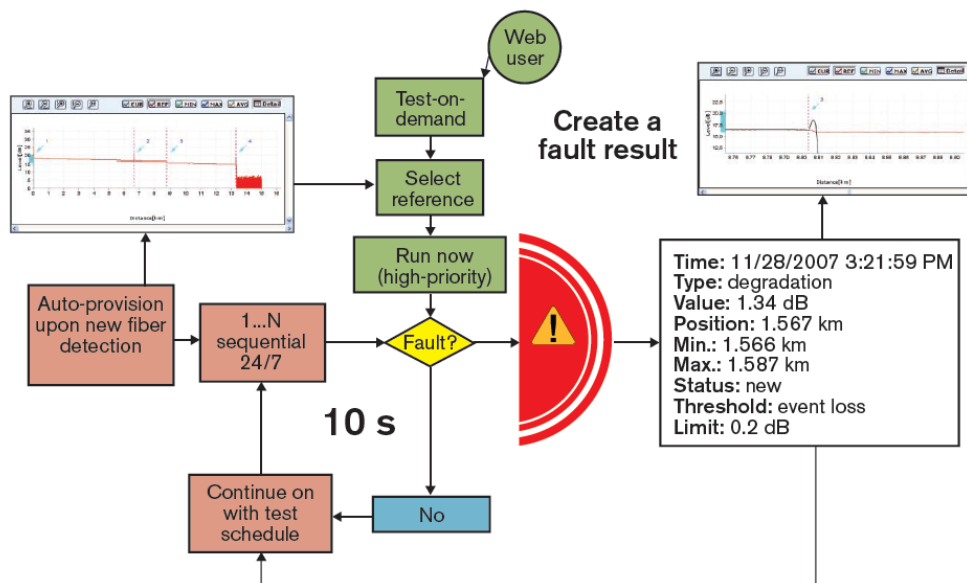


Figura vi - Esboço do esquema funcional de um exemplo de um sistema de monitorização remota de fibras ópticas [8].

Considerando ainda que na actual organização a gestão da rede de fibras ópticas é da responsabilidade de um único departamento a nível nacional – O Departamento de Gestão de Serviços da Direcção de Automação e Telecontrolo - localizado em Lisboa, e completamente independente organizacionalmente dos departamentos regionais de Operação e Manutenção desta rede, é fundamental a empresa dispor de um registo fidedigno da capacidade e ocupação da rede de fibras ópticas, tendo fundamentalmente em vista:

- ✓ uma resposta autónoma, fidedigna e em tempo útil aos pedidos de viabilidade de cedência de circuitos de “fibra escura” a entidades externas;
- ✓ um fidedigno registo e consequente taxaço efectiva das cedências desses circuitos;
- ✓ uma eficiente mitigação de avarias através da identificação, baldeação e aviso a clientes de serviços afectados, por forma a reduzir o impacto nos clientes afectados e eventuais penalizações por não cumprimento de SLAs acordados;
- ✓ um fidedigno registo de ocupação da rede e eficaz alerta prévio de saturação da rede.

3.2.1 Requisitos básicos

A solução preconizada para ultrapassar os constrangimentos referidos no ponto anterior passa pela aquisição de um sistema informático que de forma integrada permita a gestão, supervisão e monitorização remota da rede de fibras da EDPD ópticas a nível nacional, usualmente

designados em Inglês por Remote Fiber Test System (RFTS) ou Remote Fiber Monitoring System (RFMS).

Tendo em conta que existe no mercado uma diversidade de aplicações para este fim, apresentando cada uma delas diferentes características e funcionalidades, importa especificar os requisitos considerados essenciais à satisfação das necessidades da EDPD, e os quais deverão estar disponíveis no referido sistema:

- ✓ base de dados a funcionar sobre informação geográfica aberta (possibilidade de importação de mapas de rede eléctrica do GIS SIT - SmallWorld);
- ✓ registo de informação técnica e geográfica relativa aos cabos, fibras, repartidores ópticos (ODFs) e caixas de fusão;
- ✓ registo de informação relativa às características e estado da ligação;
- ✓ registo de ocupação de fibras por repartidor óptico (ODF) e respectivo serviço/cliente, com possibilidade de gerar alertas se ocupação ultrapassar limiar pré-definido (costumizável);
- ✓ configuração de fusões em caixas de fusão;
- ✓ acesso por múltiplos utilizadores (aos quais poderão ser atribuídas diferentes permissões) todos com possibilidade de monitorização remota da rede em tempo real;
- ✓ possibilidade adicional de acesso via Web a cadastro e alarmística;
- ✓ armazenamento de documentos por site (fotos, relatórios de comissionamento, ficheiros OTDR, contratos, etc.);
- ✓ geração de planos de manutenção automática e manualmente por local de instalação, tipo de cabo ou data de instalação – com ligação a ferramenta corporativa SAP-PM;
- ✓ registo de intervenções efectuadas em cabos e outros elementos do sistema de fibras ópticas;
- ✓ sugestão automática de caminhos óptimos de fibra entre duas instalações;
- ✓ rápida e automática identificação dos clientes afectados por um corte de determinado cabo, assim como sugestões de redundância a implementar;
- ✓ geração de vários relatórios estatísticos;
- ✓ adequado à dimensão da rede de cabos de fibras ópticas da EDPD.

3.2.2 Requisitos de componente de monitorização remota

Conforme referido em 2., a rede de fibras ópticas da EDPD é considerada essencialmente uma rede de primeira geração, isto é, a fibra óptica é utilizada principalmente como uma substituição do cobre para interligar clientes (PDH/SDH/IP) em mono canal a grandes distâncias. Aplicações da rede de fibras ópticas da EDPD como rede de segunda geração existem, mas limitadas a alguns serviços de entidades externas (operadores) que utilizam essa rede e, portanto, transparentes para a EDPD e não objecto deste estudo.

Conforme foi também já referido, a alarmística de ausência de sinal óptico recebido dada pelos sistemas de supervisão destas redes é a única forma de, neste momento, a EDPD ter conhecimento de um potencial corte de cabo de fibras ópticas, e ainda para mais normalmente num fase tardia onde pouco ou nada há a fazer para evitar a falha catastrófica.

Pelo exposto, um sistema que monitorize a rede de fibras ópticas em tempo real, gerando alarmística sempre que exista corte ou degradação das mesmas, e informando sobre a sua exacta localização, será uma indiscutível mais-valia para a manutenção da rede de fibras ópticas, permitindo em muitas situações a actuação antes de uma falha catastrófica ocorrer e ainda, nestes casos, uma rápida informação sobre a sua localização, possibilitando direccionar as equipas de manutenção directamente para o local da avaria.

Conforme já referido em 3.2.1, poderá efectuar-se uma monitorização remota permanente da rede de fibras ópticas, o que poderá ser conseguido recorrendo a unidades de teste óptico espalhadas pelo terreno, baseadas em equipamentos OTDR fixos que efectuarão medidas em tempo real do estado da rede e comunicarão alterações ao sistema de supervisão centralizado.

Desta forma, os requisitos opcionais a considerar - mais voltados para a monitorização remota em tempo real da rede de fibras ópticas - e cuja implementação, por questões de custos envolvidos, deverá ser ponderada recorrendo a uma análise custo-benefício (ver em 3.2.3.) deverão ser os seguintes:

- ✓ monitorização remota permanente de estado da rede de cabos de fibras ópticas recorrendo a unidades de monitorização óptica instalados no terreno e baseadas em OTDR e as quais deverão comunicar com o sistema de supervisão centralizado via interface Ethernet. Apesar de, na fase inicial, se prever que este sistema apenas tenha a necessidade de monitorização da camada física, pretende-se que esteja preparado para, mediante eventual

actualização, esteja também apto para, no futuro, poder monitorizar a camada óptica de sistemas WDM;

- ✓ disponibilidade de até 30 portos ópticos por unidade de monitorização óptica (modular e escalonável);
- ✓ geração de alarmística automática, via SNMP, em caso de corte ou degradação de performance de troço de fibras ópticas (em comparação com trace OTDR de referência), com indicação visual da respectiva localização em mapa – para este efeito deverá também ser possível marcar naquele trace pontos referência ao longo dos cabos que facilitem a efectiva localização das avarias (por exemplo: subestações, edifícios, caixas de fusão, etc.);
- ✓ possibilidade de verificação a pedido (forçado) de estado de determinada ligação;
- ✓ interface para integração com sistema de gestão de telecomunicações (TMS) existentes, como por exemplo HP OpenviewTM.

3.2.3 Caracterização técnica e económica da solução

Uma vez especificados nas duas secções anteriores os requisitos funcionais do Sistema de Gestão e Monitorização Remota preconizado, haverá agora necessidade de o caracterizar em termos de:

- ✓ requisitos técnicos das unidades de teste óptico e do sistema de supervisão centralizado;
- ✓ número de equipamentos e sua distribuição na rede (*layout* de rede);
- ✓ estimativa de custos de implementação do sistema;
- ✓ estimativa de poupança de custos directos e indirectos (base a análise de *payback*).

3.2.3.1 Unidades de Teste Óptico

As unidades de teste óptico (UTO) a distribuir pelo terreno poderão ser consideradas RTUs (Remote Terminal Units) baseadas fundamentalmente em OTDRs, os quais possuem, obviamente, limitação de alcance de monitorização relacionada com a característica de gama dinâmica que apresentam.

A gama dinâmica de um OTDR é definida como a diferença entre o ponto extrapolado do trace retro difundido no início da fibra e o nível superior do patamar de ruído no/logo após o fim da fibra. É definido em decibel (dB) [9]. A maioria das especificações de gama dinâmica

de OTDRs é dada utilizando a maior largura de pulso ($20 \mu\text{s}$) durante um período de 3 minutos de medição, e uma relação sinal ruído (SNR) igual a 1 (nível médio do valor quadrático médio (RMS) do ruído) [10]. Na Figura vii mostra-se o conceito de gama dinâmica e as diferentes formas de a calcular.

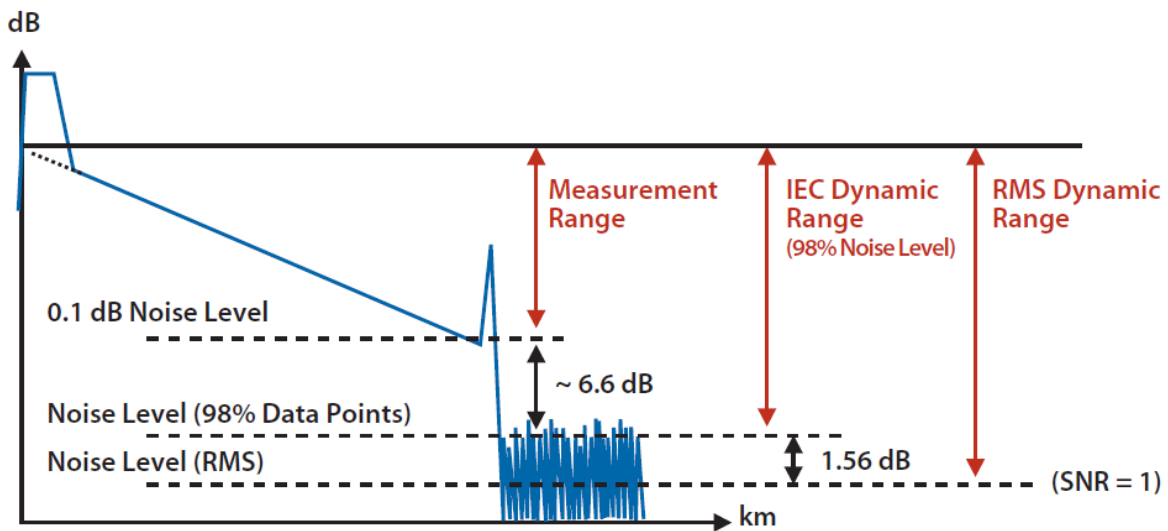


Figura vii - Diferentes definições de gama dinâmica de um OTDR [9].

Desta forma, tendo em conta a dimensão e capilaridade da rede de fibras ópticas a monitorizar, importa realizar, no âmbito deste trabalho, uma definição das características chave destes OTDRs assim como da sua localização estratégica por forma a otimizar a sua distribuição pela rede (análise esta a efectuar mais adiante neste capítulo) e assim minimizar os custos de investimento no sistema a propor para aquisição.

Duma análise do mercado verifica-se que os OTDRs disponíveis para este tipo de aplicação possuem uma gama dinâmica tipicamente entre 40 e 50 dB, e o qual varia também com o comprimento de onda de operação do equipamento.

Por razões ligadas à maior sensibilidade de sinais a perdas por dobragens macro (por exemplo associadas a curvas apertadas ou vincos na fibra óptica provocados por tiros de caçadeira ou dobragens de fibra em caixas de fusão) com o comprimento de onda de 1625nm , conforme pode ser observado no *snapshot* de traces de ensaio de reflectometria óptica de OTDR obtidos nos comprimentos de onda 1310 (a verde), 1550 (a violeta) e 1625nm (a vermelho), e mostrado na Figura viii, haverá elevado interesse na utilização deste comprimento de onda de

1625nm no sistema de monitorização, por forma a aumentar a probabilidade de detecção precoce de problemas em cabos de fibras ópticas.

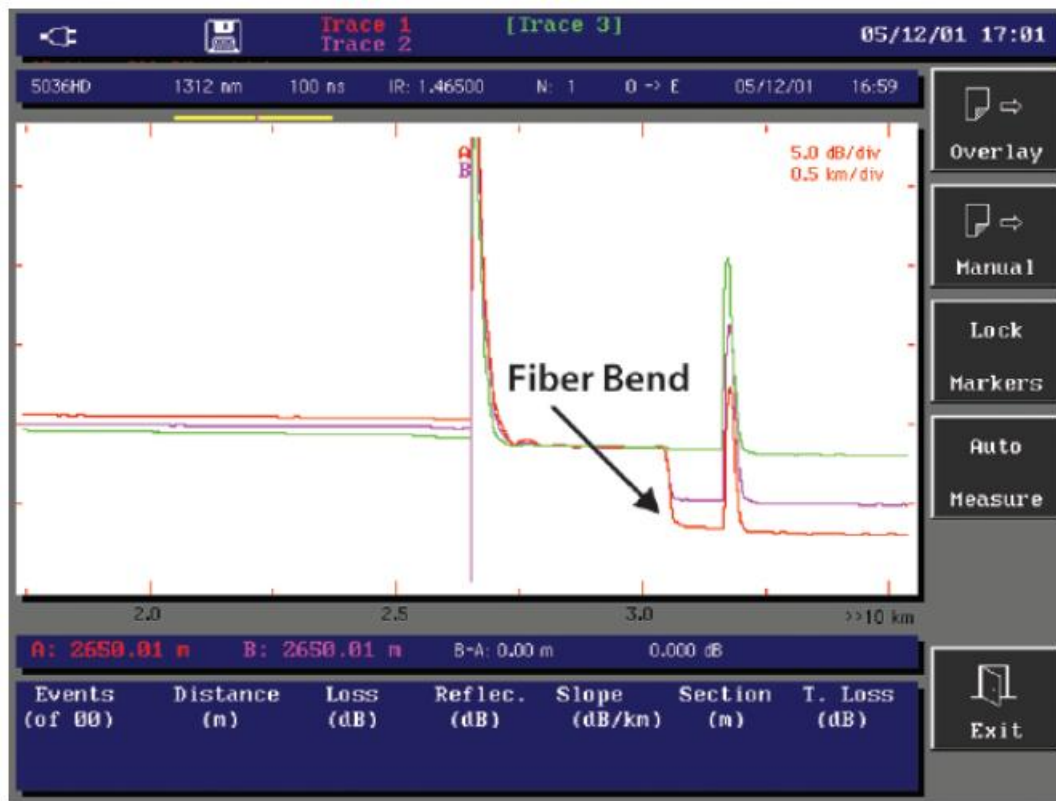


Figura viii - Trace de OTDR indiciando uma dobragem na fibra a cerca de 3km da origem [9].

De acordo com [10], a gama dinâmica utilizável é tipicamente 5 dB abaixo da especificada. Deste modo, assumindo uma atenuação na fibra de 0,23 dB/km a 1625nm (valores para a fibra tipo G.652.B), fusões a cada 3 km (perda de 0,1 dB por fusão), e conectores a cada 15km (perda de 0,5dB em cada), correspondentes ao comprimento médio das ligações EDPD, um OTDR com uma gama especificada de 40 dB estará apto a certificar de forma precisa distâncias de fibra óptica até cerca de 135km, obtidos a partir da Equação i:

$$DR = L \times 0,2 + \frac{L}{3} \times 0,1 + \frac{L}{15} \times 0,5 \text{ (dB)} \quad \text{Equação i}$$

onde:

L - comprimento de fibra óptica, em km;

DR - Gama dinâmica do OTDR, em dB

Desta forma, para o sistema de monitorização da rede da EDPD, considera-se razoável a utilização de equipamentos de monitorização óptica baseados em OTDR:

- ✓ com gama dinâmica superior a 40dB a 1625nm;
- ✓ com capacidade de operação no comprimento de onda de 1625nm.

Este alcance permitirá a um só equipamento monitorizar vários saltos (ligações) de fibra óptica permitindo que, através de uma adequada distribuição destes equipamentos pela rede, possamos monitorizá-la na sua totalidade sem haver necessidade de ter um equipamento instalado em cada local. Para este facto contaremos também com a possibilidade de cada um destes equipamentos poder ter diversos portos ópticos disponíveis e assim monitorizar várias direcções de fibra.

No entanto, tendo em conta a conhecida limitação de espaço nos bastidores onde se prevê virem a ser instaladas estas unidades, considera-se que as mesmas não deverão ter uma altura superior a 2 U ($2 \times 4,445\text{cm} = 8,89\text{cm}$), onde U é a denominada *rack unit*.

A quantidade e localização estratégica destas unidades de teste óptico na rede é um exercício fundamental para a racionalização dos custos de investimento tendo em vista o atingimento da viabilidade económica da solução, pelo que será feito mais adiante.

