

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Desenvolvimento de um Modelo de Cálculo para
Determinação do Índice de Saúde, Probabilidade
de Falha e Vida Restante de Linhas Aéreas AT e
MT**

Manuel Henrique Lourenço de Barros Alves

VERSÃO DEFINITIVA

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major de Energia

Orientador: Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos
Coorientador: Engenheiro João Vasco Gil da Silva Gomes Ferreira

25 de junho de 2018

© Manuel Alves, 2018

Resumo

A presente dissertação, desenvolvida no âmbito de um estágio realizado na empresa EDP Distribuição, propõe uma metodologia de cálculo do índice de saúde, probabilidade de falha e vida restante de linhas aéreas de alta e média tensão, com o propósito de contribuir, através da sua aplicação, para a melhoria do processo de gestão de risco de ativos da empresa, que tem por missão assegurar o abastecimento contínuo, com qualidade e segurança, de energia elétrica aos seus clientes.

Este trabalho apoiou-se no conhecimento sobre o *modus operandi* da EDP Distribuição, obtido no âmbito do estágio curricular, designadamente no trabalho prático, para compreender a constituição, o funcionamento, os modos de falha e suas causas raiz, os agentes externos possíveis de parametrizar e a sua correlação com a degradação física do ativo. Apoiou-se ainda, na consulta dos seus principais documentos orientadores, no que se refere à visão estratégica e políticas de gestão de ativos da empresa, no cadastro de ativos e na consulta bibliográfica sobre a temática, da qual se destaca a relativa à metodologia de cálculo aplicada pelo regulador britânico, OFGEM, aos Distribution Network Operators do Reino Unido.

A metodologia apresentada concretiza-se num algoritmo construído com base em algumas das práticas atuais da empresa, cruzando-as com a sustentação científica sobre o cálculo do índice de saúde e probabilidade de falha considerado na metodologia da OFGEM, aplicado às características da rede elétrica de distribuição aérea em alta e média tensão em Portugal continental. Por esta razão foi designada de metodologia híbrida.

Esta proposta de metodologia possui como mais valia, determinar a vida restante dos ativos de um troço de linha, o mais aproximado à realidade, permitindo à EDP Distribuição uma tomada de decisão sustentada, assertiva e atempada relativamente à reabilitação, continuidade ou abate físico dos ativos. Como inovação, introduz, no cálculo da probabilidade de falha, uma componente que quantifica os fatores externos que impactam diretamente cada ativo em função do índice de saúde.

Apresentam-se, por fim, demonstrações da aplicação da metodologia proposta para locais geograficamente dispersos em território nacional.

Abstract

The present dissertation, developed as part of an internship at EDP Distribuição, proposes a methodology for calculating the health index, probability of failure and remaining life of high and medium voltage overhead lines, with the purpose of contributing, through its application, to improve asset risk management of the company, whose mission is to ensure the continuous supply, with quality and safety, of electric energy to its customers.

*This work was based on the knowledge of the *modus operandi* of EDP Distribuição, obtained in the context of the curricular internship, namely through practical work, concerning the constitution, the operation, the failure modes and their root causes, the possible external agents able of parametrization and their correlation with the physical degradation of the asset. It was also supported, by consultation of the asset registry, of the company's main guidance documents, concerning the strategic vision and policies of asset management, and by bibliographic research on the subject, specially the methodology of calculation applied by the UK regulator, OFGEM, to the Distribution Network Operators (DSO's) of the United Kingdom.*

The presented methodology materializes in an algorithm constructed upon the current practices of the company, adding the scientific support off the health index and probability of failure calculation considered in the methodology of the OFGEM, adapted to the characteristics of the electrical network of distribution in high and medium voltage in mainland Portugal. Thus, it has been named as a hybrid methodology.

This methodology's main advantage it's accuracy in determining the remaining life of the assets of an overhead line segment, allowing EDP Distribuição to make sustained, assertive and timely decision, regarding of the rehabilitation, continuity or physical destruction of the assets. As innovation, it introduces, in the calculation of the probability of failure, a component that quantifies the external factors that directly impact each asset depending on health index.

Finally, we describe the application of the proposed methodology, in geographically dispersed sites in national territory.

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu mais sincero agradecimento a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram, não só durante a realização do presente trabalho, como também no meu desenvolvimento académico e pessoal.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, pela educação que me deram, pela compreensão incondicional, e pela perseverança. Por acreditarem que a educação e os valores são a maior conquista pessoal na sociedade contemporânea.

Ao meu orientador, professor Doutor José Eduardo Neves dos Santos, pela oportunidade, pela confiança depositada, o encorajamento e pelo tempo despendido durante este projeto.

Ao Eng. João Vasco Ferreira, meu coorientador, pela disponibilidade demonstrada, a troca de ideias, e a assertividade característica.

Ao Eng. António Rúben Neves, pela paciência incomparável e pela completa disponibilidade para as imensas dúvidas que me surgiram neste percurso.

A todas as pessoas com quem privei durante este semestre na EDP Distribuição, que me facilitaram a integração e me fizeram sentir à vontade.

Aos Srs. Manuel Tavares e Manuel Correia, eletricitas da área operacional do Porto, que me acompanharam nas idas ao terreno e me satisfizeram a enorme curiosidade da vertente prática.

Aos meus amigos de Viana, aos meus amigos e companheiros que tive o prazer de conhecer nestes cinco anos na cidade do Porto, e a todas as incríveis pessoas que tive a oportunidade de conhecer durante Erasmus, por todas os momentos e experiências vividos ao vosso lado.

Por fim, agradeço à Faculdade de Engenharia da Universidade e ao meu país, Portugal, pela formação que advém de ter nascido num estado democrático livre, que pela educação caminha para a justiça distributiva e igualdade de oportunidades.

Obrigado.

“To know nothing is the happiest life”

Desiderius Erasmus of Rotterdam

Índice

Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Breve descrição do grupo EDP	2
1.2 - Enquadramento dentro da Empresa	4
1.3 - Visão de Futuro.....	4
Capítulo 2	5
Generalidades sobre Linhas Aéreas de Alta e Média Tensão	5
2.1 - Aspetos Construtivos	5
2.2 - Apoios	6
2.2.1 - Armações ou Travessas.....	7
2.3 - Isoladores	11
2.3.1 - Materiais dos Isoladores.....	12
2.3.2 - Estrutura dos Isoladores.....	12
2.4 - Proteção Contra Sobretensões.....	14
2.5 - Condutores	15
2.6 - Cabo de Guarda	16
Capítulo 3	19
Caracterização Geral da Rede de Distribuição Aérea de Portugal Continental	19
3.1 - Dados Estatísticos - Evolução da Rede	21
3.2 - Evolução da rede, Objetivos e Perspetivas de Futuro.....	23
Capítulo 4	25
Análise de Incidentes na RND	25
4.1 - Incidentes nos Condutores	27
4.2 - Incidentes nos Apoios e Isoladores.....	29
4.3 - Conclusões	30
Capítulo 5	33
Gestão de Ativos nas Políticas de Manutenção	33
5.1 - Gestão de Ativos - Definição.....	33
5.2 - Gestão de Ativos baseada no risco na EDP Distribuição.....	33
5.3 - Normas ISO 55000:2014	36
5.4 - Manutenção	39
5.5 - Políticas de Manutenção da EDP Distribuição.....	39
5.6 - Procedimentos aplicados e seu enquadramento	41
Capítulo 6	43
Metodologia de Cálculo do Índice de Saúde - EDP Distribuição.....	43
6.1 - Metodologia de Cálculo do Índice de Criticidade de Redes AT e MT	44
6.2 - Considerações Finais	51
Capítulo 7	53
Metodologia OFGEM - DNO Common Network Asset Indices Methodology	53
7.1 - Índice de Saúde (Health Score).....	53
7.2 - Probabilidade de Falha (PoF - Probability of Failure)	54