3.2.3.2 Protocolo e interfaces de comunicação

As UTOs referidas anteriormente têm como função principal detectar e gerar alarmística relativa a alterações na infra-estrutura óptica em monitorização. Para que essa alarmística surta os efeitos desejáveis, é necessário que a respectiva informação chegue de alguma forma aos técnicos responsáveis pela supervisão e manutenção da rede: por exemplo via aplicativo em estação de monitorização remota (PC), via e-mail ou via telemóvel (SMS).

Para tal é necessário que o sistema de monitorização remota esteja dotado de interfaces físicos e protocolos de comunicação compatíveis com as redes de comunicações e sistemas existentes:

- ✓ rede LAN/WAN (interface 10/100 Base-T Ethernet);
- ✓ rede GSM (via internet ou via modem GSM);
- ✓ servidor de e-mail;
- ✓ servidor do sistema GIS (Smallworld Model.it);

- ✓ sistema de gestão de rede de telecomunicações (NMS (Network Management System) ou OSS (Operations Support System));
- ✓ interface web para utilizadores (HTTP);
- ✓ relays de contacto para indicação de alarme via sistemas paralelos (RTUs das instalações eléctricas que comunicam com SCADA).

Para além de eventuais protocolos proprietários restritos à comunicação entre os elementos do próprio sistema de monitorização remota, e a outros protocolos essenciais à integração com sistemas corporativos (GIS, e-mail, etc.), é desejável que o sistema seja compatível com o protocolo standard SNMP (Simple Network Management Protocol), que é um protocolo aplicacional que corre sobre uma pilha IP standard [1], por forma a garantir a sua compatibilidade e facilidade de integração com sistemas NMS disponíveis na empresa e que venham a ser adquiridos no futuro.

Um esboço simplificado dos potenciais interfaces a disponibilizar – para o caso de um sistema de monitorização remota comercialmente disponível - é apresentado na Figura ix.

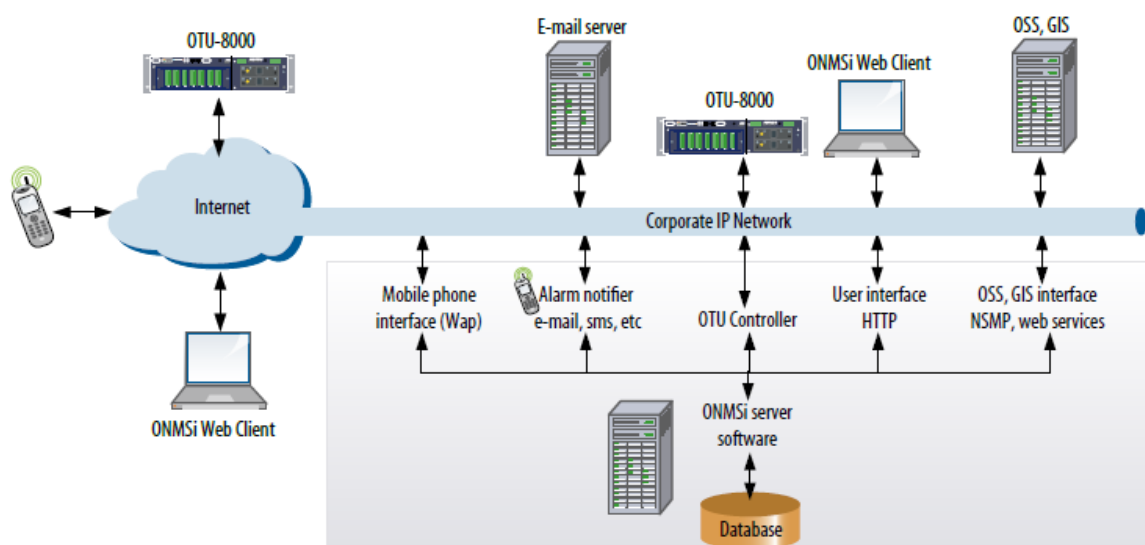


Figura ix - Esboço de interfaces de comunicação de um exemplo de um sistema de monitorização remota de fibra óptica comercialmente disponível [11].

3.2.3.3 Número de Unidades de Teste Óptico e sua distribuição pela rede

Tendo em conta o referido anteriormente, de que os OTDRs associados às Unidades de Teste Óptico (UTOs) a distribuir pelo terreno deverão estar aptos a monitorizar comprimentos de fibra óptica de até 135km, e considerando o valor de 15km como o comprimento médio dos cabos de fibras ópticas da EDPD, facilmente se conclui que um único OTDR de uma única

Unidade estará apto a monitorizar várias ligações ópticas contíguas. Desta forma será racional efectuar um exercício de distribuição das Unidades pelo terreno tirando partido do número de OTDRs que cada uma poderá suportar assim como das respectivas características.

Para apoio na definição da localização das UTOs considera-se que as seguintes condições deverão ser satisfeitas nos locais onde aquelas serão instaladas:

- ✓ Disponibilidade de interface IP/Ethernet na rede de telecomunicações com ligação ao Edifício onde estará localizado o servidor central da aplicação
- ✓ Redundância de acesso ao servidor central;
- ✓ Existência do maior número possível de direcções (cabos) de fibra óptica.

Adicionalmente, para efeitos de definição da distribuição dessas unidades - e tendo em conta que, se mais nenhum limite fosse imposto à rede a monitorizar por cada Unidade, para além da distância, iríamos com certeza incorrer em muitas situações de saturação ou sobre-ocupação de cabos de fibras ópticas única e exclusivamente pelo sistema de monitorização - considera-se que deverão ser definidos os seguintes limites de fibras a utilizar por cabo/ligação com este sistema:

- ✓ Ligações em grandes centros urbanos do litoral (Lisboa, Porto, Coimbra, Braga, Setúbal e Faro) – 2 fibras (cabos de 24 fibras)/4 fibras (cabos de 48 fibras);
- ✓ Restantes ligações – 4 fibras.

Tendo em conta que os requisitos de interface de comunicações e redundância acima referidos apenas são satisfeitos em locais onde existam equipamentos da rede IP/Ethernet ou da rede SDH, e que os locais com maior número de direcções de fibra óptica estão normalmente munidos de equipamentos da rede SDH (rede de transporte), e ainda que normalmente os sites SDH, pela criticidade que apresentam para a rede de telecomunicações, dispõem de sistemas de alimentação mais fiáveis e conseqüentemente mais disponíveis, considera-se que as localizações das UTOs deverão ser escolhidas no leque de sites munidos daquele tipo de equipamentos.

Desta forma, se sobrepormos os mapas da rede de cabos de fibras ópticas (ver Figura xviii do Anexo A.14 - Rede de cabos de Fibras Ópticas da EDPD) e da rede SDH (Figura xiii do Anexo A.6) da EDPD, poderemos, com maior facilidade, definir os locais que cumprem os requisitos mencionados nesta secção e ao mesmo tempo tiram partido, tanto quanto possível, da distância monitorizável pelo OTDR de cada Unidade.

A título de exemplo do raciocínio efectuado, apresenta-se na Figura x estudo de localização de UTOs na Área Metropolitana do Porto.

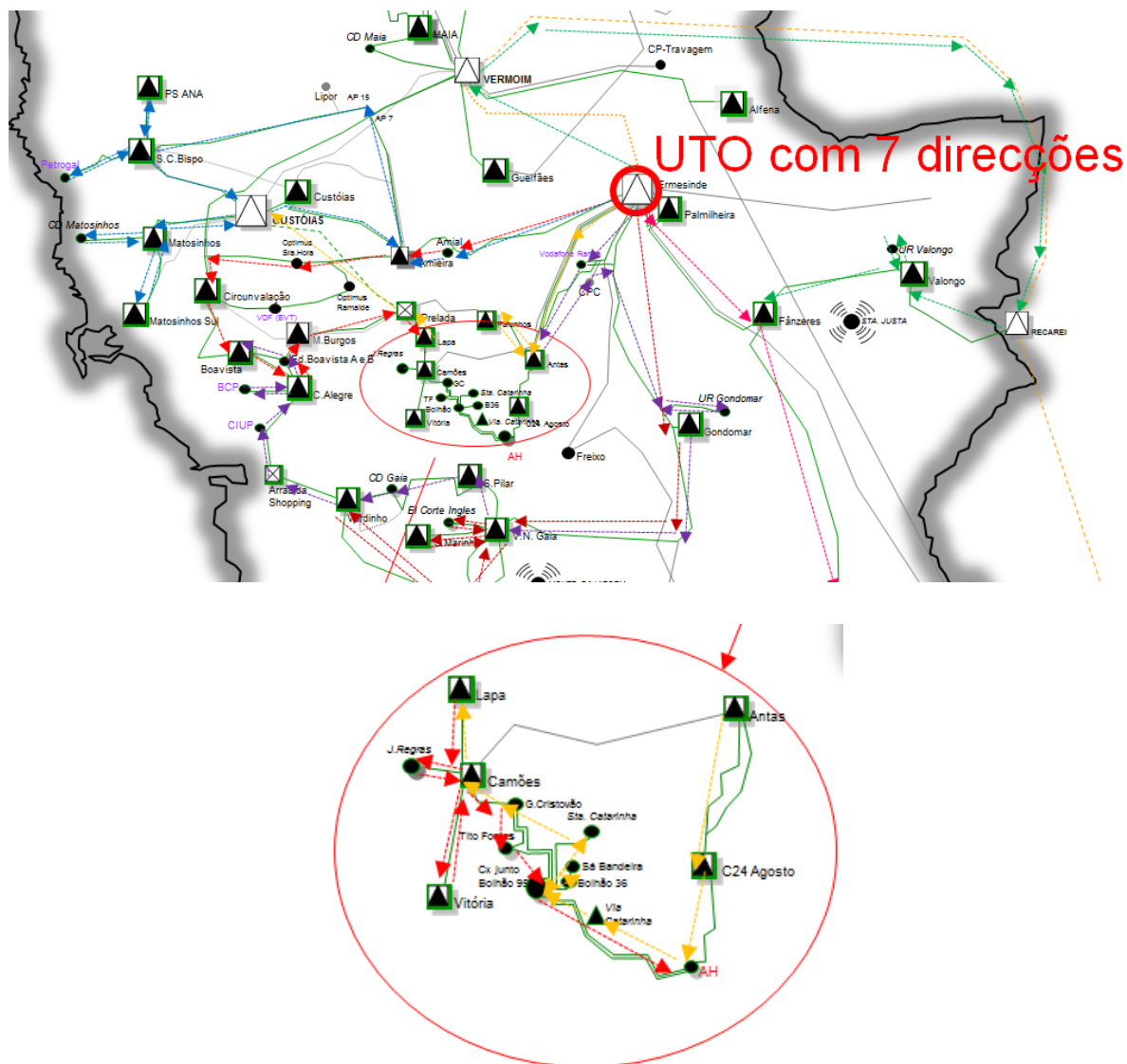


Figura x - Exemplo de raciocínio utilizado para determinação da localização de UTOs na Área Metropolitana do Porto.

Efectuando um raciocínio idêntico para toda a rede da EDPD, com base numa análise heurística, considerando os pressupostos acima definidos, obteve-se a lista de equipamentos presente no Anexo A.9.

3.2.3.4 Custos da solução

Com o intuito de obter uma estimativa o mais realista possível dos custos da solução preconizada, que possa servir a uma posterior análise de *payback* da solução, foi efectuada uma consulta de preços a um dos fornecedores de referência deste tipo de sistemas, do qual se

obteve uma proposta meramente indicativa para valores unitários dos vários elementos constituintes do Sistema de Monitorização Remota, dos quais se simulou a estimativa de custos total do sistema apresentada na Tabela iii.

Tabela iii - Estimativa de custos de Sistema para Gestão e Monitorização Remota de Cabos de Fibras Ópticas da EDP Distribuição a nível nacional.

Designação	Quantidade	Preço unitário	Preço Total
Software para servidor de Gestão de Rede de Cabos de Fibras Ópticas	1	7500	7.500,00 €
Licença por km de cabo a gerir	6	7000	42.000,00 €
Servidor de Monitorização de Rede de Cabos de Fibras Ópticas (inclui software de cliente)	1	60942	60.942,00 €
Unidade de Teste Óptico (UTO) equipada com 8 portos SC/APC	16	25000	400.000,00 €
Instalação e Formação	1	50000	50.000,00 €
Total			560.442,00 €

3.2.3.5 Payback da solução

Apesar do valor aparentemente elevado de investimento nesta solução, considera-se que a sua implementação será perfeitamente justificável pela necessidade urgente de ultrapassar os constrangimentos já apontados e pelo retorno financeiro directo e indirecto que a rede de fibras ópticas traz à EDPD, nomeadamente:

- ✓ encaixe de mais de 1,2M€ anuais com a cedência de circuitos de “fibra escura” a operadores externos;
- ✓ encaixe de valor elevado, não determinado, com ganho na eficiência operacional e de continuidade de abastecimento de energia eléctrica, por suportar as redes de comunicações base à exploração e condução da rede eléctrica, com elevada disponibilidade.

e ainda por se estimar que a solução tenha, por si mesma, um período de retorno (*payback*) de apenas alguns anos, tendo em conta os ganhos previstos em:

- ✓ redução do tempo de indisponibilidade da rede de fibras ópticas, que se traduzirá em potencial redução de penalizações acordadas em SLAs com operadores e em potencial redução de energia não distribuída;
- ✓ aumento da fiabilidade da rede e melhoria de gestão de SLAs;
- ✓ redução de custos com manutenção da rede de fibras ópticas (ver 3.3.1);
- ✓ melhoria na imagem para os clientes externos;
- ✓ redução de tempo de análise de intervenções na rede de fibras ópticas;
- ✓ redução de cortes acidentais de cabos e serviços por informação inexistente ou desactualizada;

- ✓ redução do tempo de planeamento de estabelecimento de novos circuitos de fibra óptica.

Desta forma, para suporte a uma decisão racional e sustentada sobre o investimento na solução proposta, será aconselhável a realização de um estudo detalhado de *payback* previsto para a solução – tempo dentro do qual se prevê que as economias geradas com o investimento permitem reembolsar esse mesmo investimento [12] – com base na lista de previsões de ganhos atrás referidas.

Tendo em conta a sensibilidade do assunto, que se encontra fora do âmbito desta dissertação, e o tempo que seria necessário para realizar esse estudo com o rigor necessário, propõe-se que o mesmo seja uma das componentes de trabalhos futuros de continuidade a esta dissertação.

3.3 Política de Manutenção

A manutenção otimizada resulta da melhor combinação entre uma performance satisfatória do equipamento e a aceitação e o controlo de um risco de falha, ao menor custo.

O gráfico da Figura xi mostra os custos referentes à manutenção preventiva e às falhas de equipamentos (manutenção correctiva) em função do nível de manutenção utilizado na empresa.

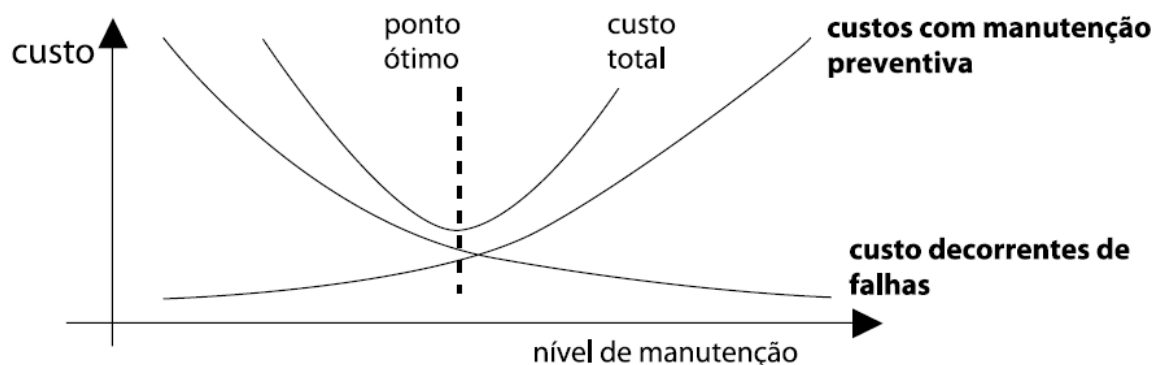


Figura xi - Gráfico custos versus nível de manutenção [13].

De uma maneira geral, este gráfico evidencia que o investimento em manutenção preventiva tende a reduzir drasticamente os custos totais de manutenção decorrentes de falhas dos equipamentos. Porém, mostra ainda que a partir de um certo ponto ótimo o investimento no aumento da qualidade da manutenção preventiva (nível de manutenção) não reduz significativamente o número de ocorrências de falhas em equipamentos, o que provoca novamente um aumento nos custos totais de manutenção da empresa.

É muito importante observar, na busca do ponto óptimo, que a política de manutenção a ser adoptada deve ter em consideração aspectos como a importância do equipamento para o processo, o custo do equipamento e de sua reposição, as consequências da falha do equipamento no processo e outros factores que indicam que a política de manutenção não pode ser a mesma para todos os equipamentos, mas deve ser diferenciada para cada um deles, na busca do ponto óptimo entre disponibilidade e custo [5].

3.3.1 Manutenção Preventiva Preditiva e Sistemática

Segundo as orientações do documento interno da EDP citado em [14], e para o caso da rede de fibras ópticas em particular, tendo em consideração os modos de falha e as causas raiz que ocorrem com mais frequência, bem como a necessidade de garantir o menor número de falhas possíveis, teremos de encontrar um tipo de manutenção que melhor permita avaliar e monitorizar a condição técnica destes activos.

A Manutenção Preventiva Preditiva, cujo conceito é introduzido no Anexo A.11, caracteriza-se pela medição e análise de variáveis dos sistemas que possam prognosticar uma eventual falha [13]. Com isso, a equipa de manutenção pode programar a intervenção e aquisição de peças (custo de manutenção), reduzindo gastos com stock e evitando indisponibilidades desnecessárias dos sistemas (custo da indisponibilidade).

O Sistema de Gestão e Monitorização Remota de Rede de Fibras Ópticas, cuja implementação é proposta em 3.2., permite aplicar uma componente de manutenção preditiva à rede de fibras ópticas da EDPD. Tendo em conta que se prevê que este sistema permitirá detectar precocemente sinais de degradação de cabos, evitando muitas das falhas catastróficas, podemos dizer que esta filosofia de manutenção se encontra no ponto óptimo de nível de manutenção do gráfico da Figura xi.

No entanto, tendo em conta que este sistema de monitorização apenas monitorizará algumas fibras de cada cabo (no máximo 4, de acordo com os pressupostos definidos em 3.2.3.3.), e apesar de a probabilidade de um problema no cabo afectar também as fibras em monitorização ser grande (entre 80 e 90%, segundo [15]), haverá sempre probabilidade de existirem problemas de degradação de cabo/fibras ópticas que não afectam as referidas fibras e que, consequentemente, não serão detectáveis pelo Sistema de Monitorização Remota. Além disso as tarefas de inspecção preventiva sistemática contemplam também a verificação do

estado de bastidores e terminações de fibras ópticas (repartidores ópticos), na generalidade não monitorizáveis pelo referido sistema. Desta forma sugere-se que a política de manutenção preventiva preditiva seja complementada com uma política de manutenção preventiva sistemática por forma a que, no global, possam ser detectados precocemente o maior número possível de degradações de cabos e fibras ópticas e consequentemente evitadas ao máximo as falhas catastróficas.

Como referido em 2.4.3., a EDPD tem vindo já a implementar nos últimos anos uma política de manutenção preventiva sistemática sobre a sua rede de cabos de fibras ópticas. Esta política foi inicialmente delineada pelo autor desta dissertação e ajustada, por razões de calendário, no início do trabalho desta dissertação, conforme referido naquele ponto.

No entanto, considerando que a implementação do Sistema de Gestão e Monitorização Remota proposto aumentará a probabilidade de detecção precoce de falhas, propõe-se que a periodicidade da política de manutenção preventiva seja aumentada por forma a tirar partido daquela vantagem.

Desta forma propõe-se que a periodicidade da manutenção preventiva sistemática à rede de fibras ópticas passe de 3 para 5 anos, continuando a ser realizada com base em locais (na deslocação ao local são testadas todas as fibras livres de todos os cabos). Estima-se que esta alteração resulte numa poupança anual superior a 25.000,00 €, contribuindo fortemente, só por si, para o rápido *payback* da implementação do sistema de Gestão e Monitorização Remota da Rede de Fibras Ópticas, conforme preconizado em 3.2.3.5..

3.3.2 Manutenção baseada na condição e risco (CBRM)

De acordo com as orientações definidas no Projecto de Políticas e Critérios de Manutenção da EDPD, a estratégia de manutenção a utilizar (quando aplicável) deve ser em função do risco, ou seja RBM – Risk Based Maintenance (Probabilidade x Consequência). Para avaliar a probabilidade, é necessário recorrer à análise da condição do activo, pelo que a combinação de duas estratégias (CBM – Condition Based Maintenance e RBM) resulta numa só, CBRM (Condition Based Risk Management), que permite dar resposta à avaliação pretendida [14].

No entanto, a estratégia de manutenção proposta em 3.3.1., nomeadamente na sua componente preventiva sistemática, é igual para todas as ligações e todos os tipos de cabos (OPGW, ADSS, conduta, etc.), isto é, é cega em relação à condição (idade, utilização,

condições físicas, exposição ambiental, histórico de manutenção, etc.) e ao risco que cada cabo representa para a EDPD (consequências da sua falha).

Desta forma considera-se que existirá ainda margem para, no futuro, se efectuarem melhorias à política de manutenção da rede de cabo de fibras ópticas da EDPD introduzindo, na estratégia proposta no âmbito deste trabalho (3.3.1), uma componente de análise de condição e de risco destes sistemas, adaptando a periodicidade da manutenção preventiva sistemática e, eventualmente, a decisão sobre as ligações a monitorizar pelo Sistema de Monitorização, ao nível de risco que cada ligação em particular representa para a EDPD. Preconiza-se que tal análise tenha em conta, nomeadamente, os seguintes factores:

- ✓ tipo de cabo (OPGW, ADSS, Condutores, etc.);
- ✓ catástrofes naturais a que estão sujeitos (incêndios, ventos fortes, nevões, etc.);
- ✓ idade;
- ✓ histórico de manutenção;
- ✓ estado em que se encontra;
- ✓ quantidade e criticidade do tráfego que suporta (impacto da falha);
- ✓ existência de alternativas efectivas.

Tendo em conta a abrangência e especificidade deste exercício, propõe-se que seja considerado como continuação ao trabalho desta dissertação.

3.3.3 Actuação em caso de avaria

O tempo que tipicamente as avarias em sistemas de fibras ópticas demoram a despistar e a efectivamente resolver, associado à elevada criticidade que a generalidade dos cabos de fibras ópticas apresentam para o *core business* da EDPD, reforçada pela existência de contratos de cedência de fibra óptica escura a operadores externos, aos quais estão associados exigentes SLA (Service Level Agreement), exigem uma sistematização do processo de avarias na rede de fibras ópticas. Esta clarificação é ainda mais urgente se tivermos em conta as recentes mudanças de responsabilidades da manutenção dessa rede, que durante mais de uma dezena de anos foi da competência das equipas responsáveis pela manutenção das redes de telecomunicações da EDPD, e que desde 2011 passou a ser da competência das equipas responsáveis pela manutenção da rede eléctrica, e cujo processo de passagem de testemunho tem gerado dúvidas de fronteiras de actuação que importa esclarecer.

Com as justificações acima mencionadas, foram definidos procedimentos de actuação em caso de avarias na rede de fibras ópticas, desde a parte de despiste até à parte de resolução da

avaria propriamente dita, os quais foram construídos envolvendo as várias unidades organizativas com responsabilidade nos mesmos. O resultado deste trabalho é apresentado no Anexo A.12.

3.3.4 Stock de reservas – materiais e quantidades

3.3.4.1 Política de encomendas

Apesar de a EDPD anualmente consumir, para efeitos de estabelecimento de novas ligações, alguns quilómetros dos tipos de cabo dieléctrico de conduta de 24 e 48 fibras ópticas (ver Anexo A.15 - Cabos de fibras ópticas em uso na EDP Distribuição), cada encomenda gerada para o respectivo fornecedor terá sido, na maior parte das vezes, de pouco mais do que uma centena de metros.

Esta situação prende-se com o processo actualmente praticado na EDPD para estes tipos de materiais, e o qual consiste na encomenda pontual de cabo ao fornecedor à medida que é orçamentada uma obra e conseqüentemente é gerada uma reserva ao armazém central no sistema informático da empresa (SAP).

Esta metodologia, que terá grandes vantagens na redução de stocks de materiais em armazéns da EDPD, tem também grandes desvantagens relacionadas com a indisponibilidade de materiais sempre que existe uma necessidade urgente do seu fornecimento (quer seja para obras novas, quer seja para reparação de avarias), e a qual origina pedidos de fornecimento urgentes (com prazos de entrega abaixo do acordado) a um fornecedor já por si insatisfeito com a política em uso.

Esta insatisfação do fornecedor poderá ser compreensível tendo em conta que, devido à especificidade dos referidos cabos - os quais são fabricados especificamente para a EDPD, incluindo marcação do nome da própria EDPD ao longo do cabo - cada encomenda implica a paragem e preparação de uma linha de montagem para produção de apenas algumas centenas de metros. A própria constituição de um stock em fábrica destes produtos não se afigurará neste momento exequível para o fornecedor, tendo em conta que não lhe é prestada qualquer informação sobre o consumo anual estimado. Se a estes constrangimentos acrescentarmos ainda os gastos adicionais com transportes e gestão de encomendas (das duas partes do processo) facilmente percebemos a sua baixa rentabilidade e ineficiência.

Ora, se a encomenda de cabos tipo ADSS ou tipo OPGW, por imposição das especificidades de projecto das linhas aéreas onde são instalados, têm que ser feitas obra a obra, tal já não terá que acontecer com os referidos cabos do tipo dieléctrico de conduta, tendo em conta que o

grosso da sua utilização está em distâncias muito curtas (principalmente interligação de cabo OPGW ao interior da subestação).

Deste modo, e numa óptica de promoção de uma relação de parceria sustentável com o fornecedor, propõe-se que se considere a revisão do processo em prática de encomendas de cabos dieléctricos de conduta, sugerindo-se a utilização do método preconizado no passado no "Processo de Fibras Ópticas", construído pelo autor desta dissertação, e o qual consiste na definição, no início de cada ano, em conjunto com as Direcções de Planeamento e de Projecto e Construção da EDPD, das quantidades de consumo previstas para cada um desses tipos de cabo, e a posterior colocação de encomenda ao fornecedor de uma só vez, sendo a satisfação das reservas pontuais geridas pelos nossos armazéns - ou, em alternativa, acordando uma gestão desse stock nas instalações do fornecedor. Esta é também a metodologia que se propõe que seja considerada na revisão em curso do processo.

3.3.4.2 Stock mínimo de reservas

Em complemento ao proposto em 3.3.4.1., e independente dessa política, sugere-se também a garantia de um stock mínimo permanente de pelo menos 1000m de cada um dos tipos de cabos dieléctricos de conduta em armazém da EDP que servirão para colmatar as necessidades urgentes ali referidas. Adicionalmente, sempre que o nível de stock de cada um deles baixar abaixo de 500m, propõe-se que seja despoletada a aquisição de uma nova bobine com 500m.

No que diz respeito aos cabos do tipo ADSS e OPGW referidos em 2.1.2., não se colocam, pelas razões apontadas, problemas no processo de encomendas. No entanto, deverá ser garantido um stock mínimo de cabos deste tipo que colmatem as necessidades urgentes para efeitos de manutenção e reposição de serviço.

Tendo em conta as inúmeras variantes de cada um dos tipos de cabos referidos (fruto da variação da corrente de curto-circuito no caso de OPGW, do comprimento de vão máximo admissível no caso do ADSS e do número de fibras ópticas em ambos os casos) propõe-se que, para efeitos de stock para apoio a avarias, em vez de existirem 12 variantes de cabo, correspondentes aos vários tipos e modelos de cabos em operação, exista apenas uma que possa mitigar todas as situações, com stocks em dois pontos do país. O tipo de cabo que possibilita a implementação desta filosofia é o cabo do tipo ADSS, de 48 fibras ópticas, com suporte de vão até 800m. Deste modo, qualquer que seja a avaria que ocorra na rede aérea de cabos de fibras ópticas, a mesma poderá ser resolvida de forma provisória (manutenção paliativa) ou definitiva (manutenção correctiva) recorrendo a este tipo de cabo.

Tendo em conta a extensão máxima de avarias conhecidas em cabos de fibras ópticas e o comprimento de cabo necessário para as mitigar, propõe-se a aquisição de duas bobines de 2000m cada, uma a depositar no Armazém da Lousã e outra a depositar no Armazém de Sacavém. Adicionalmente deverá ser garantido um stock mínimo de 3000m no total, gerando-se uma encomenda de uma bobine de 2000m sempre que o stock passa abaixo desse limiar.

3.3.5 Formação

A relativamente recente passagem de responsabilidade de manutenção da rede de fibras ópticas já anteriormente referida, sem a legitimamente expectável passagem de recursos humanos associada, conduziu a naturais preocupações iniciais quanto à existência de know-how adequado à exigência técnica e tempo de resposta inerentes à criticidade e especificidade da rede de fibras ópticas.

Por forma a tentar mitigar esta preocupação foram elaborados uma série de documentos técnicos internos de apoio à manutenção desta rede, referidos em [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], que serviram de suporte a uma série de acções de formação realizadas a nível nacional pelo autor desta dissertação e as quais chegaram a mais de uma centena de colaboradores do Departamento de Manutenção de Rede da EDPD.

Os temas abordados nestas acções de formação com componente teórico-prática foram:

- Princípios das fibras ópticas;
- Componentes de uma ligação óptica;
- Materiais homologados pela EDP;
- “Boas práticas” de instalação de cabos de fibras ópticas e acessórios;
- OTDR e medidas de potência;
- Requisitos ópticos da EDP;
- Procedimentos de ensaios ópticos e recepção de ligações ópticas;
- Aspectos de montagem a verificar na recepção de ligações de fibra óptica;
- Informação a incluir nos relatórios de ensaios de ligações de fibra óptica;
- Aspectos a ter em conta na análise de relatórios de ensaios de ligações ópticas;
- Significado prático de problemas detectados e medidas a tomar.

3.4 Acompanhamento da evolução das redes de fibras ópticas

Tendo em conta o constante aumento de exigência de largura de banda nas redes de comunicações e, em particular, nas redes de fibras ópticas, a sua tecnologia tem evoluído com algum significado nos últimos anos. Para acompanhamento desta evolução tecnológica, assim como das melhores práticas de instalação e manutenção de redes de fibras ópticas, foi considerado do maior interesse que a EDPD se mantivesse na linha da frente nestes assuntos.

Para tal a EDPD nomeou, desde 2006, o autor desta dissertação para representar a empresa na Comissão Técnica Electrotécnica 86 (Fibras Ópticas), subcomissão Portuguesa da Comissão Técnica 86 do IEC (International Electrotechnical Commission) para as Fibras Ópticas.

Já no seio desta comissão, o autor desta dissertação foi nomeado, em 2012, como perito para desde então representar activamente Portugal nos seguintes Grupos de Trabalho Internacionais:

- TC 86/SC 86A/PT 60794-2-51 - Preparation of IEC 60794-2-51 - Optical fibre cables Part 2-51: Indoor optical fibre cables Product specification for simplex and duplex cables for use in patchcords for controlled environment [24];
- TC 86/SC 86A/WG 1 - Fibres and associated measuring methods [25];
- TC 86/SC 86B/JWG 8 - Terminated cable assemblies [26];
- TC 86/SC 86B/WG 6 - Standards and specifications for fibre optic interconnecting devices and related component [27].

Esta participação tem assim permitido à EDPD a participação na elaboração de normas de referência internacionais e conseqüentemente o cumprimento dos objectivos de acompanhamento de tendências de evolução e melhores práticas no mundo das fibras ópticas.

4 Conclusões

4.1 Síntese do trabalho realizado

Neste trabalho começou por fazer-se uma apresentação das redes ópticas e da rede de cabos de fibras ópticas propriamente dita, da EDP Distribuição. Neste ponto foram abordados, em particular, aspectos técnicos de cabos, fibras ópticas e acessórios de fibras ópticas - e para cujas especificações o autor desta dissertação contribuiu activamente ao longo de vários anos de trabalho na Área de Telecomunicações daquela empresa - identificando-se as limitações desses produtos a nível técnico e operacional.

Ainda no âmbito da caracterização da rede óptica da EDPD, foi efectuada uma abordagem à forma como a rede de cabos de fibras ópticas é neste momento gerida e como são monitorizadas as suas falhas, identificando-se constrangimentos e oportunidades de melhoria.

Para servir de base a uma definição consciente de uma nova estratégia de manutenção, foi efectuada uma caracterização das avarias na rede de fibras ópticas da EDPD e riscos que apresentam para a empresa, e descrita a estratégia actual de manutenção sobre essa rede, identificando-se os respectivos constrangimentos e propondo-se desde já alguns ajustes a essa mesma estratégia, a qual, ela própria, também já havia sido definida no passado pelo autor desta dissertação [5].

Entrando no capítulo de proposta de evolução da rede óptica da EDPD, começa-se por propor evolução técnica de cabos, fibras ópticas e conectores de fibra óptica, em resposta às exigências de mercado e operacionais.

De seguida é efectuada a especificação detalhada dos requisitos das componentes de Gestão e de Monitorização Remota do Sistema proposto, incluindo a caracterização técnica e económica da solução para gestão e monitorização remota da rede de fibras ópticas da EDPD a nível nacional, mencionando-se os elevados ganhos económicos, técnicos e de eficiência operacional esperados com a sua implementação, e os quais são a base para o esperado rápido *payback* desta solução.

Com base no ganho esperado com a implementação deste sistema na identificação precoce de falhas, o qual é conseguido com a introdução, pelo mesmo, de uma componente preditiva de manutenção à rede de fibras ópticas, é proposto um ajuste da estratégia de manutenção preventiva sistemática actual, traduzida no aumento da periodicidade das inspecções de 3 para 5 anos, resultando em ganhos económicos directos, principalmente devido à redução de intensidade deste tipo de manutenção.

Tendo em conta que a estratégia de manutenção ali proposta é independente do estado e do risco que a cada ligação de fibras ópticas apresenta para a EDPD, propõe-se que no âmbito de trabalhos futuros seja introduzida inteligência adicional à estratégia de manutenção proposta, definindo-se já neste trabalho as linhas orientadoras que servirão de base à sua construção.

No âmbito deste trabalho foram ainda criados processos organizacionais e técnicos de apoio à operação e manutenção da rede de fibras ópticas, assim como definidas políticas de stock de reservas de cabos de fibras ópticas que mitiguem o risco que as falhas catastróficas de cabos

apresentam para a EDPD. Foi ainda ministrada acção de formação a mais de uma centena de técnicos e construída a respectiva documentação de apoio, focada principalmente nas vertentes de comissionamento e manutenção das redes de fibras ópticas da EDPD.

Em suma, neste trabalho é efectuada, em primeiro lugar, uma caracterização das redes de fibras ópticas da EDPD, em termos técnicos, avarias e procedimentos de instalação, gestão e manutenção dessa rede, identificando-se, em todos esses campos, os principais constrangimentos e oportunidades de melhoria e, em segundo lugar, é efectuada uma proposta de evolução técnica dos materiais dessa rede, de implementação de um Sistema de Gestão e Monitorização Remota da rede, de adopção de uma estratégia de manutenção mais inteligente e conseqüentemente mais económica, e de alteração de processos de apoio às actividades de manutenção sobre as referidas redes.