7.3 - Cálculo do Índice de Saúde	56
7.4 - I - Cálculo do IS Inicial	57
7.5 - II - Modificação do IS inicial decorrente de informações medidas e observadas	60
Capítulo 8	63
Metodologia Híbrida Proposta	63
8.1 - Enquadramento	63
8.2 - Algoritmo.....	64
8.3 - I - Cálculo do IS Inicial	65
8.3.1 - Idade/Vida Normal Expectável.....	66
8.3.2 - Idade/Vida Expectável.....	67
8.3.3 - B1 - Taxa de Envelhecimento Inicial.....	73
8.4 - II - Modificação do IS Inicial.....	73
8.5 - III - Probabilidade de Falha (PoF)	76
8.6 - PoF de Fatores Externos.....	77
8.7 - Demonstração	80
8.7.1 - Índice de Saúde e Probabilidade de Falha.....	81
8.7.2 - Probabilidade de Falha dos Fatores Externos.....	86
Capítulo 9	89
Conclusões	89
9.1 - Síntese Conclusiva	90
9.2 - Perspetivas de Trabalho Futuro	91
Referências Bibliográficas.....	93
Anexo A - Algoritmo de Cálculo do Índice de Saúde, Vida Restante e Probabilidade de Falha Proposto.....	97
Anexo B - Exemplo de uma inspeção termográfica visual aérea.....	1
Anexo C - Índice Ceráunico	15
Anexo D - Índice Sísmico	19
Anexo E - Índice Eventos Atmosféricos Extremos	23

Lista de figuras

Figura 1.1 - Estruturação do Sistema Elétrico Português (SEE).	3
Figura 2.1 - Exemplo de tipos de apoios e armações.	7
Figura 2.2 - TAL	7
Figura 2.3 - GAL	8
Figura 2.4 - GAN	8
Figura 2.5 - HTP com PT aéreo.	9
Figura 2.6 - HRFSC com seccionador horizontal.	9
Figura 2.7 - VAL	10
Figura 2.8 - VAN, para efeito de fim de linha, transição aérea-subterrânea, com seccionador vertical e DST's por fase.	10
Figura 2.9 - EVDAL	11
Figura 2.10 - EVDAN	11
Figura 2.11 - Isoladores Rígidos.	12
Figura 2.12 - Isoladores de Cadeia.	13
Figura 2.13 - Cadeia de Suspensão, com hastes de descarga.	13
Figura 2.14 - Cadeia de Amarração, com hastes de descarga.	14
Figura 2.15 - Cabo de Liga de Alumínio (30 fios) - Aço (7 fios)[9].	16
Figura 2.16 - Ângulo de Proteção do cabo de guarda e exemplo de um condutor com pares de fibra ótica no seu núcleo.	17
Figura 3.1 - Caracterização da RND em MT e AT e distribuição da densidade de consumo [13].	20
Figura 3.2 - Esquemas de exploração do sistema em média tensão[14].	21
Figura 3.3 - Evolução da Extensão da RND aérea, MT e BT (ERSE e EDPD).	22
Figura 3.4 - Proporcionalidade Aérea vs. Subterrânea por nível de tensão.	22
Figura 3.5 - Idade e Tecnologia da Rede Aérea MT (DMN, 2016).	23
Figura 4.1 - Incidentes por comprimento e idade da linha[15].	26
Figura 4.2 - Incidentes por ativo simples constituinte.	26
Figura 4.3 - Incidentes em ligas de alumínio-aço, por idade (anos) e comprimento[15].	27

Figura 4.4 - Distribuição dos incidentes por secção do condutor de alumínio-aço, em percentagem[15].	28
Figura 4.5 - Distribuição dos incidentes por secção do condutor de alumínio-aço, em percentagem[15].	28
Figura 4.6 - Incidentes em ligas de cobre, por idade (anos) e comprimento[15].	29
Figura 4.7 - Distribuição dos incidentes por secção do condutor de cobre, em percentagem[15].	29
Figura 4.8 - Incidentes Apoios e Isoladores LAMT.	30
Figura 4.9 - Causas Raízes de interrupções de longa duração por idade do ativo[15].....	30
Figura 4.10 - Causas Raiz de Incidentes de longa duração afetos a condutores[15].	31
Figura 4.11 - Caracterização dos Modos de Falha que provocam interrupções de longa duração, por idade do ativo[15].	31
Figura 4.12 - Modos de Falha de Incidentes de longa duração[15].	31
Figura 5.1 - Universidade EDP - Perspetiva vertical da gestão de ativos na EDP Distribuição, Curso Gestão de Ativos, 21 setembro 2016 [16].	34
Figura 5.2 - Benefícios de um sistema de gestão de ativos [16].	34
Figura 5.3 - Direção de Manutenção - Planeamento e Controlo da Manutenção, 2012.....	35
Figura 5.4 - Estrutura de Processos segundo a ISO 55000 [16].	37
Figura 5.5 - Evolução da política de manutenção aplicada no setor elétrico de distribuição [21].	39
Figura 5.6 - Tipos de Manutenção aplicados pela EDP Distribuição [22].	40
Figura 6.1 - Ilustração da escolha da carteira de ativos[18]	43
Figura 6.2 - Composição do Índice de Falha e valorização de cada nível de valorização.	44
Figura 6.3 - Exemplo de uma anomalia, termografia pelo solo, ponto quente no ligador, MPS, LABELEC 2011.	48
Figura 6.4 - Matriz de Risco para Análise de Linhas Aéreas[18].	50
Figura 7.1 - Probabilidade de Falha associada ao índice de Saúde	54
Figura 7.2 - Cálculo do IS e PoF segundo a metodologia OFGEM, dividido em etapas.	57
Figura 7.3 - Evolução da PoF por IS, nas subdivisões dos apoios metálicos.	57
Figura 8.1 - Cálculo do IS e PoF dividido por etapas.	65
Figura 8.2 - Queda de apoios sob efeito do gelo, Guimarães, fevereiro 2018	69
Figura 8.3 - Mapa hipsométrico de Portugal continental (esq - [0 a 400m], centro - [400 a 700m], dir - [700 a 1600m])[32]	70

Figura 8.4 - Mapa Isocerámico de Portugal Continental (1951- 1990, IPMA) e respetiva repartição por concelhos.	72
Figura 8.5 - Distribuição do índice cerámico por concelho	73
Figura 8.6 - PoF Fatores de Impacto	79
Figura 8.7 - Mapa dos concelhos de Portugal onde os ativos desta demonstração se inserem.	81

Lista de tabelas

Tabela 1 - Ponderações da metodologia em uso.	45
Tabela 2 - Fatores Externos Impactantes.....	49
Tabela 3 - Constantes Probabilísticas.	54
Tabela 4 - Subcategorias consideradas como falhas funcionais.	55
Tabela 5 - Falhas funcionais por ativo.	55
Tabela 6 - Divisão dos ativos para efeitos de cálculo OFGEM.....	56
Tabela 7 - Idades expectável dos ativos à nascença, segundo a OFGEM.	58
Tabela 8 - Pesos considerados no fator de localização (Location Factor) segundo a OFGEM.	59
Tabela 9 - Ex. da categorização de uma falha específica no Modificador de IS (Health Score Modifier).	60
Tabela 10 - Idade Normal Expectável de um apoio à nascença.....	66
Tabela 11 - Idade Normal Expectável de um tipo de isolador à nascença.....	66
Tabela 12 - Tensões de Rotura Mecânica dos condutores por secção.[8] [9] [31].....	67
Tabela 13 - Idade Normal Expectável de um condutor à nascença.	67
Tabela 14 - Ponderações relativas à Proximidade do Mar.	68
Tabela 15 - Ponderações relativas à Altitude.....	69
Tabela 16 - Ponderações relativas à Zona de Corrosão	70
Tabela 17 - Ponderações relativas ao Índice Ceráunico.	72
Tabela 18 - Ponderações do Modificador de IS para os apoios.....	74
Tabela 19 - Ponderações do Modificador de IS para os isoladores.	75
Tabela 20 - Ponderações do Modificador de IS para os condutores de fase.	75
Tabela 21 - Bandas definidas para o Índice de Saúde.	76
Tabela 22 - Constantes utilizadas na obtenção da probabilidade de falha pela OFGEM.	77
Tabela 23 - Ponderações aplicadas aos Fatores Externos	78
Tabela 24 - Distribuição das ponderações pelas respetivas categorias.	79
Tabela 25 - Estudo de caso de quatro ativos do concelho de Caminha.	82

Tabela 26 - Estudo de caso de quatro ativos do concelho do Porto.	82
Tabela 27 - Modificadores do índice de Saúde por sub-ativo.	83
Tabela 28 - Estudo de caso de quatro ativos do concelho de Bragança.....	84
Tabela 29 - Estudo de caso de dois ativos do concelho de Manteigas.	85
Tabela 30 - Estudo de caso de dois ativos do concelho de Manteigas.	85
Tabela 31 - Estudo de caso de dois ativos do concelho de Beja.....	86
Tabela 32 - Tabela com a atribuição dada a quatro ponderações dos Fatores Externos de forma aleatória.	87
Tabela 33 - PoF final em função de diferentes ponderações consideradas nos fatores externos.	88