4.2 Principais contribuições

Conforme já referido, no âmbito deste trabalho foram efectuadas propostas concretas de evolução dos materiais, procedimentos e sistemas para suporte à gestão, operação e manutenção da rede de fibras ópticas da EDPD, algumas das quais foram já entretanto aceites e implementadas pela empresa.

Como principais contribuições deste trabalho para a evolução da rede de fibras ópticas da EDPD destacam-se:

- a normalização introduzida para aquisição de cabos de fibras ópticas do tipo OPGW, ADSS e dieléctrico de conduta;
- a proposta de evolução do tipo de fibra monomodo padrão para a o tipo de fibra monomodo de baixo pico de água;
- a proposta de adopção dos conectores de fibra óptica do tipo SC/APC como padrão na empresa;
- a concepção e caracterização técnica e económica de um Sistema para Gestão e Monitorização Remota da Rede de Fibras Ópticas da EDPD;
- a proposta de ajuste da periodicidade da política de manutenção preventiva sistemática que tem vindo a ser aplicada à rede de fibras ópticas da EDPD, de 3 para 5 anos, caso o referido sistema venha a ser implementado;

- a criação de uma série de documentos técnicos e de procedimentos de apoio à aquisição, instalação, comissionamento e manutenção da rede de fibras ópticas da EDPD;
- a definição das linhas orientadoras para a futura evolução da estratégia de manutenção para uma política baseada no estado e no risco que a rede apresenta para o negócio da empresa.

4.3 Propostas de trabalho futuro

Muito mais longe se gostaria de ter ido no âmbito deste trabalho. No entanto, a limitação de tempo e de espaço no texto principal desta dissertação deixam abertas algumas portas para continuidade deste trabalho, as quais se introduzem de seguida.

4.3.1. Optimização do Sistema de Gestão e Monitorização da Rede

Tendo em conta que, como referido em 3.2.3, a localização das unidades de teste óptico foi definida recorrendo a uma análise maioritariamente heurística, poderá haver interesse em otimizar a distribuição de unidades propostas, construindo uma função matemática objectivo que a suporte.

Adicionalmente, e com base nos ganhos esperados com a implementação desse sistema, e referidos em 3.2.3, propõe-se a realização de uma análise detalhada de *payback* da solução, o qual à partida se estima ser de apenas alguns anos.

4.3.2. Detalhe de estratégia de manutenção baseada no estado e no risco dos activos

Sendo a nova estratégia de manutenção sobre a rede de cabos de fibras ópticas da EDPD, proposta e definida em 3.3.1, igual para toda a rede, independentemente do estado e do risco que cada ligação apresenta para o negócio da EDPD, propõe-se que, com base nas linhas orientadoras propostas em 3.3.2, se defina uma evolução da actual estratégia para uma estratégia que tenha em conta os referidos factores.

4.3.3. Mitigação dos riscos de falha da rede de fibras ópticas com base na evolução tecnológica da rede óptica (WDM)

Tendo em conta que as redes ópticas da EDPD são essencialmente de 1ª geração, baseadas fundamentalmente em PDH e SDH, com as conhecidas limitações de capacidade e redundância automática no caso de interrupção nas ligações de fibras ópticas, propõe-se que

no futuro seja efectuado estudo de solução que possa mitigar o risco que a rede de cabos de fibras ópticas apresentam para o negócio da EDPD, abordando por exemplo a possibilidade de implementação da tecnologia WDM na camada óptica.

Bibliografia

- [1] K. N. S. Rajiv Ramaswami, Optical Networks - A practical perspective.
- [2] A. L. F. L. Isabel da Silva Lopes, “Determinação do número óptimo de equipamentos de reserva e período óptimo de revisão para um conjunto de equipamentos,” 2003.
- [3] J. Hayes, Fiber Optics Technician’s Manual - 2nd Edition, Delmar Publishers, 2001.
- [4] B. Chomycz, Fiber Optics Installer’s Field Manual, McGraw-Hill, 2000.
- [5] R. Francisco, P. Vidal e H. Maio, “Política de Manutenção O&M Direcção de Automação e Telecontrolo,” EDP.
- [6] AFL, *SkyWrap - Fiber Optic Cable*, AFL, 2002.
- [7] JDSU, “Spectral attenuation measurement in CWDM/DWDM transmission links,” 2007.
- [8] EXFO, “NQMS Fiber - Network quality monitoring system,” EXFO, 2009.
- [9] G. L. R. T. S. W. J. Laferrière, Reference Guide to Fiber Optic Testing - Volume 1, JDSU, 2007.
- [10] EXFO, “Optical Time Domain Reflectometer,” <http://www.exfo.com/glossary/optical-time-domain-reflectometer-otdr>.
- [11] JDSU, “ONMSi: Optical Network Monitoring System,” 2013.
- [12] R. Assis, Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção, Lidel, 2004.
- [13] W. Marcorin e C. Lima, “Análise dos Custos de Manutenção e Não-Manutenção de Equipamentos Produtivos,” *Revista de Ciência & Tecnologia*, pp. 35-42, Julho/Dezembro 2003.
- [14] J. M. Gomes, “Estratégia e Gestão do Risco - Políticas e Critérios de Manutenção,” EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [15] S. Varghese e S. Nair, “A novel real-time Remote Fiber Monitoring System”.
- [16] R. Francisco, *Formação em Sistemas de Fibras Ópticas da EDPD - Princípios das Fibras Ópticas*, EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [17] R. Francisco, *Formação em Sistemas de Fibras Ópticas da EDPD - Componentes de uma ligação óptica*, EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [18] R. Francisco, *Formação em Sistemas de Fibras Ópticas da EDPD - Materiais homologados pela EDPD*, EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [19] R. Francisco, *Formação em Sistemas de Fibras Ópticas da EDPD - "Boas práticas" de*

- instalação de cabos de fibras ópticas e acessórios*, EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [20] R. Francisco, *Formação em Sistemas de Fibras Ópticas da EDPD - OTDR e medidas de potência*, EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [21] R. Francisco, *Formação em Sistemas de Fibras Ópticas da EDPD - Requisitos de performance óptica da EDPD*, EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [22] R. Francisco, *Formação em Sistemas de Fibras Ópticas da EDPD - Procedimentos de ensaios ópticos e recepção de ligações ópticas*, EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [23] R. Francisco, *Formação em Sistemas de Fibras Ópticas da EDPD -Casos práticos com OTDR e medidas de potência*, EDP Distribuição - Energia, SA, 2014.
- [24] G. P. Sullivan, R. Pugh, A. P. Melendez e W. D. Hunt, *Operations & Maintenance - Best Practices - A Guide To Achieving Operational Efficiency*, Federal Energy Management Prigra, 2010.
- [25] Francisco, Rui; Fernandes, Pedro;, DMA-C34-122/E - Cabos de guarda com fibra ótica (OPGW), EDP Distribuição - Energia, SA, 2012.
- [26] Francisco, Rui; Fernandes, Pedro;, DMA-C98-601/E - Cabos Dielétricos de Fibra Ótica para Instalação em Rede Aérea (ADSS), EDP Distribuição - Energia, SA, 2012.
- [27] Francisco, Rui; Fernandes, Pedro;, DMA-C98-602/E - Cabos Dielétricos de Fibra Ótica para Instalação em Rede Subterrânea (Conduto), EDP Distribuição - Energia, SA, 2012.

Anexos

Anexo A.1 - Características de materiais em uso na rede de fibras ópticas da EDPD

Tabela iv - Características das fibras ópticas monomodo padrão, de acordo com a rec. G.652.B do ITU-T.

Atenuação máxima a 1310 nm	0.4 dB/km
Atenuação máxima a 1550 nm	0.23 dB/km
Varição média da atenuação com a temperatura (0-50° C)	< 0.05 dB/km
Varição máxima da atenuação com a temperatura (0-50° C)	< 0.1 dB/km
Uniformidade do padrão da atenuação (a 1550 nm)	< 0.03 dB/km
Dispersão cromática máxima entre 1288 e 1339 nm	3.5 ps/(nm.km)
Dispersão cromática máxima entre 1271 e 1360 nm	5.3 ps/(nm.km)
Dispersão cromática máxima a 1550 nm	20 ps/(nm.km)
Comprimento de onda de corte (λ_c)	$1100 \leq \lambda_c \leq 1$ nm
Comprimento de onda de corte (fibra cableada)	≤ 1260 nm
Dispersão modal de polarização	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabela v - Características típicas de pigtails com conectores tipo FC/PC.

Características	Valores
Tipo de conector	FC
Geometria do polimento da ferrule	PC
Tipo de fibra	monomodo 9/125 μm
Comprimento de onda de operação	1310 a 1550 nm
Perdas de retorno	> 45 dB
Perdas de inserção	$\leq 0,3$ dB
Temperatura de operação	-40°C / 80°C
Garantia de vida útil	> 500 conexões
Material corpo	metálico
Material da ponta	cerâmico
Choque térmico	<0.2 dB (-40 a +60°C, 10 ciclos)

Anexo A.2 - Proposta de evolução de fibras ópticas e conectores da rede da EDPD

Tabela vi - Tabela comparativa das características das fibras ópticas monomodo mais utilizadas no mercado.

Parameter	Standard per	NZDS per	Bend-Insensitive	Bend-Insensitive	Units
	ITU-T G.652D	ITU-T G.655	ITU-T G.657.A1	ITU-T G.657.A2	
	IEC 60793-2-50 B1.3	IEC 60793-2-50 B4	IEC 60793-2-50 B6_a1	IEC 60793-2-50 B6_a2	
	Max. /Typical	Max. /Typical	Max. /Typical	Max. /Typical	
Teldor Fiber Code	9	8	A	7	
Attenuation ^(4,5,6) , Loose Tube Cables:					dB/km
@ 1310 nm	0.35 / 0.34	NA	0.35 / 0.34	0.35 / 0.34	
@ 1550 nm	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	0.23 / 0.20	
@ 1625 nm	0.25 / 0.22	0.26 / 0.23	0.25 / 0.22	0.25 / 0.22	
Attenuation ⁽⁴⁾ , Tight Buffer Cables:					dB/km
@ 1310 nm	≤ 0.40	-	≤ 0.40	≤ 0.40	
@ 1550 nm	≤ 0.30	-	≤ 0.30	≤ 0.30	
Dispersion:					ps/(nm*km)
between 1285 and 1330 nm (O Band)	≤ 3.5	NA	≤ 3.5	≤ 3.5	
between 1460 and 1530 nm (S Band)	-	(2)	-	-	
between 1530 and 1565 nm (C Band)	≤ 18	2 – 6 ⁽³⁾	≤ 18	≤ 18	
between 1565 and 1625 nm (L Band)	≤ 22	4.5 – 11.2 ⁽³⁾	≤ 22	≤ 22	
Zero Dispersion Wavelength	1312±12	< 1520	1312±12	1312±12	nm
Mode Field Diameter					µm
@ 1310 nm	9.2±0.4	NA	8.6±0.4	8.6±0.4	
@ 1550 nm	10.4±0.6	9.6±0.6	9.8±0.5	9.6±0.5	
Cable Cut-Off Wavelength	≤1260	≤1480	≤1260	≤1260	nm
PMD (Individual fiber)	≤ 0.2	≤ 0.1	≤ 0.2	≤ 0.2	ps/km ^{1/2}
Cladding Diameter	125±0.7	125±0.7	125±0.7	125±0.7	µm
Core/Cladding Concentricity Error	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	µm
Cladding Non-Circularity	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	%
Coating Diameter (un-dyed)	245±5	245±5	245±5	245±5	µm
Proof-Test Level	0.7	0.7	0.7	0.7	GN/m ²
Induced Macrobend loss (1 turn around mandrel)					
Mandrel Radius			10	7.5	mm
Max. @ 1550 nm			0.5	0.4	dB
Max. @ 1625 nm			1.5	0.8	dB

Tabela vii - Características das fibras ópticas monomodo de baixo pico de água, de acordo com a especificação da família B1.3 da norma IEC 60793-2-50 (equivalente a ITU G.652.D).

Atributo		Unidade	Limites
Diâmetro da bainha		μm	125 ± 1
Não circularidade da bainha		%	$\leq 2,0$
Erro de concentricidade do núcleo		μm	$\leq 0,8$
Diâmetro do revestimento primário – não colorido		μm	245 ± 10
Diâmetro do revestimento primário – colorido		μm	250 ± 15
Erro de concentricidade do revestimento primário colorido		μm	$\leq 12,5$
Coeficiente de atenuação entre 1310 nm e 1625 nm		dB/km	$\leq 0,40$
Coeficiente de atenuação a $1383 \text{ nm} \pm 3 \text{ nm}$		dB/km	$\leq 0,40$
Coeficiente de atenuação a 1550 nm		dB/km	$\leq 0,30$
Comprimento de onda de dispersão nula, λ_0		Nm	$1300 \leq \lambda_0 \leq 1324$
Inclinação da dispersão nula		ps/nm ² .km	$\leq 0,093$
Gama de MFD nominal a 1310 nm		μm	8,6 – 9,5
Tolerância MFD		μm	$\pm 0,7$
Comprimento de onda de corte do cabo		nm	≤ 1260
Perdas de curvatura a 1625 nm, 100 voltas sobre um mandril rotativo com 60 mm de diâmetro		dB	$\leq 0,50$
Dispersão cromática a 1550nm		ps/(nm × km)	17
Coeficiente de dispersão do modo de polarização (PMD)	M	NA	20 cabos
	Q		0,01 %
	Máximo PMDQ		0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Tabela viii - Características técnicas dos *pigtails* com conectores do tipo SC/APC propostos.

Características	Valores
Tipo de conector	SC
Geometria do polimento da ferrule	APC
Tipo de fibra	monomodo 9/125 μm
Comprimento de onda de operação	1310 a 1550 nm
Perdas de retorno	> 60 dB
Perdas de inserção	$\leq 0,3$ dB
Temperatura de operação	-40°C / 80°C
Garantia de vida útil	> 500 conexões
Material corpo	plástico
Material da ponta	cerâmico
Choque térmico	<0.2 dB (-40 a +60°C, 10 ciclos)

Anexo A.3 - Proposta para requisitos dimensionais de cabos de fibras ópticas da EDPD

Quadro 1

Cabos OPGW normalizados

Designação EDP	Fibras	AA	ACS	RTS	ϕ_{ext}	Massa	$I_{cc(0,5s)}$
	[IEC 60793-2-50 B1.3]	[IEC 60104]	[IEC 61232]	[kN]	[mm]	[kg/km]	[kA]
24FO-A3/SA1A-17,0kA	24	A	20SA-A	≥70	15,0-16,5	≤550	17
48FO-A3/SA1A-17,0kA	48	A	20SA-A	≥70	15,0-16,5	≤613	17
24FO-A3/SA1A-25,0kA	24	A	20SA-A	≥88	17,5-19,6	≤726	25
48FO-A3/SA1A-25,0kA	48	A	20SA-A	≥88	17,5-19,6	≤755	25
24FO-A3/SA1A-31,5kA	24	A	20SA-A	≥115	19,6-21,7	≤955	31,5
48FO-A3/SA1A-31,5kA	48	A	20SA-A	≥115	19,6-21,7	≤955	31,5

Quadro 2

Cabos ADSS normalizados

Designação EDP	Tracção máxima	Peso unitário máximo	Diâmetro do cabo
	kN	kg/km	mm
CABO ADSS 24FO 11KN VÃO 400M	11	200	17 ± 10%
CABO ADSS 24FO 14KN VÃO 600M	14	215	18 ± 10%
CABO ADSS 24FO 17KN VÃO 800M	17	225	19 ± 10%
CABO ADSS 48FO 11KN VÃO 400M	11	230	17 ± 10%
CABO ADSS 48FO 14KN VÃO 600M	14	240	18 ± 10%
CABO ADSS 48FO 17KN VÃO 800M	17	250	19 ± 10%

Anexo A.4 - Proposta de código de cores de fibras ópticas para cabos EDPD

Quadro E1
OPGW com 24 fibras

Número da fibra	Cor da fibra	Identificação do tubo
1	Branco	Tubo sem marcação
2	Vermelho	
3	Verde	
4	Azul	
5	Preto	
6	Amarelo	
7	Laranja	
8	Cinzeno	
9	Castanho	
10	Violeta	
11	Rosa	
12	Turquesa	
13	Branco/Preto	
14	Vermelho/Preto	
15	Verde/Preto	
16	Azul /Preto	
17	Amarelo/Preto	
18	Laranja/Preto	
19	Cinzeno/Preto	
20	Castanho/Preto	
21	Violeta/Preto	
22	Rosa/Preto	
23	Turquesa/Preto	
24	Vermelho/Preto/Preto	

A identificação das fibras com mais de uma cor deve ser realizada com recurso a anéis de cor preto espaçados de 30 mm, de acordo com o disposto na secção 6.3 da norma IEC 60793-2.