Siglas, Acrónimos e Símbolos

ACSR	<i>Aluminium Conductor Steel Reinforced</i>
Al-Aço	Alumínio-Aço
AO	Área Operacional
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
C.C.	Curto-Circuito
DMA	Documento Normativo - Materiais e Aparelhos
DMN	Direção de Manutenção
DAPR	Direção de Ativos e Planeamento de Rede
DNO	<i>Distribution Network Operator</i>
DSO	<i>Distribution System Operator</i>
DST	Descarregador de Sobretensões
EDP	Energias de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IC	Índice Cerâmico
IS	Índice de Saúde
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kV	Quilovolt
LA	Linha Aérea
LAAT	Linha Aérea de Alta Tensão
LAMT	Linha Aérea de Média Tensão
MC	Manutenção Corretiva
MNPC	Manutenção Planeamento e Controlo
MPC	Manutenção Preventiva Condicionada
MPS	Manutenção Preventiva Sistemática
MT	Média Tensão
MVA	Megavolt-ampere
OCR	Órgão de Corte de Rede
OFGEM	<i>Office of Gas and Electricity Markets</i>
OPGW	<i>Optical Ground Wire</i>
PoF	Probabilidade de Falha
PRE	Produção em Regime Especial
PT	Posto de Transformação
RND	Rede Nacional de Distribuição
RNT	Rede Nacional de Transporte
RSFGC	Rede Secundária de Faixas de Gestão de Combustível
RSLEAT	Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão

SE	Subestação
SEE	Sistema Elétrico de Energia
SEN	Sistema
SiC	Carboneto de Silício
SIT	Sistema de Informação Técnica
TP	Transformador de Potência
UCA	Unidade Da Condição e Risco do Ativo
V	Volt
ZnO	Óxido de Zinco

Capítulo 1

Introdução

A proposta apresentada nesta dissertação foi construída em ambiente empresarial, concretamente na Energias de Portugal - Distribuição Energia, SA (EDP Distribuição), empresa de distribuição de energia elétrica. O seu principal objetivo é contribuir para a melhoria do processo de gestão de ativos¹ da empresa, através da proposta de criação uma nova metodologia de cálculo do índice de saúde² das linhas aéreas de Alta e Média Tensão (AT e MT).

Este projeto pretende contribuir para dar resposta à necessidade de melhoria da metodologia de gestão de ativos, da empresa Energias de Portugal - Distribuição Energia, SA (EDP Distribuição).

Aquela empresa tem como missão garantir e assegurar o abastecimento de eletricidade, a expansão e a fiabilidade da rede e fornecer serviços aos comercializadores. Neste sentido, o planeamento e desenvolvimento, a operação do sistema e a manutenção da rede, constituem as prioridades da visão estratégica da empresa, no sentido da constante melhoria dos indicadores de continuidade do serviço, articulados com a otimização dos recursos e dos investimentos.

Para o efeito a empresa conta com o apoio dos serviços da Unidade da Condição e Risco do Ativo (UCA) que integra a área de Ativos e Planeamento de Rede. Esta unidade tem por missão: avaliar o desempenho dos ativos, analisar as suas tendências e condições, antecipando as necessidades e propondo intervenções, com base em dados estatísticos sobre o comportamento da rede, elaborar análises de risco considerando os índices de saúde e criticidade da rede e propor critérios de avaliação de risco complementar à avaliação técnico económica como suporte à tomada de decisão, tornando o negócio mais sustentável.

A UCA possui equipas multidisciplinares que, entre outros objetivos, se propõe realizar o

1 Ativo - Conjunto de bens ou direitos mensuráveis, necessários à manutenção, sustentável, das atividades da organização, podendo identificar-se, quer pela sua materialidade, quer pela rastreabilidade. Gestão de Ativos - Atividade coordenada de uma organização para gerar benefícios através dos seus ativos.

2 Indicador usado para caracterizar a condição técnica de um ativo.

cálculo do índice de saúde, da probabilidade de falha e da vida restante dos ativos, com a finalidade de gerir os ativos da rede de distribuição, aplicando os princípios de investimento e manutenção para planear o seu desenvolvimento integrado.

Esta proposta pretende constituir-se numa metodologia híbrida entre a metodologia atualmente utilizada na EDP Distribuição e a utilizada pelos seis Distribution Network Operators (DNO's) no Reino Unido, através da criação de um novo algoritmo, contextualizado às necessidades da empresa, às especificidades da rede portuguesa e aos fatores da sua localização.

A presente dissertação foi organizada em nove capítulos, estruturados no sentido de apresentar o estudo e o trabalho realizados durante o projeto.

Assim, no primeiro capítulo - Introdução - é feita a apresentação e a contextualização da empresa EDP Distribuição, através de alguns apontamentos sobre a sua história e sobre a sua visão de futuro.

O segundo capítulo, designado - Linhas Aéreas de Alta e Média Tensão- apresenta uma visão da Rede Nacional de Distribuição (RND) e dos seus diversos elementos, relacionando-a com a exposição aos fatores externos, decorrentes da sua disseminação geográfica.

O terceiro capítulo faz a caracterização da Rede de Distribuição Aérea de Portugal Continental relacionando-a com a evolução da EDP Distribuição, seus objetivos e perspetivas de futuro.

No quarto capítulo é apresentada uma análise de incidentes da rede baseada num trabalho realizado pelo extinto Departamento de Manutenção da empresa.

O quinto capítulo aborda a Gestão de Ativos, com especial enfoque nas políticas de manutenção da EDP Distribuição e procedimentos dela decorrentes.

No sexto capítulo é descrita a Metodologia de Cálculo do Índice de Saúde atualmente em uso na EDP- Distribuição.

No sétimo capítulo é apresentada a Metodologia OFGEM - DNO Common Network Asset Indices Methodology, que introduz os conceitos de probabilidade de falha e vida restante dos ativos.

O oitavo capítulo, que constitui o cerne deste trabalho, apresenta a proposta de uma nova metodologia híbrida, com o propósito de aproximar a metodologia de cálculo do Índice Saúde dos ativos das mais modernas práticas europeias, em matéria de gestão de risco, indo de encontro aos desafios colocados pela modernização dos processos e sistemas e da gestão de ativos da EDP Distribuição.

Por fim, no nono capítulo, apresentam-se algumas conclusões e perspetivas de trabalho futuro.

1.1 - Breve descrição do grupo EDP

O grupo EDP (Energias de Portugal) é uma empresa privada, cotada na bolsa de valores portuguesa, que opera no setor energético. Verticalmente integrada no Sistema Elétrico Nacional (SEN), conta com uma posição consolidada ao nível da produção, distribuição e comercialização de eletricidade. A EDP encontra-se presente em catorze países e quatro continentes, através das suas empresas subsidiárias. Emprega mais de 12 mil colaboradores em todo o mundo e fornece energia a sensivelmente 10 milhões de clientes. Saliente-se, ainda, que a EDP figura na quarta posição, na lista dos maiores produtores mundiais de energia eólica.



Figura 1.1 - Estruturação do Sistema Elétrico Português (SEE).

A EDP nasce da nacionalização, no pós 25 de Abril, de treze companhias elétricas que funcionavam maioritariamente a nível regional. A EDP foi, durante cerca de três décadas uma empresa de serviço público, funcionando em regime de monopólio. Em 1991 dão-se os primeiros passos no sentido da privatização da empresa, com a alteração do estatuto da EDP para o de Sociedade Anónima (SA), dispersando o capital financeiro em ações de capitais exclusivamente públicos. Nos anos de 1997 e 2000 assiste-se à alienação da empresa, deixando a esfera pública definitivamente em 2013. Em Portugal continental, devido à sua posição histórica no panorama elétrico, a EDP conta atualmente com 10.428 MW de potência instalada ($\approx 53\%$ da potência instalada total), com licenças de exploração das maiores barragens portuguesas, produzindo 30,6 TWh de energia ($\approx 61\%$ do consumo) e comercializando energia a 5.423.063 clientes o que representa 88,3% quota do mercado elétrico).

A EDP Distribuição - Energia, SA é a empresa que exerce a atividade de operador de rede de distribuição (Distribution System Operator - DSO) em Portugal continental, que por sua vez é regulada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). A EDP Distribuição opera, em concessão do Estado Português, a exploração da Rede Nacional de Distribuição (RND) de Energia Elétrica em Media e Alta Tensão, assim como a maioria das concessões municipais de distribuição de energia elétrica em Baixa Tensão e Iluminação Pública, em contratos de longo termo.