Quadro E2
OPGW com 48 fibras (1 tubo)

Número da fibra	Cor da fibra	Identificação do tubo
1	Branco	Tubo sem marcação
2	Vermelho	
3	Verde	
4	Azul	
5	Incolor	
6	Amarelo	
7	Laranja	
8	Cinzento	
9	Castanho	
10	Violeta	
11	Rosa	
12	Turquesa	
13	Branco/Preto	
14	Vermelho/Preto	
15	Verde/Preto	
16	Azul /Preto	
17	Incolor/Preto	
18	Amarelo/Preto	
19	Laranja/Preto	
20	Cinzento/Preto	
21	Castanho/Preto	
22	Violeta/Preto	
23	Rosa/Preto	
24	Turquesa/Preto	
25	Branco/Preto/Preto	
26	Vermelho/Preto/Preto	
27	Verde/Preto/Preto	
28	Azul /Preto/Preto	
29	Incolor/Preto/Preto	
30	Amarelo/Preto/Preto	
31	Laranja/Preto/Preto	
32	Cinzento/Preto/Preto	
33	Castanho/Preto/Preto	
34	Violeta/Preto/Preto	
35	Rosa/Preto/Preto	
36	Turquesa/Preto/Preto	
37	Branco/Preto/Preto/Preto	
38	Vermelho/Preto/Preto/Preto	
39	Verde/Preto/Preto/Preto	
40	Azul /Preto/Preto/Preto	
41	Incolor/Preto/Preto/Preto	
42	Amarelo/Preto/Preto/Preto	
43	Laranja/Preto/Preto/Preto	
44	Cinzento/Preto/Preto/Preto	
45	Castanho/Preto/Preto/Preto	
46	Violeta/Preto/Preto/Preto	
47	Rosa/Preto/Preto/Preto	
48	Turquesa/Preto/Preto/Preto	

Quadro E3
OPGW com 48 fibras (2 tubos)

Número da fibra	Cor da fibra	Identificação do tubo
1	Branco	Tubo sem marcação
2	Vermelho	
3	Verde	
4	Azul	
5	Preto	
6	Amarelo	
7	Laranja	
8	Cinzentos	
9	Castanho	
10	Violeta	
11	Rosa	
12	Turquesa	
13	Branco/Preto	
14	Vermelho/Preto	
15	Verde/Preto	
16	Azul /Preto	
17	Amarelo/Preto	
18	Laranja/Preto	
19	Cinzentos/Preto	
20	Castanho/Preto	
21	Violeta/Preto	
22	Rosa/Preto	
23	Turquesa/Preto	
24	Vermelho/Preto/Preto	
25	Branco	Tubo marcado com anel preto
26	Vermelho	
27	Verde	
28	Azul	
29	Preto	
30	Amarelo	
31	Laranja	
32	Cinzentos	
33	Castanho	
34	Violeta	
35	Rosa	
36	Turquesa	
37	Branco/Preto	
38	Vermelho/Preto	
39	Verde/Preto	
40	Azul /Preto	
41	Amarelo/Preto	
42	Laranja/Preto	
43	Cinzentos/Preto	
44	Castanho/Preto	
45	Violeta/Preto	
46	Rosa/Preto	
47	Turquesa/Preto	
48	Vermelho/Preto/Preto	

A identificação dos tubos deve ser realizada com recurso à marcação de um anel de cor preto ao longo de todo o cabo e que deve ser durável para toda a vida útil do mesmo.

Quadro E4

ADSS/dieléctrico de conduta com 24 fibras

Tubos com fibra	Cor do Tubo
1	Vermelho
2	Branco/natural
3	Branco/natural
4	Verde

Número da fibra no tubo	Cor da fibra
1	Branco
2	Vermelho
3	Verde
4	Azul
5	Preto
6	Amarelo

Quadro E5

ADSS/dieléctrico de conduta com 48 fibras

Tubos com fibras	Cor do Tubo
1	Vermelho
2	Branco/natural
3	Branco/natural
4	Verde

Número da fibra no tubo	Cor da fibra
1	Branco
2	Vermelho
3	Verde
4	Azul
5	Preto
6	Amarelo
7	Laranja
8	Cinzento
9	Castanho
10	Violeta
11	Rosa
12	Turquesa

Anexo A.5 - Rede PDH da EDPD

São várias as marcas de equipamentos terminais PDH que podemos encontrar na rede de Telecomunicações da EDP Distribuição: Alcatel no Norte; Efacec no Centro e Alcatel e Nokia no Sul. Esta diversidade acarreta alguns problemas na interligação das ditas redes, principalmente no domínio da gestão e supervisão remota dessas redes e na disponibilização de circuitos de comunicação entre equipamentos de zonas distintas. Isto acontece principalmente porque, na definição da norma PDH, a ITU não normalizou formatos de transmissão, pelo que diferentes fabricantes utilizaram soluções distintas (códigos, interfaces, etc.) [24].

Por essa razão iremos focar-nos apenas, a título de exemplo, na descrição do equipamento PDH de marca Efacec em operação na Região Centro do país.

Os equipamentos PDH servem normalmente para comunicação entre subestações da EDP Distribuição que estão interligadas com fibra óptica. O equipamento situado em cada extremo dum ligação, que “constrói” a trama PCM (Pulse Code Modulation) a 2 Mbit/s, é designado por Multiplexer (MUX). Para fazer o interface deste MUX com o meio de transmissão (fibra óptica) usa-se normalmente um outro MUX de ordem superior (8 Mbit/s, por exemplo) ou um dispositivo de interface de linha (OLTE – Optical Line Terminal Equipment) ou ainda um equipamento SDH. Do outro lado do MUX (lado do interface com os canais) podem ser ligados vários dispositivos, como: centrais telefónicas, MODEMs, extensões telefónicas, etc.. Para permitir esta facilidade existem uma série de cartas de interface com o MUX.

Assim, no caso de equipamento Efacec, o MUX é designado por **MUX2000**. A sua parte fundamental é a Unidade Central de Processamento, a **CPU2000E1**, que suporta a gestão SNMP e permite que o sistema possa ser usado nas seguintes configurações:

- a) E1 não ATM;
- b) *Add & Drop* (rede linear com possibilidade de topologia em anel);
- c) Transporte de tráfego IP sobre E1.

A **RSMIC** é uma carta que permite dotar o MUX de ligação RS232 e dum canal de 64 kbit/s. Permite ainda que o mesmo IT (Intervalo de Tempo) da trama PCM seja partilhado por vários interfaces.

A carta **N6MIC** dispõe de 6 interfaces V.11 e V.35 (RS232), permitindo dotar o sistema MUX2000 de interfaces de dados de relativo alto débito, em modo de Nx64 kbit/s. Para cada

um dos seus interfaces pode ser configurado o nº de intervalos de tempo que lhes estão associados (débito Nx64 kbit/s).

A unidade **COMIC** contém 8 interfaces para transmissão de dados a 64 kbit/s em modo codirecional. A cada interface corresponde um intervalo de tempo da trama de 2,048 Mbit/s (igual para emissão e recepção). Na carta é feita a conversão de débito 2,048 Mbit/s para 64 kbit/s, codificação/descodificação AMI e inserção (recuperação de sincronismo por violação do código AMI).

A **CAMIC** é uma unidade de canal que contém 10 interfaces analógicos (áudio) a 2 ou 4 fios (programável), com 2 TRONs e 2 RONs por interface (sinais E&M). A atribuição dos interfaces aos intervalos de tempo (IT), na trama de 2,048 Mbit/s, é feita aos pares, usando-se os ITs n e n+16. Nas aplicações mais comuns desta carta estão: junções E&M a 4 fios, transmissão de sinais de MODEMs banda áudio, transmissão de telecomandos e telesinalização (utilização de TRONs e RONs).

A **AEMIC** é a unidade de Assinantes do MUX2000. Dispõe de 6 interfaces analógicos a 2 fios, para ligação de telefones FAX e MODEMs (≥ 28.8 kbit/s). Cada interface de Assinante funciona em conjugação com o correspondente interface da carta de Estação (EAMIC) no equipamento MUX2000 da outra extremidade.

Para a remotização de linhas telefónicas de Assinantes ou extensões de centrais telefónicas privadas, o MUX2000 utiliza cartas de Estação **EAMIC** e de Assinantes **AEMIC**, funcionando em ligação topo-a-topo. A EAMIC é instalada no MUX2000 do lado da estação e dispõe de 6 interfaces a 2 fios, com detecção de corrente de chamar e tarifação enviadas pela estação e de condição de lancete vinda da unidade de Assinante (**AEMIC**) remota. Estes interfaces suportam telefones, FAX e MODEMs.

A **MIMIC** é uma unidade de miscelâneas do sistema MUX2000 de Assinante. A sua função é a geração de corrente de chamar e dos 12 kHz (tarifação) usados por todos os interfaces de Assinante das **AEMIC**.

A carta **LIU2000E** é uma das interfaces a 2 Mbit/s do MUX2000 e suporta todas as funcionalidades de interface de linha.

A carta **LIU2000RE** é uma das interfaces a 2 Mbit/s do MUX2000 e suporta todas as funcionalidades de interface de linha. Suporta redundância ao nível da transmissão.

A unidade **MUX4E1SO** multiplexa 4 feixes eléctricos de 2 Mbit/s transformando-os num sinal óptico a 8 Mbit/s.

A **CCMIC** é a unidade de mini *cross-connect* que suporta 6 feixes de 2,048 Mbit/s, podendo cruzar qualquer intervalo de tempo de qualquer feixe para qualquer intervalo de tempo de qualquer feixe, sem provocar congestionamento. Permite, em particular, fazer:

- “*drop-insert*” de canais a 64 kbit/s ou Nx64 kbit/s;
- re-encaminhamento (*routing*) de canais ou feixes a 2 Mbit/s;
- difusão de canais (unidireccional);
- *loops* a nível de canal (cruzamento com outros ITs do mesmo feixe) ou de feixe (cruzar canais consigo próprios).

Os equipamentos PDH da ENT suportam gestão e supervisão remota. Assim, a partir dum computador pessoal, pode ser feita a gestão e supervisão de toda a rede PDH, recorrendo ao programa de gestão INOSS, que usa um canal (IT) da trama PCM a 2 Mbit/s para suportar esta função.

O INOSS permite fazer operações como: configurações de encaminhamentos em CCMICs remotas, monitorização do estado de todos os equipamentos da rede e verificação e alteração dos ITs atribuídos a cada tributário dum qualquer Mux da rede.

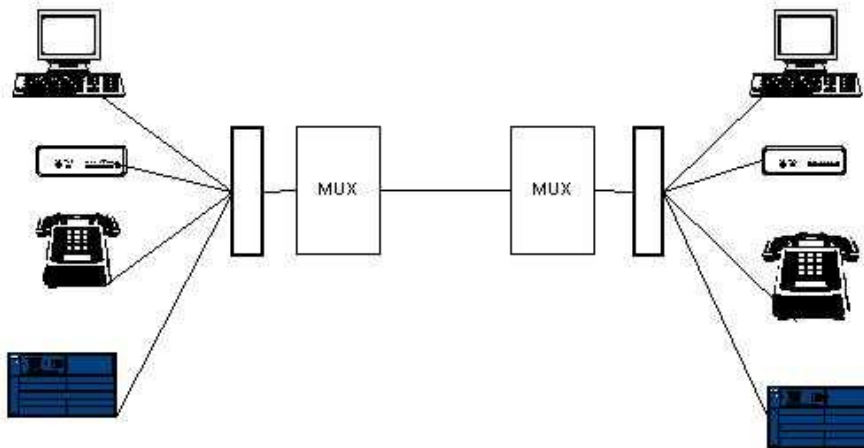


Figura xii - Aspecto dum ligação simplificada entre MUXs.

Anexo A.6 - Rede SDH da EDPD

A.6.1 - Introdução

O aparecimento da transmissão PCM trouxe inúmeras vantagens para as Telecomunicações, uma das quais foi a de permitir a partilha duma única linha telefónica por vários canais recorrendo a uma multiplexagem digital no domínio do tempo (TDM – Time Division Multiplexing).

No entanto, quando se pretende inserir/extrair um canal de 64 kbit/s numa/duma trama de hierarquia superior, a quantidade de multiplexagem/desmultiplexagem necessária é muito elevada. Também o desenvolvimento de vários *standards* pelo mundo (Europa por um lado e Estados Unidos, Japão e Canadá por outro) implicaram muitas dificuldades no que diz respeito à interligação de diferentes redes.

O aparecimento da Hierarquia Digital Síncrona (SDH) veio resolver estas e outras dificuldades acarretadas pela Hierarquia Digital Plesiócrona (PDH).

As principais vantagens do SDH, relativamente à PDH são:

- elevadas taxas de transmissão, que podem atingir até 40 Gbit/s (STM-256);
- fácil interligação entre elementos de rede de vários fabricantes (excepto no domínio da gestão);
- função de Add & Drop facilitada, a qual não exige a elevada quantidade de elementos de multiplexação/desmultiplexação que estava associada à inserção/extracção de canais de 64kbit/s no PDH;
- elevada fiabilidade proporcionada por vários mecanismos de *backup* e reparação automáticos, em caso de falha da rede.

Por tudo isto, a SDH é hoje em dia cada vez mais utilizada em detrimento da PDH. No caso concreto da EDP Distribuição, sempre que as circunstâncias o exigem e justificam, estão a ser implementadas ligações em SDH. Esta rede é usada principalmente como *backbone* da rede, isto é, em ligações que exigem uma capacidade de transporte de elevado volume de tráfego. Um aspecto da rede SDH da EDP Distribuição pode ser visto na Figura xiii.

EDIS – Rede de Transmissão de Alto Débito – SDH

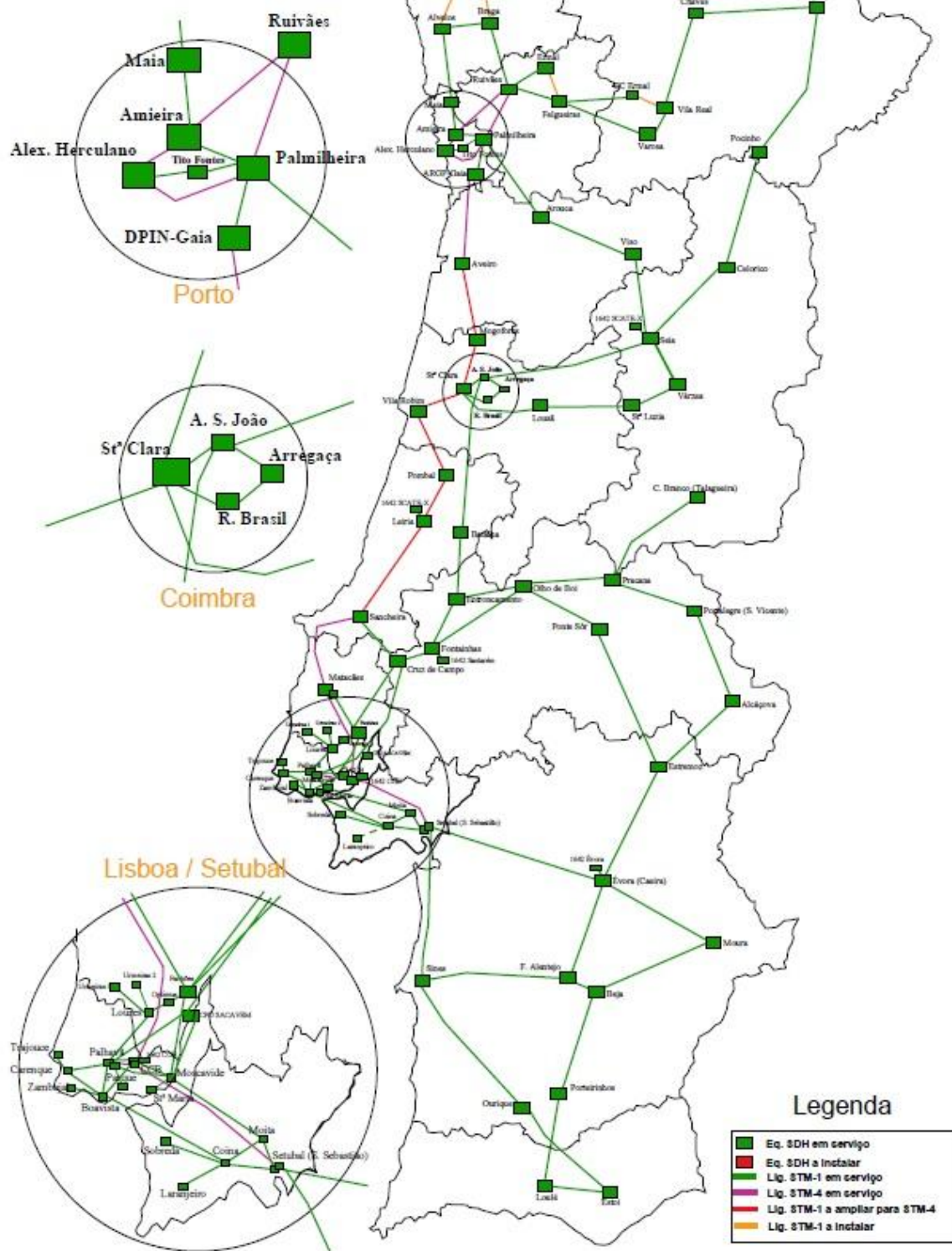


Figura xiii - Rede SDH da EDP Distribuição.

A.6.2 - Equipamentos

A generalidade dos equipamentos SDH da rede de Telecomunicações da EDP Distribuição é da marca Alcatel, à excepção de uma pequena ilha de equipamentos localizada na zona de Lisboa, cujos equipamentos são da marca Nokia.

As redes de ambas as marcas estão conforme a recomendação G.707 da ITU-T e são compatíveis entre si e com as redes plesiócronicas (PDH) existentes.

Os equipamentos utilizados podem operar no máximo até 2488 Mbit/s (STM-16), estando neste momento implementado apenas até STM-4 (655Mbit/s) na rede da EDPD, podendo ser configurados como Terminal Multiplexers (TMs), como Add/Drop Multiplexers (ADMs) ou como Mini local cross-connects (XCs).

Uma gama alargada de portos podem ser multiplexados ou adicionados/retirados destes equipamentos (Add/Drop). Os portos de tráfego suportados poderão ser 2, 34, 45 e 140 Mbit/s eléctricos, STM-1 eléctrico, e STM-1 a STM-16 ópticos.

Tal como a generalidade das redes SDH, a rede SDH da EDPD é geralmente configurada em anel, por forma a criar diversidade em anel para garantir serviço ininterrupto em caso de falha de uma ligação ou equipamento [24].

Uma grande variedade de módulos ópticos STM-1 e STM-4, operando a 1310 e 1550nm, estão disponíveis para estes equipamentos por forma a cobrir sistemas desde de curto até de longo alcance, conforme resumido na Tabela ix.

Tabela ix - Especificações físicas STM-1 e STM-4 da SDH [24].

Bit Rate	Code	Wavelength (nm)	Fiber	Loss (dB)	Transmitter	Dispersion (ps/nm)
STM-1	I-1	1310	G.652	0-7	LED/MLM	18/25
	S-1.1	1310	G.652	0-12	MLM	96
	S-1.2	1550	G.652	0-12	MLM/SLM	296/NA
	L-1.1	1310	G.652	10-28	MLM/SLM	246/NA
	L-1.2	1550	G.652	10-28	SLM	NA
	L-1.3	1550	G.653	10-28	MLM/SLM	296/NA
STM-4	I-4	1310	G.652	0-7	LED/MLM	14/13
	S-4.1	1310	G.652	0-12	MLM	74
	S-4.2	1310	G.652	0-12	SLM	NA
	L-4.1	1310	G.652	10-24	MLM/SLM	109/NA
	L-4.2	1550	G.652	10-24	SLM	ffs
	L-4.3	1550	G.653	10-24	SLM	NA
	V-4.1	1310	G.652	22-33	SLM	200
	V-4.2	1550	G.652	22-33	SLM	2400
	V-4.3	1550	G.653	22-33	SLM	400
	U-4.2	1550	G.652	33-44	SLM	3200
	U-4.3	1550	G.653	33-44	SLM	530

Anexo A.7 - Rede IP/Ethernet da EDPD

A rede está desenhada a três níveis: acesso, agregação e core. No nível do acesso, as subestações da EDPD estão interligadas entre si através de anéis que têm pontos de interligação com a rede core MPLS do operador, transportando o tráfego até ao ponto central da rede EDPD [25].

As tecnologias utilizadas nos vários componentes da solução são:

- nas subestações: switches ethernet;
- nos pontos de agregação: routers ethernet;
- no ponto central: router ethernet.

Na Figura xiv é apresentado a arquitectura deste projecto piloto.

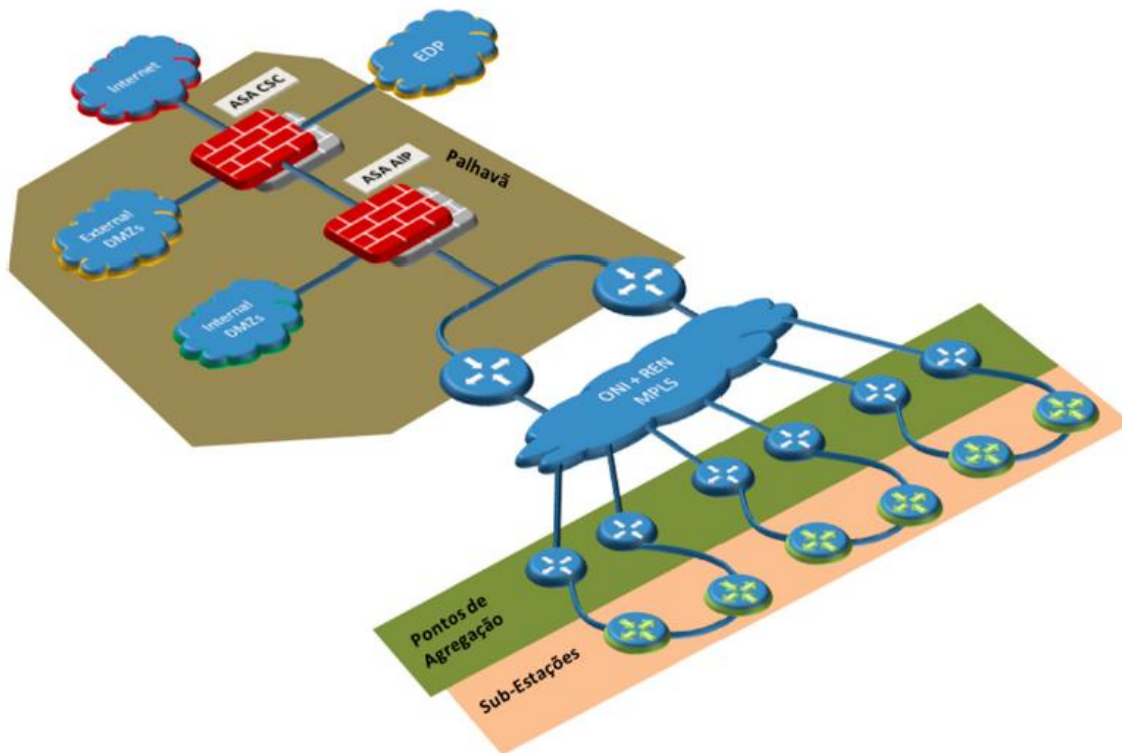


Figura xiv - Arquitectura da Rede Piloto IP/Ethernet Flexnet.

Os referidos equipamentos suportam os seguintes portos de comunicação:

- 10/100BaseT;
- Duais Gigabit-Ethernet (RJ45/SFP);
- SFP Fast Ethernet (FE);
- 10/100 Base-TX/PoE

A rede tem uma arquitectura baseada em anel, sendo utilizado o protocolo REP (Resilient Ethernet Protocol) para reconfiguração automática da rede em caso de quebra de ligação, menos de 50ms.

Anexo A.8 - Caracterização de avarias de cabos de fibras da EDP Distribuição

Tabela x - Listagem de avarias em cabos de fibras ópticas da rede da EDPD ocorridas/resolvidas no período 2010-2014.

I	Designação da ligação	Área Geográfica	Tipo de cabo avariado (OPGW/ADSS/Conduta/Microcabl e)	Tipo de cabo utilizado na reparação (OPGW/ADSS/Conduta/Microcable)	Comprimento cabo necessário (m)	Reparação (Imediata/Desfasada)
1	Sertã-Venda Nova	DRCM	ADSS	ADSS	20000	Desfasada
2	Chaves - Morgade	DRCN	ADSS	ADSS	8905	Desfasada
3	Olho de Boi - Almourol	DRCT	ADSS	ADSS	7700	Desfasada
4	PS Faro-SE Braciais	DRCS	ADSS	-	4500	Desfasada
5	Belmonte-Sabugal	DRCM	ADSS	ADSS	3180	Desfasada
6	Chaves - Morgade	DRCN	ADSS	ADSS	2780	Desfasada
7	Carenque-Rio Mouro-Trajouce	DRCL	ADSS	ADSS	2770	Desfasada
8	Albufeira-Tunes	DRCS	ADSS	ADSS	2113	Desfasada
9	Trancoso-Pinhel	DRCM	ADSS	ADSS	2100	Desfasada
10	Cabeda - Fanhões	DRCL	ADSS	ADSS	1840	Desfasada
11	Tocha-Cantanhede	DRCM	ADSS	ADSS	1244	Desfasada
12	Derivação-Seixinhos(Apoio 41)	DRCN	OPGW	OPGW	1135	Desfasada
13	SE Ponte-Optimus Braga	DRCN	Conduta	Conduta	1000	Desfasada
14	Tondela-Vila Chã	DRCM	ADSS	ADSS	970	Desfasada
15	Almodôvar-Loulé (Ameixial)	DRCS	ADSS	ADSS	786	Desfasada
16	Loures - Optimus	DRCL	ADSS	ADSS	780	Desfasada
17	Cantanhede-Mira	DRCM	ADSS	ADSS	700	Desfasada
18	Carrascas-Algeruz	DRCS	ADSS	ADSS	700	Desfasada
19	Belmonte - Sabugal	DRCM	ADSS	ADSS / 24 fibras	660	Imediata
20	Moita-Montijo	DRCS	ADSS	ADSS	654	Desfasada
21	Maceira-der. S.Jorge/Batalha	DRCT	ADSS	ADSS	512	Desfasada
22	ORBACEM-VALENÇA/FRANCE	DRCN	ADSS	ADSS	510	Desfasada
23	Ranha - Transgás	DRCT	ADSS	ADSS	360	Desfasada
24	Abogalheira-pe Abogalheira	DRCN	Conduta	Conduta - 48F	300	Desfasada
25	Lamações-Braga	DRCN	Conduta	Conduta - 48F	250	Desfasada
26	Rua do Brasil-PT Açude (Coimbra)	DRCM	Microcable	Conduta	200	Imediata
27	ERM-ANTAS I (2012)7	DRCP	Conduta	Conduta - 48F	150	Desfasada
28	SE CLR-SE TRC-PC TRC REAB	DRCM	ADSS	OPGW / 48 fibras	150	Desfasada
29	Vitoria-Camões	DRCP	Conduta	Conduta - 24F	120	Desfasada
30	CARRASCAL - REN - P ALTO	DRCT	ADSS	ADSS	100	Imediata
31	Rio Mondego, na Av. Cidade de Aeminium, em Coimbra	DRCM	Microcable	Microcable	100	Desfasada
32	SE CLR-SE TRC-PC TRC REAB	DRCM	ADSS	Conduta 48 Fibras	53	Desfasada
33	Amieira-Circunvalação	DRCP	Conduta	Conduta - 24F	45	Imediata
34	Amieira-Circunvalação	DRCP	Conduta	Conduta - 48F	10	Imediata
35	SE Portimão-Loja Portimão	DRCS	Conduta	-	0	Desfasada
36	Sabugo - Alto Mira	DRCL	ADSS	-	0	Desfasada
37	SE CARRASCAL-SE PORTO ALTO	DRCT	ADSS	NÃO UTILIZADO	0	Desfasada
38	SE CARRASCAL-SE REN P ALTO	DRCT	ADSS	NÃO UTILIZADO	0	Desfasada
39	ENTRONCAMENTO - S BENTO	DRCT	ADSS	NÃO UTILIZADO	0	Desfasada
40	Bruceira - Povoia (Central)	DRCT	ADSS	NÃO UTILIZADO	0	Desfasada
41	FO LAAT 6514 AP 289(Manga)MaranhãoAlc	DRCT	ADSS	NÃO UTILIZADO	0	Desfasada
42	LAIMT 30 (APOIO PART) FONTAL-MOCH	DRCT	ADSS	NÃO UTILIZADO	0	Desfasada
43	Maia-SCBispo	DRCP	OPGW	-	0	Desfasada
44	SCBispo-ANA	DRCP	Conduta	-	0	Desfasada
45	SE Espinho-Vilar Paraíso	DRCP	OPGW	-	0	Desfasada
46	Vitória-Camões	DRCP	Conduta	-	0	Desfasada
47	Vila do Conde-Mosteiró/Latogal	DRCP	OPGW	-	0	Desfasada
48	Braga-Lamações	DRCN	Conduta	-	0	Desfasada
49	Gaia-El Corte Inglés	DRCP	Conduta	-	0	Desfasada
50	AS João-Arregaça	DRCM	Microcable	-	0	Desfasada
51	CD Aveiro-PC Car. Guimarães	DRCP	Conduta	-	0	Desfasada
52	SE Castelo Branco-PT Granja	DRCM	Conduta	-	0	Desfasada
53	Cela-Turquel	DRCT	ADSS	-	0	Desfasada
54	Santa Clara - Alfarelos	DRCM	OPGW	-	0	Desfasada
55	Coima-S. Sebastião	DRCS	ADSS	-	0	Desfasada
56	Moita-Coima	DRCS	ADSS	-	0	Desfasada
57	Loulé-Tavira	DRCS	ADSS	-	0	Desfasada
58	Ponto Sor - Olho de Boi	DRCT	ADSS	-	0	Desfasada
59	Vale Tejo - Cheganças	DRCT	ADSS	-	0	Desfasada
60	Barragem do Racheiro- Nisa	DRCT	ADSS	-	0	Desfasada
61	SE PERO PINHEIRO / SE JANAS	DRCS	ADSS	ADSS	262	Imediata
62	SE RANHOLAS / RPT SINTRA	DRCL	ADSS	ADSS	315	Imediata
63	SE NORTE / PALHAVÁ	DRCL	ADSS	ADSS	550	Desfasada
64	SE LUZ	DRCL	ADSS	ADSS	55	Desfasada
65	SE ENTRECAMPOS / SE ORIENTAL	DRCL	ADSS	ADSS	120	Imediata
66	SE RANHOLAS / CHÃO DE MENINOS	DRCL	ADSS	ADSS	165	Desfasada
67	SE Ferreira - SE Beja	DRCS	ADSS	ADSS	300	Imediata
68	SE REN Sines - SE Monte Feio	DRCS	ADSS	ADSS	500	Desfasada
69	SE Faro ao PTD FAR 64 Mobil (alteração traçado)	DRCS	ADSS	ADSS	260	Desfasada
70	SE Loulé-SE Tavira, vão p43-p56 e p87-p91 da LI60-122	DRCS	ADSS 24 fibras	ADSS	2100	Desfasada
71	Troço p48 da LI60-136 Castro Marim-PTD VRS 148 Golf Monte Rei	DRCS	Figura 8	ADSS	1452	Desfasada
72	Vão P15/P16 da LN60-51 Tunes-Albufeiral	DRCS	ADSS	ADSS	400	Imediata
73	P10, LI 60-56 Albufeira-Montechoro	DRCS	ADSS	ADSS 48 FO	20	Imediata
74	Troço SE 60-9036 Almansil-PTD LLE 694 Condra	DRCS	Conduta	Conduta 48 FO	0	Imediata (1 cx)
75	LN60 0130-Algeruz-Pegões	DRCS	OPGW	Manga de reparação	0	2 Dias
76	LN60 6286	DRCS	ADSS 24 FO	Aguarda reparação	0	-
77	LI60 0158	DRCS	ADSS 24 FO	ADSS 24 FO	475	10 dias
78	SE Montijo - PS Form Montijo	DRCS	ADSS 24 FO	caixa de fusões	0	Imediato
79	LI60 066 Coima - mata	DRCS	conduta 48 FO	conduta 48 FO	150	15 dias
80	LI60 07 01 Coima - SE Barreiro	DRCS	ADSS 24 FO	ADSS 24 FO	340	10 dias
81	SE Quimparque - SE Central do Barreiro	DRCS	conduta 48 FO	conduta 48 FO	600	Imediato
82	LN60 50 Moita - S. Francisco	DRCS	ADSS 48 FO	ADSS 48 FO	2670	15 dias
83	S. Francisco - SE Montijo	DRCS	Conduta 48 FO	Em análise	0	-

Anexo A.9 - Proposta de distribuição de Unidades de Teste Óptico

Tabela xi - Lista de Unidades de Teste Óptico propostas e respectiva caracterização.

Tipo de equipamento	Local	Distrito	Localização da Área a monitorizar
Servidor Principal	Lisboa (a definir)	Lisboa	
Servidor de Backup	Porto (a definir)	Porto	
Unidade de Teste Óptico	Braga	Braga	DRCN
Unidade de Teste Óptico	Ruivães	Braga	DRCN/DRCP
Unidade de Teste Óptico	Ermesinde	Porto	DRCP
Unidade de Teste Óptico	Aveiro	Aveiro	DRCP
Unidade de Teste Óptico	Alto S. João	Coimbra	DRCM
Unidade de Teste Óptico	Andrinos	Leiria	DRCT
Unidade de Teste Óptico	Carenque	Lisboa	DRCL
Unidade de Teste Óptico	Palhavã	Lisboa	DRCL
Unidade de Teste Óptico	Moscavide	Lisboa	DRCL
Unidade de Teste Óptico	Trajouce	Lisboa	DRCL
Unidade de Teste Óptico	Coina	Setúbal	DRCS
Unidade de Teste Óptico	Évora	Évora	DRCS
Unidade de Teste Óptico	Loulé	Faro	DRCS
Unidade de Teste Óptico	Pracana	Portalegre	DRCT/DRCM
Unidade de Teste Óptico	Seia	Viseu	DRCM
Unidade de Teste Óptico	Varosa	Viseu	DRCM/DRCN

Anexo A.10 - Ficha de manutenção preventiva sistemática revista

Tabela xii - Extracto de ficha de manutenção preventiva sistemática a sistemas de fibras ópticas, actuando directamente sobre a sua terminação (repartidores ópticos).

III- ENSAIOS E CORRECÇÃO DE ANOMALIAS – VERIFICAÇÕES POR CADA REPARTIDOR (ODF)

Local: _____ Identificação do repartidor: _____ Direcção: _____

EQUIPAMENTO	DESCRIÇÃO	VERIFICAÇÃO		CORRECÇÃO EFECTUADA? (S/N)	OBS.
		OK	NOK		
REPARTIDOR	Verificação da fixação				
	Verificação de etiqueta de identificação				
	Actualização do dossier de encaminhamentos				
	Limpeza interior (se necessário)				
PIGTAILS	Eventuais vestígios de danos provocados por roedores				
ADAPTADORES	Verificação de estado e fixação				
	Verificação de existência de tampas protectoras				
	Limpeza dos adaptadores disponíveis				
CORDÕES	Vestígios de danos (substituição caso necessário)				
	Verificação de conexão de adaptadores				
	Arrumação interna (atenção ao fecho da porta do bastidor)				
ENSAIOS(*)	Aquisição com OTDR (a 1310, 1525 e 1625nm)				
	Análise de trace obtido (performance de adaptadores e ligação total)				
	Registo para suporte digital				

(*) Ver documento "Recomendações para execução de ensaios de recepção de ligações ópticas"

RESUMO de OBSERVAÇÕES / ANOMALIAS DETECTADAS

Fibra nº	Distância à origem (m)	Localização (repartidor/ junta/outro)	Atenuação (dB)			Causa provável	Corrigido? (S/N)
			1310nm	1550nm	1625nm		

Anexo A.11 - Conceitos de Manutenção

As intervenções de manutenção podem ser, essencialmente, de duas naturezas:

- Manutenção Correctiva, no caso das falhas casuais e imprevisíveis;
- Manutenção Preventiva, no caso de degradação progressiva.

Podemos generalizar e descrever as diferentes formas de manutenção na Figura xv.