A missão da EDP Distribuição é a de garantir a expansão e a fiabilidade da rede, assegurar o abastecimento de eletricidade e fornecer serviços aos comercializadores. Para isso o planeamento, desenvolvimento, operação do sistema e manutenção da rede estabelecem-se como as maiores prioridades na visão estratégica da empresa, que procura uma melhoria constante dos principais indicadores de continuidade de serviço e a otimização dos recursos e do investimento.

1.2 - Enquadramento dentro da Empresa

A Direção de Ativos e Planeamento de Rede (DAPR) é uma das várias unidades de negócio do modelo organizativo da EDP Distribuição. Esta divisão conta com diversas equipas multidisciplinares e possui uma missão abrangente. Entre outras funções compete-lhe: gerir os ativos da rede de distribuição e planear o seu desenvolvimento integrado, gerir a aplicação dos princípios de investimento, manutenção e gestão de risco.

A DAPR desdobra-se em quatro áreas operativas, das quais se salienta a área de Ativos e Planeamento de Rede. Esta área engloba a Unidade da Condição e Risco do Ativo (UCA), unidade na qual estive inserido durante a realização do meu estágio de que resulta a presente dissertação. O Eng. João Vasco Ferreira, coorientador da presente tese, é o gestor desta área, que tem a missão de aplicar metodologias de risco e gestão de ativos, e de elaborar propostas para renovação e reabilitação dos mesmos.

Assim, a UCA aplica metodologias de análise de risco, através do cálculo dos índices de saúde e de criticidade dos ativos. O trabalho da UCA revela uma forte ideia de progressão e aperfeiçoamento constantes, no sentido de quantificar, com fiabilidade, o risco inerente a cada ativo. Para este efeito a UCA estabelece, ocasionalmente, parcerias com instituições externas e com mestrandos interessados na possibilidade de, com o seu trabalho de investigação, contribuir para o aperfeiçoamento dos cálculos já existentes dos índices de saúde e de risco, para os diversos ativos da rede, como: transformadores, linhas aéreas, cabos subterrâneos, aparelhos de manobra e corte, entre outros. É da responsabilidade da UCA, também, a elaboração de estudos estatísticos do comportamento dos ativos e a produção de relatórios com indicadores de performance gerais, utilizados de modo a adequar as metodologias à realidade nacional.

1.3 - Visão de Futuro

A liberalização do sector energético na Europa obrigou a EDP Distribuição a focar a sua atenção no mercado distribuidor sob pena de ver diminuída a sua importância. Atualmente as verbas aprovadas pelo regulador são mais escassas e verifica-se a existência de maior transparência sobre o destino dos fundos atribuídos. A sensibilidade crescente para questões ambientais e de sustentabilidade, conjugada com a maior exigência dos clientes quanto à qualidade de serviço prestado bem como o risco introduzido pela presença de novos players no mercado, firmou a convicção de que o futuro só pode ser ganho através da aposta tecnológica e de inovação na rede da nova geração, EDP InovGrid, conjugada com qualificação dos recursos humanos para a prática de normas de procedimento económico e técnico mais avançadas, de acordo com as normas ISO (International Standards Organization).

Capítulo 2

Generalidades sobre Linhas Aéreas de Alta e Média Tensão

No âmbito da organização do sistema elétrico de energia, existem quatro atividades fundamentais: a produção, o transporte, a distribuição e o consumo ou carga. As linhas de Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT) ocupam um papel fulcral na distribuição da energia elétrica, desde a receção, muitas vezes através dos pontos injetores da Rede Nacional de Transporte (RNT), até à transformação em baixa tensão nos postos de transformação e respetiva entrega aos consumidores. As redes de distribuição podem ser dos tipos subterrâneo e aéreo, sendo que as subterrâneas são maioritariamente utilizadas em perímetros urbanos, em contraste com a rede aérea que predomina em áreas de menor concentração populacional e de carga dispersa. A rede AT faz a conexão, maioritariamente, entre subestações e postos de seccionamento ou de corte. A rede MT interliga, na sua maioria, subestações a postos de transformação.

As redes AT e MT, da Rede Nacional de Distribuição (RND), apresentam uma grande exposição a fatores externos, sejam agentes atmosféricos ou mesmo humanos, devido à sua elevada disseminação geográfica. O investimento na expansão e na manutenção desta rede é um imperativo decorrente da necessidade de assegurar a continuidade de serviço, garantindo a segurança de pessoas e equipamentos, operando dentro dos limites de tensão e frequência impostos pelo regulador, com vista a melhorar os indicadores gerais de qualidade e continuidade do serviço prestado.

2.1 - Aspetos Construtivos

De forma muito simplificada, pode assumir-se que as linhas aéreas são constituídas por três elementos fundamentais: apoios, isoladores e condutores. Destes, apenas os condutores são partes ativas, ou seja, apenas os condutores são responsáveis pelo transporte de energia. Os isoladores constituem a fronteira entre os elementos, ativos e passivos, os apoios, são responsáveis por garantir o suporte dos condutores e isoladores e pela obtenção de distâncias de segurança em relação às partes ativas.

As linhas AT e MT são trifásicas, sem neutro distribuído, por razões económicas. Cada fase pode possuir mais do que um condutor, sendo comum o uso de seis condutores nus em linhas de tensão mais elevada. As linhas AT são normalmente implementadas com cabo de guarda/fibra ótica, para proteção contra descargas atmosféricas.

2.2 - Apoios

O apoio ou poste é o elemento de uma linha aérea destinado a suportar os condutores, os cabos de guarda, os isoladores e outros acessórios. (Artigo 4.º/6 - R.S.L.E.A.T [1]) A altura dos apoios é variável, conforme a topografia do terreno e os obstáculos que a linha atravessa.

Os apoios podem ser **metálicos** ou de **betão armado**. Os apoios metálicos são utilizados geralmente na Alta Tensão, pois a sua montagem em blocos permite atingir uma altura superior, em comparação com os apoios pré-construídos em betão armado. No início da eletrificação em Portugal os apoios eram metálicos. No entanto, com o aparecimento de novos materiais e com a evolução tecnológica, a utilização de apoios metálicos foi sendo reduzida a favor dos apoios de betão. Assim, na Média Tensão existe, atualmente, uma uniformização na escolha do betão armado, devido à facilidade da sua instalação, ao facto de ocupar uma área de instalação menor, e, principalmente, por serem mais económicos para o mesmo propósito.

O **maciço** de fundação do apoio constitui a base de sustentação do mesmo e é, sempre, construído em betão. No caso dos apoios metálicos mais comuns, para o apoio de fuste tronco-piramidal quadrangular ou retangular, é necessário realizar a fundação e construção de quatro maciços, um por cada pé do apoio. Apesar de ser financeiramente mais dispendioso, existem situações em que apenas os apoios metálicos podem ser utilizados, devido à sua maior robustez para suportar esforços mecânicos que advêm dos condutores. A profundidade do apoio implantado diretamente no solo segue a seguinte equação $0.1H + 0.5$, sendo H a altura do poste. No caso de o apoio ter mais de quinze metros, admitir-se-ão profundidades de enterramento menores do que a dada pela expressão anterior, mas nunca inferiores a dois metros, desde que seja convenientemente justificada do ponto de vista da estabilidade do poste.

Os apoios têm de estar preparados para resistir a esforços diversos, assegurando a segurança e a estabilidade da linha aérea. Existem vários tipos de topologia de apoio, de forma a adequarem-se à sua posição em relação aos restantes apoios e sua finalidade, entre os quais (segundo o 4.º do R.S.L.E.A.T):

- Apoios de Alinhamento(B): situado num troço retilíneo da linha, onde não existam ângulos ou derivações.
- Apoios de ângulo(C): quando situado num ângulo entre dois troços retilíneos da linha.
- Apoios de derivação(A): onde se estabelecem uma ou mais derivações.
- Apoios de fim de linha(D): sujeito à força de tração horizontal, capaz de suportar a totalidade dos esforços que os condutores e os cabos de guarda lhe transmitem de um só lado da linha.
- Apoios de reforço: preparado para ser solicitado à torção, na eventualidade de rotura de um condutor.

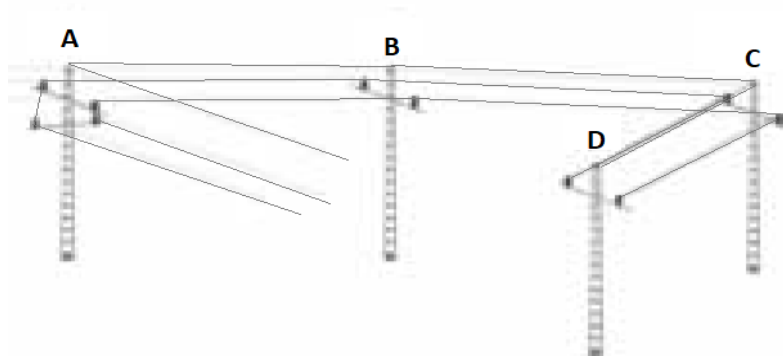


Figura 2.1 - Exemplo de tipos de apoios e armações.

2.2.1 -Armações ou Travessas

As armações ou travessas são estruturas metálicas feitas de aço, instaladas no topo do apoio com o intuito de suportar os isoladores acoplados no mesmo. As armações constituem a fronteira entre o apoio e o isolador, devendo suportar esforços mecânicos que advenham dos condutores.

As travessas utilizadas na RND são escolhidas em função do apoio (metálico ou betão armado), do nível de tensão (15kV, 30kV, 60kV), da sua finalidade (alinhamento, ângulo, fim de linha, derivação, entre outras...) e da existência ou não de cabo de guarda. A EDP dispõe de documentos normativos (DMA) que recomendam/normalizam e especificam onde e com que propósito, cada tipo de armação é usado[2][3]. A designação das armações está relacionada com a disposição geométrica dos condutores nesse tipo de travessa.

- Armação Triangular - apenas utilizada em Média Tensão. Esta disposição é a única em que a influência eletromagnética é igual em todas as fases, não havendo a necessidade de fazer transposição de condutores, periodicamente, ao longo da linha de elevado comprimento. A armação triangular é utilizada em situações em que a distância dos condutores ao solo/obstáculos é significativa, pelo simples facto de que esta é a armação onde os isoladores e condutores ficam mais elevados em relação ao apoio.
 - TAL (Triângulo para função de ALinhamento): Esta é a única armação de alinhamento que utiliza isoladores rígidos de eixo vertical, os quais são desaconselhados em zonas frias, ou em altura, devido à forte possibilidade de acumulação de gelo e de neve, o que, pelo facto de ser atravessados pelo condutor na parte superior, facilitam a criação de uma linha de fuga entre as partes ativas e o apoio.

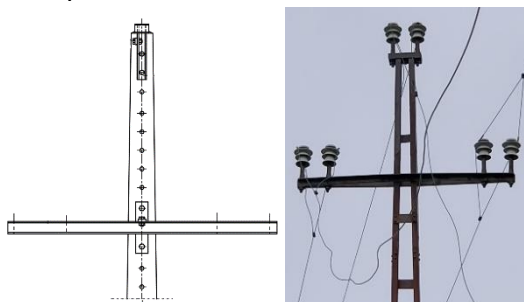


Figura 2.2 - TAL

- **Galhardete** - Caracteriza-se por possuir dois condutores de um lado e apenas um condutor do lado oposto. É o apoio mais comum em Portugal pelo facto de permitir

uma distância entre vãos superior às restantes tipologias, permitindo “poupar” no número de apoios que têm de ser empregues e, consequentemente, permitindo menores investimentos.

- GAL (Galhardete para função de ALinhamento): Neste tipo de armação só podem ser utilizadas cadeias de isolamento em suspensão (figura 2.3) (explicação no próximo capítulo)

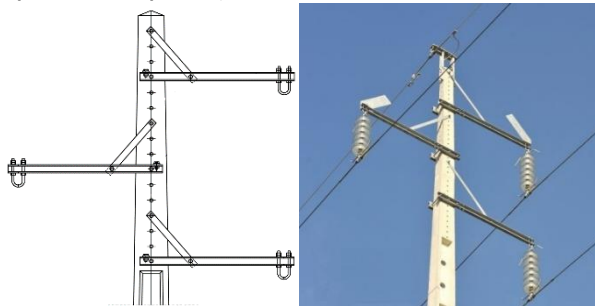


Figura 2.3 - GAL

- GAN (Galhardete para função de Ângulo): Utiliza cadeias de isolamento em amarração e a sua única função é a de ângulo. Na RND, esta armação é utilizada frequentemente em alternância com armação GAL, visto que esta metodologia consegue aumentar a distância entre cantões (porção de uma linha compreendida entre dois apoios, nos quais os condutores são fixados por amarrações) (ex: GAN-GAL-GAN-GAL...).

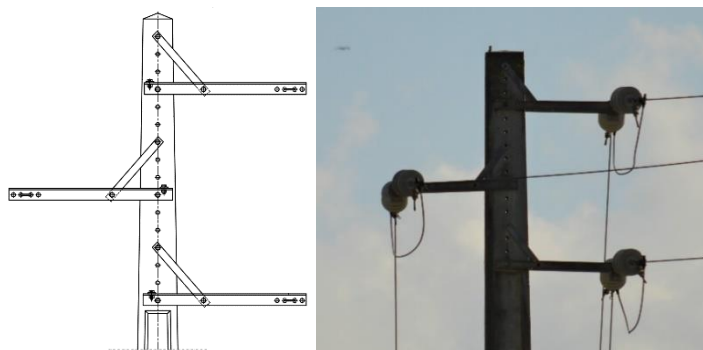


Figura 2.4 - GAN

- **Esteira Horizontal** - Esta opção é muito utilizada em apoios com função de fim de linha, onde existe uma passagem de linha aérea para cabo subterrâneo, através da caixa terminal. O conjunto apoio e travessa deve ser capaz de sustentar esforços mecânicos aplicados apenas de uma direção.
 - HTP - (Esteira Horizontal para Posto de Transformação Aéreo): Esta armação é particularmente usada com um PT aéreo ($\leq 250\text{kVA}$) acoplada, em meio rural, onde a construção de um PT não se justifica.

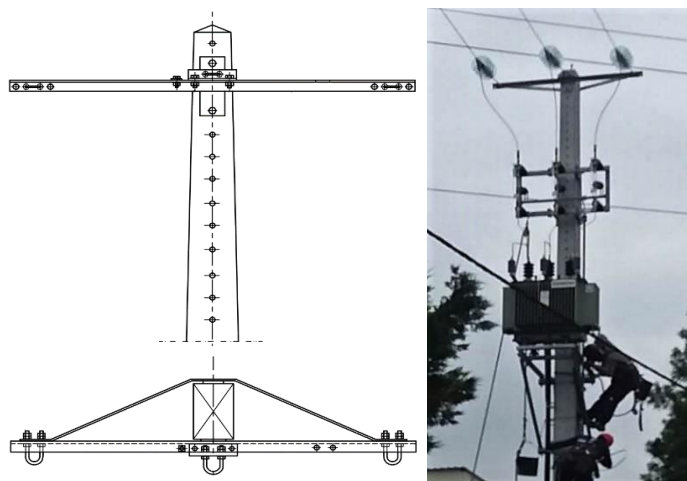


Figura 2.5 - HTP com PT aéreo.

- HRFSC (Esteira Horizontal reforçada) - Utilizado como apoio de Reforço (com seccionador), Fim de linha, Alinhamento, Ângulo e Derivação.

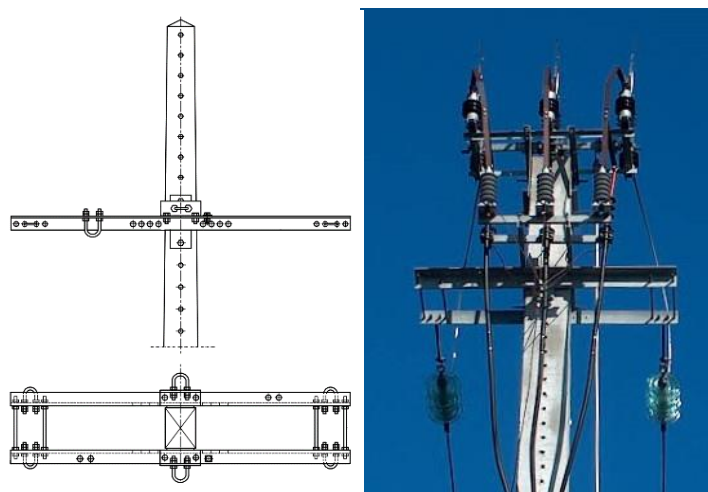


Figura 2.6 - HRFSC com seccionador horizontal.