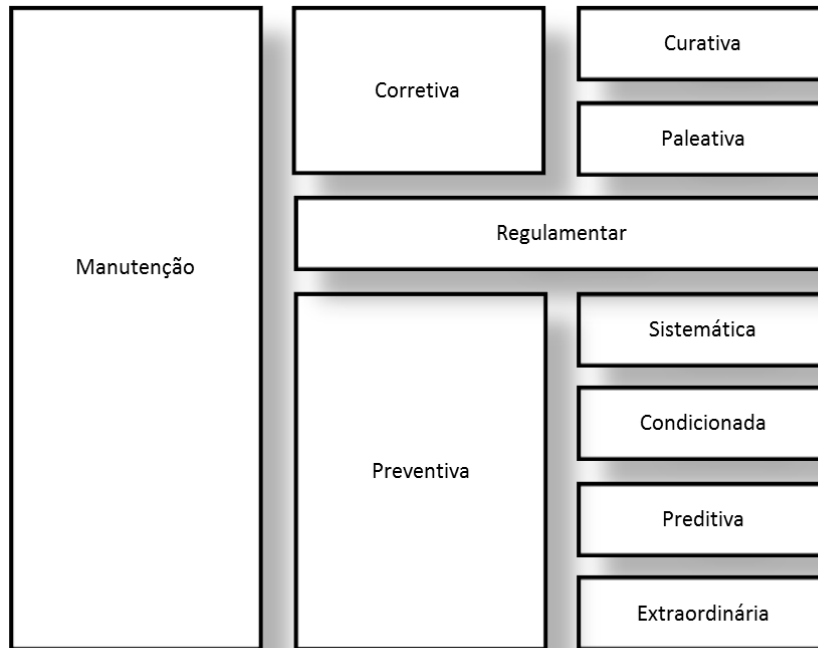


Figura xv - Formas de manutenção [12].

Manutenção correctiva

A manutenção correctiva é o tipo de manutenção que é efectuada após a constatação de uma anomalia num sistema com o objectivo de restabelecer as condições que lhe permitam cumprir a sua missão [12]. A intervenção associada pode ser, ou não, planeada, consoante a forma como a anomalia se manifesta (se de forma catastrófica ou progressiva). Distinguem-se ainda dois tipos de manutenção correctiva que diferem quanto ao seu objectivo:

- **Manutenção Correctiva Paliativa:** intervenção no momento da avaria, cujo objectivo é repor [...] a função do activo, no mais curto espaço de tempo. Pode ser entendida como uma reparação provisória mas que não garante a reposição da condição técnica do sistema, ficando este limitado ao nível das suas funções [14].

- **Manutenção Correctiva Curativa:** intervenção normalmente realizada numa data posterior à avaria, de forma programada, e visa repor de forma definitiva a condição do sistema.

Tabela xiii - Vantagens e desvantagens da manutenção correctiva [24].

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo (pelo menos aparente)	Custo acrescido devido a indisponibilidade não planeada dos equipamentos
Menos recursos humanos	Aumento de custos de mão-de-obra, principalmente se houver lugar a horas extras
	Custos envolvidos com reparação ou substituição do equipamento avariado
	Uso ineficiente de recursos humanos

Na Tabela xiii é apresentada uma comparação entre as vantagens e desvantagens de uma manutenção puramente correctiva (ou reactiva).

Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é sempre planeada, podendo ser sistemática ou condicionada. O objectivo da manutenção preventiva é de reduzir a probabilidade de falha.

- **Manutenção preventiva sistemática:** intervenções a desencadear periodicamente (ou após um órgão atingir um determinado limite de idade), com base no conhecimento da lei de degradação aplicável a cada caso e do risco de falha assumido [12].
- **Manutenção preventiva condicionada:** intervenções que se desencadeiam no fim da vida útil dos componentes – momento que é possível prever, medindo as tendências dos parâmetros que reflectem a sua degradação através de técnicas de controlo de condição (análise de vibrações, temperaturas, contaminantes nos óleos, etc.) [12].
- **Manutenção preditiva:** a monitorização periódica dos sistemas, com base nas inspecções visuais e ensaios, ou permanente, recorrendo a sistemas de monitorização em tempo real, deve permitir avaliar a condição técnica dos mesmos (aplicar modelos) e com base nos sintomas apresentados, tipo de sistema e dimensões dos danos, podermos prever como os sistemas vão evoluir [14]. Com base no cruzamento dos dados (dados dos ensaios + dados históricos + condição do activo) poderemos prever o momento ideal para efectuar as intervenções na altura óptima.
- **Manutenção Extraordinária:** as acções de manutenção extraordinária são consideradas intervenções de longo prazo, ocorrendo durante a vida útil do sistema sobre o qual incidem, o número de vezes definido pelo fabricante, e não aumentam a vida útil do sistema. São normalmente de custo materialmente relevante e são usualmente recomendadas pelo fabricante, com base no tempo de funcionamento ou na utilização, visando assegurar o bom desempenho do sistema ao longo da sua vida útil.

Tabela xiv - Vantagens e desvantagens da manutenção preventiva sistemática [24].

Vantagens	Desvantagens
Facilidade de implementação	Não evita a ocorrência de falhas catastróficas
Flexibilidade permite o ajuste da periodicidade de manutenção	Requisitos altos de mão-de-obra
Aumento do tempo de vida útil do equipamento	Inclui execução de manutenção que não era efectivamente necessária
Redução de falhas de sistemas ou processos	Potencial de danificação acidental de componentes aquando de realização de manutenção desnecessária
Estimativa de redução de 12 a 18% de custos comparativamente a filosofia de manutenção reactiva	

Na Tabela xiv é apresentada uma comparação entre as vantagens e desvantagens de uma manutenção apoiada na filosofia preventiva.

Na Tabela xv é apresentada uma comparação entre as vantagens e desvantagens de uma manutenção preditiva.

Tabela xv - Vantagens e desvantagens da manutenção preditiva [24].

Vantagens	Desvantagens
Aumento da disponibilidade/tempo de vida operacional dos equipamentos	Aumento de custos com sistemas de monitorização em tempo real
Permite intervenções correctivas preventivas	Aumento de custos com formação de pessoal
Redução de custos com peças e mão-de-obra	Potenciais de poupança nem sempre prontamente vistos pelos Gestores
Segurança de pessoas e bens melhorada	
Aumento da moral dos técnicos	
Redução de consumos de energia	
Estimativa de redução de 8 a 12% de custos em relação a manutenção preventiva sistemática	

Anexo A.12 - Proposta de procedimentos de actuação em caso de avaria

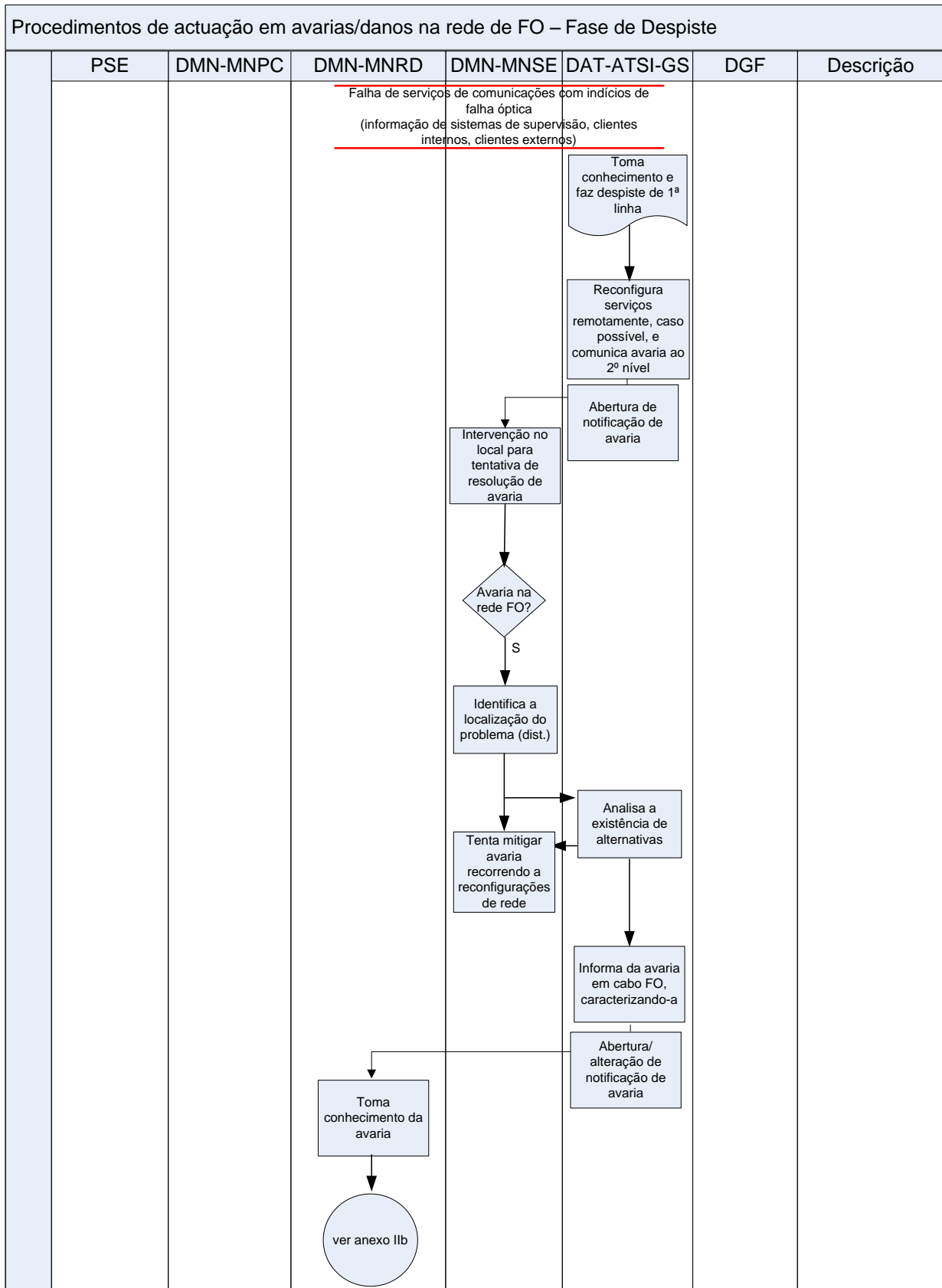


Figura xvi - Processo de resolução de avarias em cabos de fibras ópticas da EDPD – fase de despiste e mitigação.

Procedimentos de actuação em avarias/danos na rede de FO – Fase de Resolução

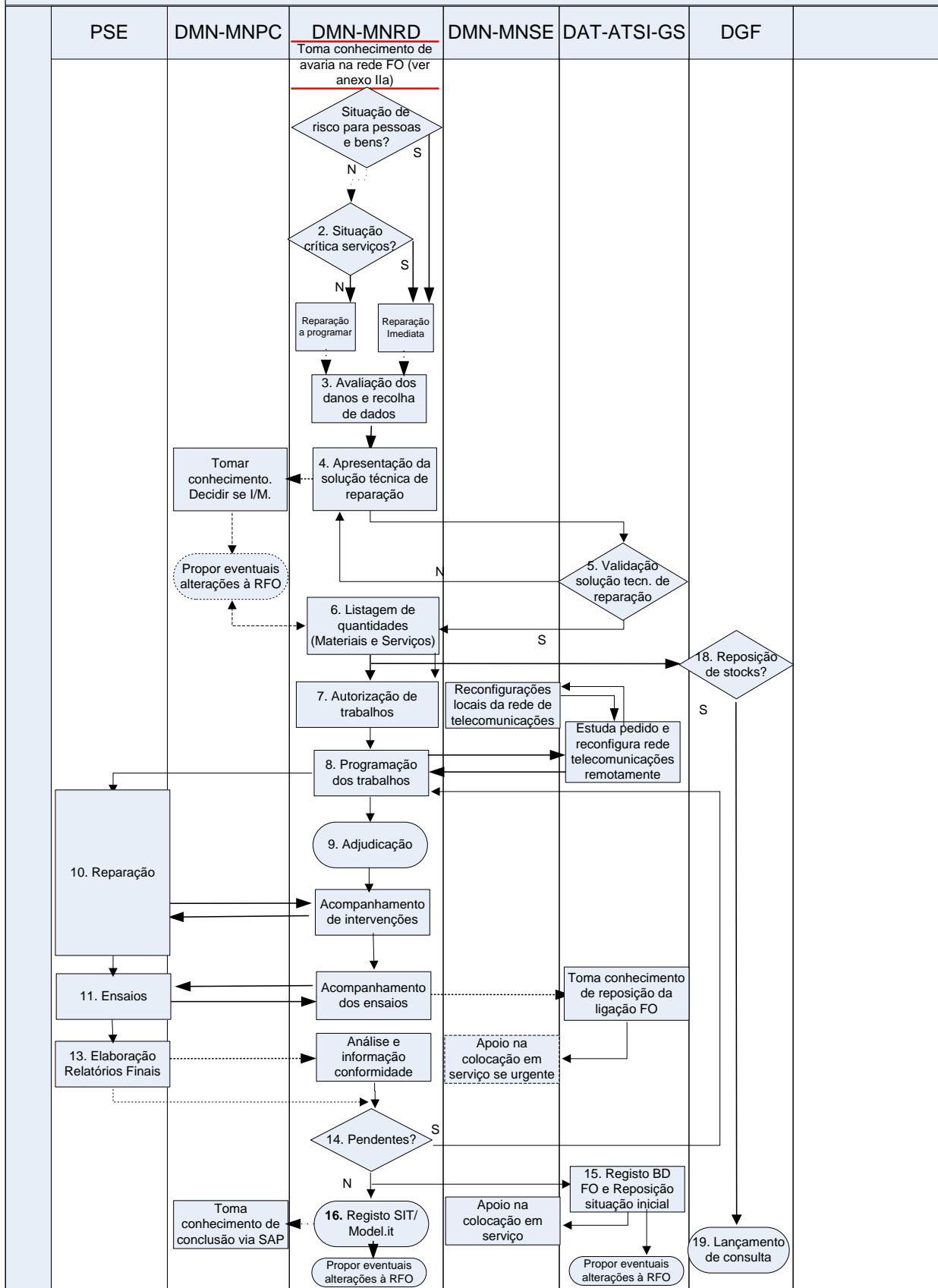


Figura xvii - Processo de resolução de avarias em cabos de fibras ópticas da EDPD – fase de resolução

Anexo A.13 – Proposta de Ficha de apoio ao comissionamento de novas ligações

Tabela xvi - Ficha de apoio ao comissionamento de novas ligações de Fibras Óptica da EDPD.

Verificações no acto de recepção	Requisito	Conforme? (S/N)
Conformidade dos materiais em relação ao homologado pela EDP		
<ul style="list-style-type: none"> cabos de conduta 	mh	
<ul style="list-style-type: none"> módulo de excesso de patch-cords 	mh	
<ul style="list-style-type: none"> repartidores ópticos (ODFs) e respectivos adaptadores 	mh conector SC/APC cerâmica de zircónia	
<ul style="list-style-type: none"> caixas de fusão 	mh Tipo terminal na SE Tipo derivação na linha	
Conformidade de execução		
<ul style="list-style-type: none"> existência de folgas de cabos no bastidor/fundo falso 	10-20m	
<ul style="list-style-type: none"> protecção de cabos nas caleiras do parque de linhas 	Com tubo PEAD 40mm	
<ul style="list-style-type: none"> protecção de cabos na subida a pórticos 	c/ tubo galvanizado 0,8m Manga termorretrátil	
<ul style="list-style-type: none"> identificação dos cabos FO nas caleiras da SE e no bastidor 	Etiquetas "Cuidado-FO" de 10 em 10m e nas mudanças de direcção	
<ul style="list-style-type: none"> folga no pórtico 	20m no total (10m OPGW/10m dieléctrico)	
<ul style="list-style-type: none"> quantidade folga de cabo nos apoios intermédios 	min. suficiente para chegar ao solo + 15m (de cada lado)	
<ul style="list-style-type: none"> raio de curvatura das folgas 	De acordo com as especificações dos cabos	
<ul style="list-style-type: none"> identificação do repartidor óptico 	Com etiqueta autocolante com nome de destino da ligação FO	

Performance óptica (ensaios ópticos)		
<ul style="list-style-type: none"> reflectometria óptica (OTDR), em todas as fibras, nos dois sentidos, nos dois comprimentos de onda (1310, 1550nm); 	Em todas as fibras Nos dois sentidos A 1310 e 1550nm	
<ul style="list-style-type: none"> verificação/ajuste dos settings do OTDR por forma a que se adequem às características da fibra e ligação óptica a testar; 	Largura de pulso Distância Tempo de aquisição IOR	
<ul style="list-style-type: none"> verificação de conformidades de performance (atenuação em dB) de juntas (fusões) com OTDR 	0,2 dB máx. unidireccional/ 0,1 dB máx. em média	
<ul style="list-style-type: none"> verificação de nível e forma de saída de potência de adaptadores ópticos (análise de trace OTDR) 	Similar entre adaptadores Respeitando a curva típica	
<ul style="list-style-type: none"> verificação de uniformidade de atenuação nos vários troços da ligação; 	< 0,4 dB/km a 1310nm < 0,25 dB/km a 1550nm	
<ul style="list-style-type: none"> verificação da conformidade de equipamento de teste e medida (calibração) 	Selo/Doc. de entidade Data de validade	
<ul style="list-style-type: none"> atenuação total (potência) 	Em todas as fibras Nos dois sentidos A 1310m e 1550nm < Perda máxima teórica	
<ul style="list-style-type: none"> verificação de continuidade óptica ponto-a-ponto; 	Inexistência de troca de fibras	
Obtenção de dados necessários ao relatório final		
Registos de códigos de cores, designação de cabos, localização de caixas de junção, ficheiros de medidas OTDR (e respectivo software de leitura), tabelas de atenuação total, tabelas de perda por junta, etc.	Em formato digital	