- **Esteira Vertical** - Esta disposição é pouco usada na rede MT em Portugal. Em AT a esteira vertical dupla é frequentemente utilizada, tanto em suspensão como amarração, sendo a principal armação aplicada pela EDP Distribuição, pela possibilidade de aplicação de secções mais reduzidas devido à existência de dois condutores por fase.
 - VAL (Esteira Vertical para função de ALinhamento): Utilizada apenas em MT. Esta é a única armação de alinhamento que utiliza isoladores rígidos de eixo horizontal.

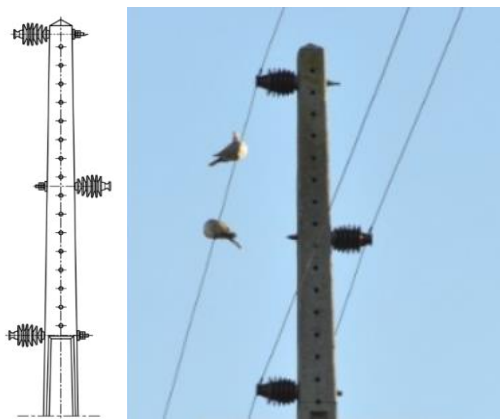


Figura 2.7 - VAL

- VAN (Esteira Vertical para função de Ângulo): Utilizada apenas em MT. Apenas se recorre a estas armações em casos em que o ângulo é bastante fechado, [90°:170°].

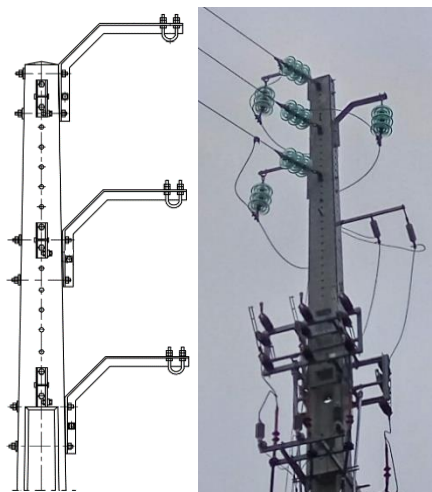


Figura 2.8 - VAN, para efeito de fim de linha, transição aérea-subterrânea, com sectionador vertical e DST's por fase.

- EVDAL (Armação em esteira vertical dupla para poste de alinhamento): utilizada apenas em AT, com dois condutores por fase e seis condutores no total. Esta, utiliza cadeias de isoladores suspensão. No desenho técnico da armação figuram, sobre o primeiro braço da armação, duas chapas designadas de anti pouso, que se perfilam de modo a evitar o pouso e nidificação das aves sobre as armações. A inclusão desta e de outras medidas, apesar de não serem obrigatórias, é frequente em Zonas de Proteção Especial (ZPE's) para aves.

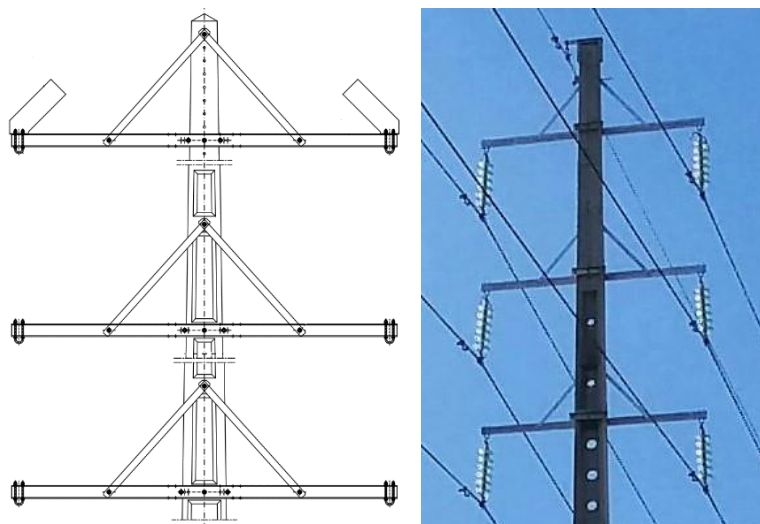


Figura 2.9 - EVDAL

- EVDAN (Esteira Vertical Dupla para função de Ângulo): Utilizada apenas em AT. As mesmas propriedades da EVDAL, diferindo apenas na cadeia de isoladores que é feita em amarração.

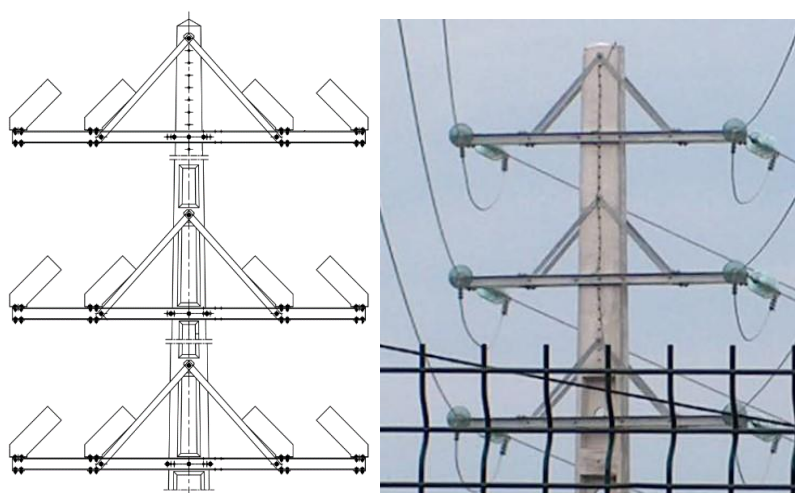


Figura 2.10 - EVDAN

2.3 - Isoladores

Os isoladores constituem a fronteira entre as partes ativas e as partes passivas de uma linha. Nas linhas aéreas os isoladores não desempenham só a função de isolar eletricamente o sistema, como, também, a de sustentar mecanicamente os condutores.

Um isolador elétrico é um equipamento onde as cargas elétricas internas não se movem livremente, em contraste com os semicondutores e condutores. Não se conhece nenhum isolador perfeito, porque por maiores que sejam as suas propriedades isolantes, existem sempre pequenas quantidades de cargas elétricas que podem ser transportadas. A rutura dielétrica é um fenómeno em que um isolador se torna eletricamente condutor, quando sujeito a uma tensão elétrica suficientemente elevada que leve à ionização do material, seja do próprio isolador ou o ar. A rigidez dielétrica característica é o valor máximo de campo elétrico (kV/cm) que o material aguenta sem perder as suas propriedades isolantes. Este valor é

condicionado pela temperatura, pelo tempo de exposição à diferença de potencial e pelo gradiente de crescimento da tensão, entre outras.

O dimensionamento do isolamento é realizado com o propósito de evitar fenômenos de condutividade da massa do isolador, condutividade superficial, contornamentos e, por último, a perfuração da massa do isolador[4].

A zona onde a linha aérea se encontra é um importante fator a considerar, pois a exposição a fatores de poluição exteriores é determinante para o dimensionamento da linha de fuga. A linha de fuga mínima específica varia entre 16mm/kV, em áreas de fraca poluição, até 31mm/kV, em áreas de poluição muito forte, por possuírem indústrias que emanam poeiras condutoras, em zonas costeiras de forte salinidade (<5 km do mar) e em zonas desérticas[5].

2.3.1 -Materiais dos Isoladores

Os isoladores de cerâmica e de vidro, são utilizados desde o início da eletrificação mundial, devido à abundância de matéria prima, à facilidade de produção e, principalmente, ao seu baixo custo. Estes materiais possuem excelente comportamento quanto à resistência a fenômenos de erosão, ao aquecimento de curta e longa duração, à radiação, entre outras, o que faz com que as suas propriedades físicas se mantenham estáveis, durante a sua vida útil, sem apresentar sinais de degradação ou envelhecimento.

Os isoladores de compósitos e poliméricos constituem um avanço tecnológico neste campo. Estes novos isoladores apareceram para reduzir o peso e melhorar a suportabilidade mecânica e elétrica em linhas até os 500kV. A principal vantagem destes isoladores é o seu desempenho em áreas de poluição industrial e zonas costeiras. Contudo, em comparação com os isoladores cerâmicos, os isoladores poliméricos têm menor resistência às radiações ultravioleta, maior envelhecimento, devido à degradação do isolador por efeitos ambientais e stress elétrico. Apresentam, também, uma dificuldade acrescida na sua monitorização e diagnóstico pois, nos isoladores cerâmicos, principalmente de vidro, sempre que existe um defeito, este é visível, pela perfuração ou quebra, algo que não acontece no caso dos isoladores poliméricos.

2.3.2 -Estrutura dos Isoladores

Em relação à sua construção os isoladores podem ser agrupados em duas categorias[1]:

- **Isoladores Rígidos** - “Conjunto isolador, constituído por componentes isolantes e metálicas e pelo material ligante que as justapõe, destinado a ser fixado rigidamente a estruturas de apoio, garantindo por si só as condições de isolamento do condutor.” Os isoladores rígidos foram caindo em desuso nas redes aéreas, pois a sua aplicação é estrita a dois tipos de armações, TAL e VAL, que por norma foram sendo deixadas de parte no projeto de linhas MT.



Figura 2.11 - Isoladores Rígidos.

- **Isolador de Cadeia** - “Conjunto isolador, constituído por componentes isolantes e metálicas e pelo material ligante que as justapõe, destinado a ser fixado

articuladamente a estruturas de apoio, garantindo por si só, ou associado a outros idênticos, em forma de cadeia, as condições de isolamento do condutor”.

Este isolador, também denominado por Isolador de Campânula e Espigão, permite a obtenção da distância de contornamento desejada, pela simples adição de elementos à cadeia. Quando um disco isolador se estraga, a sua substituição é feita facilmente, sem necessidade de substituir a cadeia. Como é perceptível na figura 2.12, para aumentar o comprimento da linha de fuga, cada isolador é construído com pequenas “saías”. As saías evitam que se estabeleçam contornos superficiais devido à deposição de poeiras, cinzas, sais, humidade, gelo ou neve.



Figura 2.12 - Isoladores de Cadeia.

O aparecimento deste tipo de isolador viabilizou a expansão das linhas de alta tensão, pois o isolador rígido deixava de ser economicamente viável em linhas a partir de 60kV, devido à sua dificuldade de montagem e principalmente à sua fragilidade, derivada das suas dimensões. Se os apoios elétricos de um determinado troço de linha o permitirem, a tensão de serviço pode ser aumentada ou diminuída pela simples adição ou subtração de discos à cadeia de isoladores.

Este tipo de isolador é aplicado em duas situações distintas, consoante o tipo de armação:

- **Cadeia de Suspensão:** Cadeias verticais ou em V (apenas em MAT) são usadas em postes onde apenas há suspensão de linhas, postes de alinhamento, ou pequeno ângulo. (imagem com hastes de descarga)

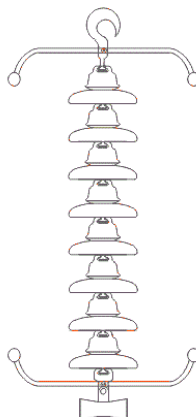


Figura 2.13 - Cadeia de Suspensão, com hastes de descarga.

- **Cadeia de Amarração:** Cadeia horizontal, utilizada em apoios de ângulo, fim de linha, reforço. Nestes apoios, exceto no de fim de linha, utilizam-se duas cadeias de isoladores por fase, de cada lado do apoio. A continuidade da fase é assegurada pelas pinças de amarração, que têm por função a transposição da fase para o lado oposto do apoio.

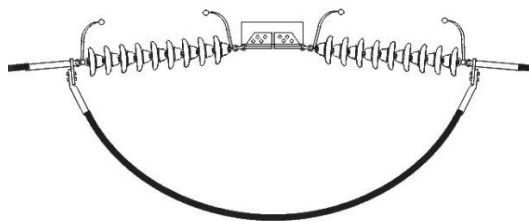


Figura 2.14 - Cadeia de Amarração, com hastes de descarga.

2.4 - Proteção Contra Sobretensões

Existem fundamentalmente três tipos de sobretensões, dependendo da origem do agente causador, que pode ser interno, ou externo à rede:

- Sobretensão à **frequência industrial**: resultado de disparos intempestivos de cargas de potência significativa, alimentação de linhas extensas em vazio (efeito de Ferranti), deslocamento do neutro, entre outras... Este tipo de sobretensão manifesta-se sempre à frequência do sistema, neste caso, 50Hz.
- Sobretensão de **manobra**: resultante de modificações da tipologia da rede, sejam elas voluntárias, manobras de corte ou fecho, ou involuntárias, como defeitos na rede. Tensões transitórias de restabelecimentos, devido a religações rápidas são também consideradas sobretensões de manobra.
- Sobretensão de origem **atmosférica**: São sobretensões causadas por fenômenos atmosféricos, nomeadamente pelos raios provenientes das trovoadas. Os raios introduzem sobrelevações de alta frequência, com uma frente de onda muito rápida e de elevada intensidade.

As consequências da sobretensão são, em alguns casos, desastrosas para instalações e equipamentos, podendo levar, no limite, à destruição dos mesmos. Importa conhecer o comportamento dos isolamentos utilizados nos SEE e as respetivas solicitações dielétricas a que ficam submetidos em face das sobretensões, de modo a conseguir implementar uma proteção ajustada.

De modo a proteger os elementos mais sensíveis e importantes da rede elétrica contra sobretensões, são instalados dois tipos de dispositivos que asseguram o bom funcionamento e segurança de pessoas e bens[6]:

- **Hastes de Descarga** (fixas ou reguláveis)
 - As hastes de descarga são instaladas em locais onde se pretende, deliberadamente, enfraquecer o nível de isolamento da rede. A tensão de ruptura do ar é conhecida e previsível. Assim, as hastes de descarga protegem os elementos da rede, através do estabelecimento de um arco, da ponta adjacente à linha com a ponta adjacente ao apoio, que por sua vez está diretamente ligada ao eletrodo de terra do apoio. Os explosores só quebram a rigidez dielétrica do ar, em sobretensões de elevada magnitude, ou seja, a distância entre as hastes é dimensionada para conduzir apenas, a partir de tensões na ordem de 3,5 pu. Assim, este elemento de proteção contra sobretensões é apenas “solicitado” em sobretensões de origem atmosférica, pois as sobretensões de manobra raramente atingem estes valores.
- **Descarregadores de Sobretensão (DST)**

- Os descarregadores de sobretensões de **carboneto de silício** (SiC) consistem numa ligação em série de resistências de SiC e de explosores. Durante uma sobretensão ocorrem sucessivas disrupções entre os explosores, que por fim se ligam aos blocos de SiC. Devido à sua característica não linear, os blocos de SiC estabelecem um circuito à terra de baixa impedância quando sujeitos a uma sobretensão nos terminais, o que limita os picos de corrente que circula na rede. A rápida deterioração dos explosores desta tecnologia, levou a que atualmente ela não seja usada em novas instalações e em renovações das instalações existentes, em detrimento dos DST de óxido de zinco.
- Descarregadores de sobretensões de **óxido de zinco** (ZnO): são constituídos por uma coluna unitária de pastilhas de óxido de zinco, que apresenta uma característica tensão-corrente não linear. Quando uma sobretensão atinge o descarregador, os blocos de óxido de zinco entram em condução suavemente, e à medida que a tensão aumenta conduzem a corrente associada para a terra. Os DST's em contraposição às hastes de descarga, limitam os impactos dos três tipos de sobretensões, mencionadas no ponto de cima.

A EDP Distribuição utiliza hastes de descarga, nas entradas de painéis de linha e transformador, entre cadeia de isolares, para protegê-los contra perfurações, PT's, travessias de estradas, entre outras. Os descarregadores de sobretensões são aplicados nas redes de distribuição elétrica, para proteger o isolamento não auto regenerável dos ativos mais importantes, no qual se enquadram[6]:

- Transformadores de Potência AT/MT (TP's).
- Transformadores de Distribuição MT/BT (PT's)
- Equipamentos de linha, nomeadamente, Órgãos de Corte de Rede(OCR's), Interruptor Auto-Religador (IAR), Interruptor Aéreo Telecomandado (IAT), entre outros.
- Transições aéreo-subterrâneas.
- Blindagens dos cabos isolados, quando uma das extremidades da blindagem se encontra ligada à terra

Estudos recentes comprovam que redes com regime de neutro isolado, equipadas com hastes de descarga, possuem uma taxa de disparos de linha seis vezes superior comparativamente à utilização de linhas equipadas com DST's [7]. As orientações da EDP Distribuição são de interromper a aplicação de hastes de descarga em combinação com DST's na proteção de subestações.