* mh – modelo homologado pela EDP

Anexo A.14 - Rede de cabos de Fibras Ópticas da EDPD
EDP Distribuição, Energia – Rede de Fibra Óptica

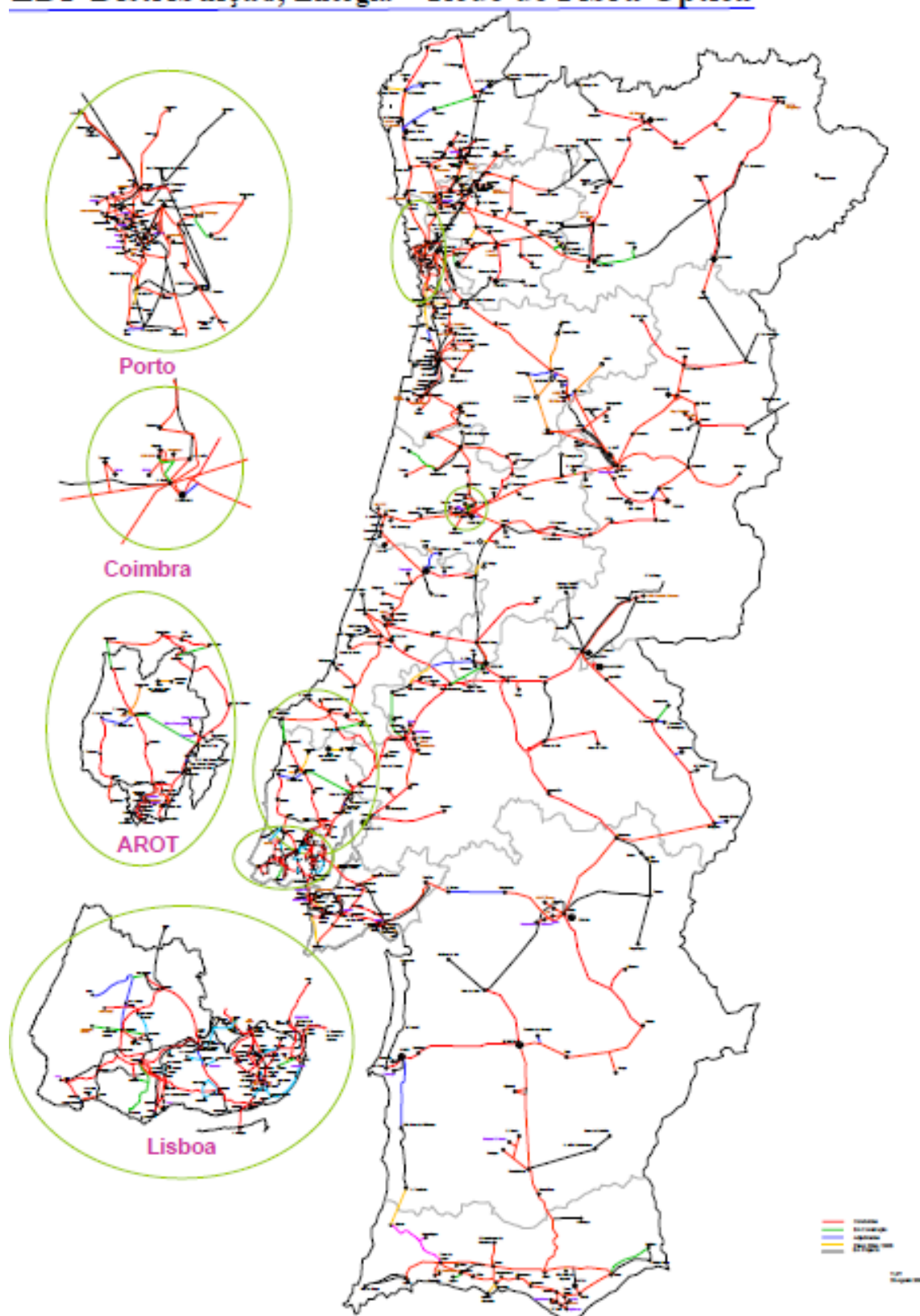


Figura xviii - Rede de cabos de fibras ópticas da EDP Distribuição

Anexo A.15 - Cabos de fibras ópticas em uso na EDP Distribuição

A.15.1 - OPGW

O cabo OPGW (Optical Power Ground Wire) é um cabo de guarda utilizado pelas utilities de electricidade, o qual pode ser encontrado no topo das torres das linhas de alta tensão como forma de protecção destas linhas contra descargas atmosféricas, e que possui fibras ópticas inseridas num tubo oco localizado no interior do mesmo [4]. A Figura xix apresenta o aspecto de uma ligação fundamentalmente baseada neste tipo de cabo para interligar duas subestações eléctricas.

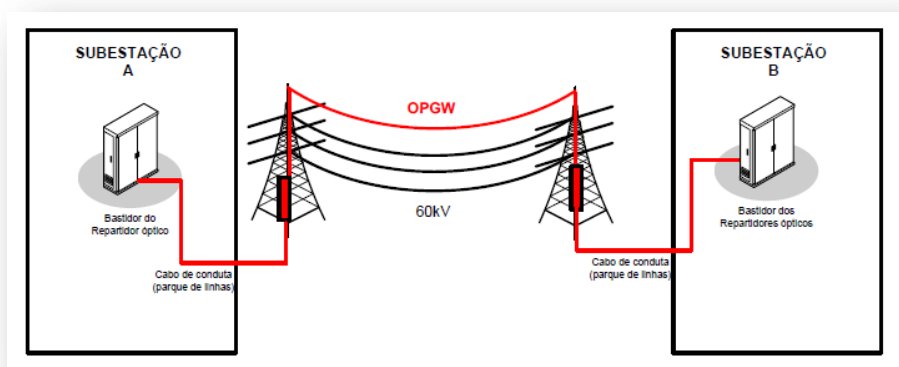


Figura xix - Esboço de uma ligação baseada em cabo OPGW sobre uma alinha AT.

O cabo OPGW baseia-se na constituição de um cabo de guarda tradicional, com a particularidade de um dos seus fios condutores ser substituído por um tubo de aço-inox oco que, no caso das utilizações na rede da EDPD, usualmente contém 12, 24, 30 ou 48 fibras ópticas no seu interior. A Figura xx apresenta o aspecto de um cabo tipo OPGW, cujo corte longitudinal é apresentado na Figura xxi.

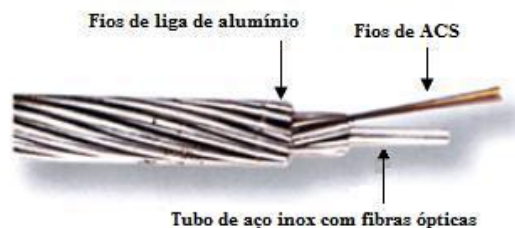


Figura xx - Aspecto de um cabo tipo OPGW.

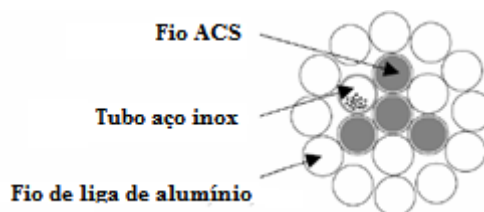


Figura xxi - Corte longitudinal de um cabo OPGW.

Os principais fornecedores dos cabos OPGW em operação na rede da EDPD são os grupos Cabelte, Quintas & Quintas, Corning e NKT.

A opção pela utilização de um cabo do tipo OPGW existe quando se constrói uma linha aérea de AT de raiz ou quando, por questões técnicas ou de estratégia de expansão da rede de fibras ópticas, se decide pela substituição do cabo de guarda. Neste último cenário terá que se ter em conta que terá que ser possível a consignação (desligamento) da linha para possibilitar a tarefa de instalação do cabo OPGW. Uma vez que o cabo OPGW é normalmente mais pesado do que um cabo de guarda normal, nestes casos é muito comum haver a necessidade também de substituir alguns dos apoios das linhas para que a mesma possa suportar o novo cabo.

As características dos cabos OPGW neste momento a serem adquiridos para a rede da EDP foram definidas no documento de definição de requisitos técnicos criado em co-autoria pelo autor desta dissertação, e o qual é referido em [25]. Este documento é disponibilizado aos fornecedores nos processos de consulta para aquisição deste tipo de cabos.

A.15.2 - ADSS

O cabo tipo ADSS (All-Dielectric Self-Supporting), tal como o seu próprio nome indica, é um cabo totalmente dielétrico, e o qual não requer a utilização de uma guia externa para ser suportado nas linhas aéreas. Este tipo de cabo é construído com um elemento tensor central extremamente resistente – normalmente plástico reforçado a fibra de vidro (FRP) - e uma cobertura que confere igualmente elevada resistência à tracção - usualmente constituída por

aramida (Kevlar) - que conferem ao cabo a capacidade de suportar o seu próprio peso e outras tensões externas (nomeadamente ventos, gelo e reboque) durante e após a sua instalação. São normalmente utilizados para instalação em linhas aéreas de alta e média tensão (AT e MT) recorrendo a pinças de amarração especiais [4]. Por ser totalmente dieléctrico, este tipo de cabo pode ser instalado directamente por baixo dos condutores daquelas linhas, a distâncias que rondam 1m destes. Na Figura xxii é apresentado esboço de uma ligação óptica em ADSS entre duas subestações.

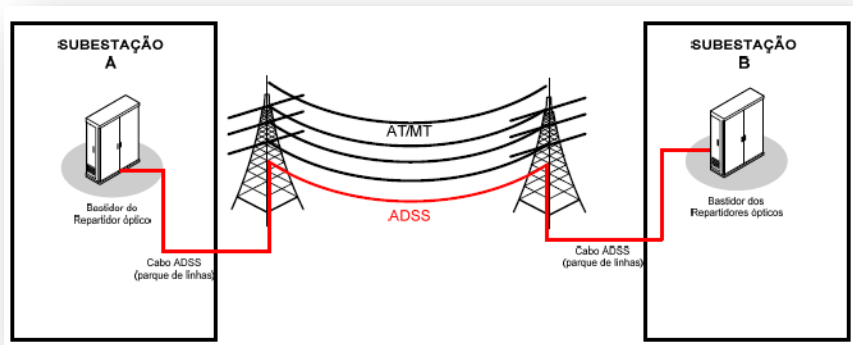


Figura xxii - Esboço de uma ligação óptica baseada em cabo ADSS apoiado numa linha AT/MT.

Na Figura xxiii e Figura xxiv são apresentados aspectos constituintes de cabo ADSS.



Figura xxiii - Aspecto de um cabo tipo ADSS.

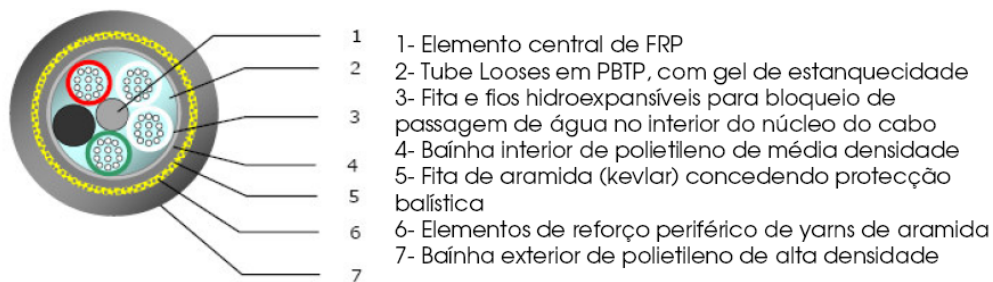


Figura xxiv - Perfil com a constituição de um cabo ADSS.

Tendo em conta que, pela sua constituição e posicionamento nas linhas aéreas, este cabo está muito mais susceptível a ser danificado por agentes externos - como por exemplo incêndios, tiros de caçadeira e ventos fortes – do que por exemplo um cabo do tipo OPGW, a opção recai sobre os cabos ADSS apenas quando a linha a dotar de cabos de fibras ópticas não poderá ser desligada durante o processo de instalação e, conseqüentemente, não poderão ser utilizados outros tipos de cabos, como o OPGW.

Os principais fornecedores dos cabos ADSS em operação na rede da EDPD são os grupos Cabelte, Quintas e Quintas (cabo marca Samsung) e Telnet.

As características dos cabos ADSS neste momento a serem adquiridos para a rede da EDP foram definidas no documento de definição de requisitos técnicos criado em co-autoria pelo autor desta dissertação, e o qual é referido em [26]. Este documento é disponibilizado aos fornecedores nos processos de consulta para aquisição de cabos tipo ADSS.

A.15.3 - Dielétrico de conduta

O tipo de cabo dielétrico de conduta foi desenhado com o principal objectivo de ser instalado em redes de conduta no exterior. É constituído por um número de tubos ocios contendo fibras soltas no seu interior (tube-loose), tubos estes que circundam um tensor central, e estão protegidos no seu global por bainhas de protecção mecânica e anti-roedor [4].

Embora a capacidade destes cabos possa ir de meia dúzia a cerca de 200 fibras, os cabos dielétricos de conduta normalizados na EDP possuem tipicamente 12, 24 e 48 fibras ópticas.

No caso da EDP, este tipo de cabo tem vindo a ser utilizado para interligar edifícios administrativos ou subestações no interior de grandes cidades, em que as redes eléctricas são maioritariamente subterrâneas, e ainda para efectuar a transição de cabos OPGW para o interior de subestações. Apesar de numa fase inicial a EDPD ter chegado a adquirir cabos de conduta contendo elementos metálicos, depressa se apercebeu que, tendo em conta a

frequente necessidade desses cabos serem instalados no interior de instalações de alta e média tensão, haveriam enormes vantagens, principalmente do ponto de vista da segurança de pessoas e bens, pela opção de cabos constituídos totalmente por elementos dielétricos.

Na Figura xxv é apresentado um exemplo de constituição deste tipo de cabo.

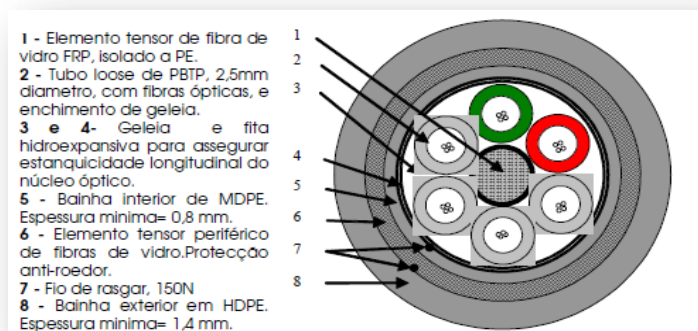


Figura xxv - Constituição de um cabo de fibras ópticas tipo dielétrico de conduta.

Os principais fornecedores deste tipo de cabo para a EDPD são os grupos Cabelte, Quintas e Quintas (cabos Samsung), Corning, Telnet e Draka.

As características dos cabos dielétricos de conduta neste momento a serem adquiridos para a rede da EDP foram definidas no documento de definição de requisitos técnicos criado em co-autoria pelo autor desta dissertação, e o qual é referido em [27]. Este documento é disponibilizado aos fornecedores nos processos de consulta para aquisição deste tipo de cabos.

A.15.4 - Outros tipos de cabo

Existem ainda outros tipos de cabos utilizados, ainda que com pouca expressão, nas redes da EDPD. São estes os tipos de cabos MicrocableTM e “Figura 8”.

O cabo tipo MicrocableTM é um cabo patenteado pela empresa Corning e consiste num único tubo de cobre oco onde são alojadas as fibras ópticas. O objectivo deste cabo é ser utilizado para instalação num rasgo efectuado no asfalto das vias públicas, o que permite evitar o tempo e os custos necessários para construir infra-estruturas dedicadas ao suporte de cabo de comunicações. Por outro lado, pelas características da instalação atrás referidas, este cabo torna-se altamente susceptível a avarias causadas por intervenção humana em redes adjacentes

(águas, gás, electricidade, telefones, etc.) o que torna pouco apetecível a sua utilização num país onde não se prima pelo ou não se presta atenção ao cadastro das redes subterrâneas. Na Figura xxvi é apresentado o aspecto deste cabo.



Figura xxvi - Aspecto do cabo tipo Microcable™.

O cabo do tipo “Figura 8” é um cabo idêntico ao cabo de conduta com a particularidade de possuir associado uma guia que serve de suporte ao cabo nas instalações aéreas. Tendo em conta o vão máximo permitido para a instalação deste tipo de cabos, este é utilizado na rede da EDPD em situações muito particulares em que se utiliza a rede de baixa tensão (BT) para suporte ao cabo de fibras ópticas. Nestas incluem-se a ligação entre edifícios EDP em pequenas vilas ou cidades e as ligações ópticas de operadores de redes de telecomunicações que utilizam a rede BT da EDPD como suporte. Na Figura xxvii é apresentada constituição de um cabo tipo “Figura 8”.

- 1 - Elemento de suspensão - tensor de fibra de vidro (FRP 4,0 mm)
- 2 - Septo
- 3 - Tensor central de fibra de vidro, isolado com uma camada de polietileno
- 4 - Tubo loose de PBTP, 2,5mm, com fibras ópticas, e enchimento de geleia.
- 5 e 6 - Interstícios preenchidos com geleia e fita hidroexpansiva para assegurar estanquicidade longitudinal do núcleo óptico.
- 7 - Fio de rasgar, 150N
- 8 - Bainha exterior de PE, MDPE.Esp. min.: 1,4mm - S/ cabo optico. 1,1mm - S/ cabo tensor.

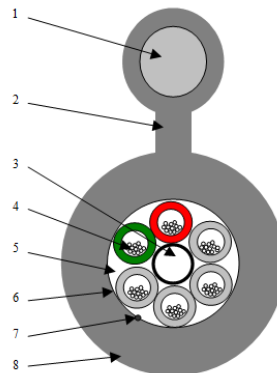


Figura xxvii - Perfil e constituição de um cabo tipo “Figura 8”.