2.5 - Condutores

Idealmente, as linhas aéreas seriam constituídas por condutores de cobre, visto que este material tem uma condutividade quase duas vezes superior à do alumínio. Contudo a aplicação de cabos de Alumínio-Aço e Ligas de Alumínio é largamente superior, devido à grande maleabilidade do alumínio e à sua maior resistência mecânica para secções com a mesma resistividade, face ao elevado e volátil preço do cobre e ao peso duas vezes superior deste, para igual resistividade. O uso do cobre está, hoje, circunscrito a casos específicos, inserido

em zonas de elevada erosão/corrosão, como são os casos de locais de grande proximidade à orla costeira ou a indústrias poluidoras.

Na RND, maioritariamente, os condutores aéreos não possuem isolamento exterior, sendo condutores nus, constituídos por vários fios não isolados entre si (multifilar), dispostos em forma de hélice sobre um fio central, em camadas concêntricas, desenvolvendo-se alternada e sucessivamente em sentidos contrários[8]. Esta disposição confere maior flexibilidade para igual secção e maior resistência mecânica do cabo, particularmente interessante para grandes vãos, em linhas de amarração. A maioria das linhas AT dispõe de condutores múltiplos, isto é, mais que um condutor por fase.



Figura 2.15 - Cabo de Liga de Alumínio (30 fios) - Aço (7 fios)[9].

A EDP Distribuição utiliza sempre condutores de secção padronizada, pela facilidade de aquisição em escala, beneficiando de preços mais reduzidos, pela possibilidade de possuir cabos em stock na eventualidade da substituição de um ativo e por estandardizar os ativos na rede. As secções de cobre tipicamente utilizadas são 16, 25, 35, 50, 95, 185 mm². As secções de Alumínio-Aço são as seguintes: 30, 50, 90, 130, 160, 235, 325 mm². Por fim, nas secções de Liga de Alumínio-Aço a EDP Distribuição dispõe de duas secções normalizadas de 55mm² e 115mm². A secção dos condutores é escolhida em função da intensidade de corrente admissível em regime permanente, da queda de tensão no troço, das características mecânicas dos condutores, das intensidades de curto circuito admissível que impõe esforços térmicos e eletrodinâmicos, efeito de coroa, perdas, e outras, mas principalmente em função do seu preço.

Atualmente a aplicação recai sobre a liga de alumínio, em detrimento do cabo de alumínio-aço, sendo que as vantagens da liga de alumínio são a maior resistência física à detioração por corrosão e ao melhor comportamento sob altas temperaturas, entre outras. A condutividade elétrica estabelece-se pela(s) camada(s) de alumínio e a alma de aço zincado confere a resistência mecânica necessária.

2.6 - Cabo de Guarda

As redes de distribuição de maior tensão possuem, normalmente, um ou mais condutores, dispostos num plano superior em relação aos restantes, cuja principal função é minimizar a probabilidade de uma descarga atmosférica direta sobre um dos condutores de uma fase. O cabo de guarda está diretamente ligado aos circuitos de terra dos apoios, de maneira a que a resistência de escoamento da descarga seja a menor possível.

A aplicação de cabo de guarda abrange a generalidade da rede de Alta Tensão em Portugal[10]. No caso da Média Tensão, a proteção do cabo de guarda é considerada ilusória,

devido à possibilidade da ocorrência do “contornamento de retorno” ou “Back Flashover”. Este fenómeno resulta da elevada resistência de terra dos apoios e cabos de guarda que, aquando de uma descarga atmosférica direta, ficam sujeitos a um potencial elétrico elevado. Tal facto leva a que se atinja a tensão de disrupção do ar. Neste caso, a distância entre partes ativas e passivas das cadeias de isoladores de menores dimensões, na Média Tensão, quando estabelecem contacto entre os elementos, introduzem sobretensões nos condutores de fase[11].

Atualmente, a EDP Distribuição aplica uma solução de cabo que garante não só a proteção dos ativos, mas também assegura a comunicação do estado do sistema, das medidas e dos alertas, entre outra informação proveniente dos diversos elementos do sistema, com o despacho centralizado. O cabo OPGW (Optical Ground Wire), construído à semelhança dos condutores de liga do alumínio, contém fios de liga deste metal que lhe conferem boas características de condutibilidade, fios de aço que lhe atribuem resistência mecânica capaz de suportar as tensões mecânicas de alongamento e vários pares de fibra ótica, dispostos interiormente, como meio de suporte de informação[12].

É expectável que linhas possuidoras de cabo de guarda apresentem menos saídas intempestivas e, conseqüentemente, melhores indicadores quanto à qualidade e continuidade de serviço. É também expectável, que as mesmas linhas possuam níveis de saúde superiores, quando comparadas com idênticas linhas desprotegidas, por estarem menos expostas aos efeitos nefastos das descargas elétricas.

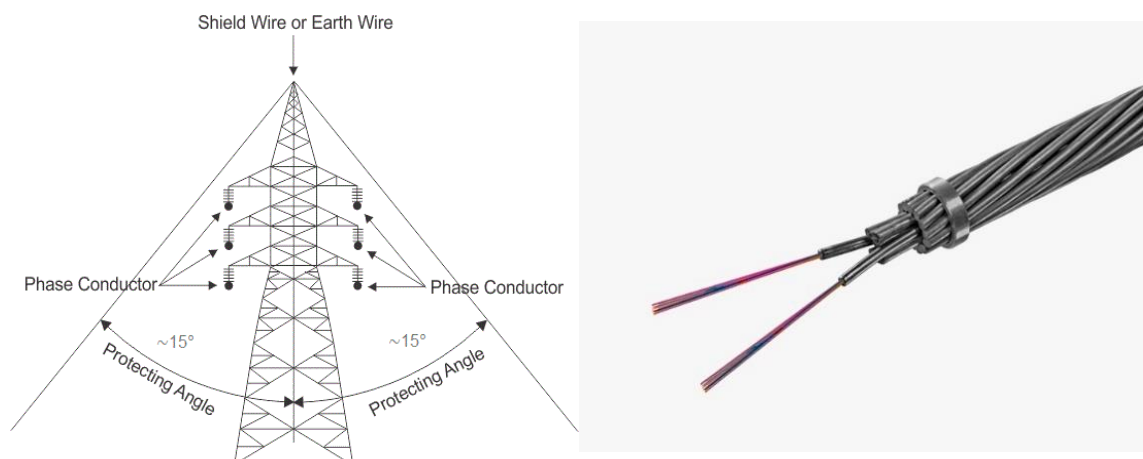


Figura 2.16 - Ângulo de Proteção do cabo de guarda e exemplo de um condutor com pares de fibra ótica no seu núcleo.

Capítulo 3

Caracterização Geral da Rede de Distribuição Aérea de Portugal Continental

A Rede Nacional de Distribuição (RND) é constituída por todas as infraestruturas que permitem a ligação entre a Rede Nacional de Transporte (RNT) e os pontos de consumo realizados em AT, MT e BT. Caracteriza-se por ter três níveis de tensão MT e um nível de tensão AT. Os níveis de tensão utilizados em MT são os 10 kV, 15 kV e 30kV. Em AT o nível de tensão utilizada é 60kV. A rede MT apresenta três níveis de tensão distintos, pois, aquando a nacionalização das empresas elétricas que operavam regionalmente, cada empresa utilizava diferentes níveis de tensão padrão. Explica-se, assim, que o Litoral Norte, o Centro e o Algarve sejam alimentados a 15kV, Trás-os-Montes, Ribatejo e Alentejo a 30 kV e a grande Lisboa a 10kV.

A rede AT estabelece a ligação entre as 433 subestações AT/MT e postos de corte distribuídos pelo país, totalizando 9 529km de extensão total, da qual 8 999km são rede aérea (94,4%). A rede MT em Portugal Continental possui uma expressão mais significativa, contabilizando, no final de 2017, 73 317km de rede, 58 782km dos quais do tipo aéreo (80,2%), considerando os ativos em exploração e os ativos em situação “Desligado/Reserva”. Em média as linhas aéreas possuem tamanhos que variam entre 10 a 35 km, por cada Raiz de Circuito³ e o troço de linha⁴, tem em média 231 metros.

3 Painel de saída de linha de uma subestação e suas ramificações. Este é o conceito atual de objeto de estudo na UCA.

4 Segmento de linha com as mesmas características, designadamente material do condutor, secção, entre outros. O segmento de linha que não considerada derivações, sendo este o objeto de estudo pretendido pela EDP através do projeto JUMP (abordado mais à frente).

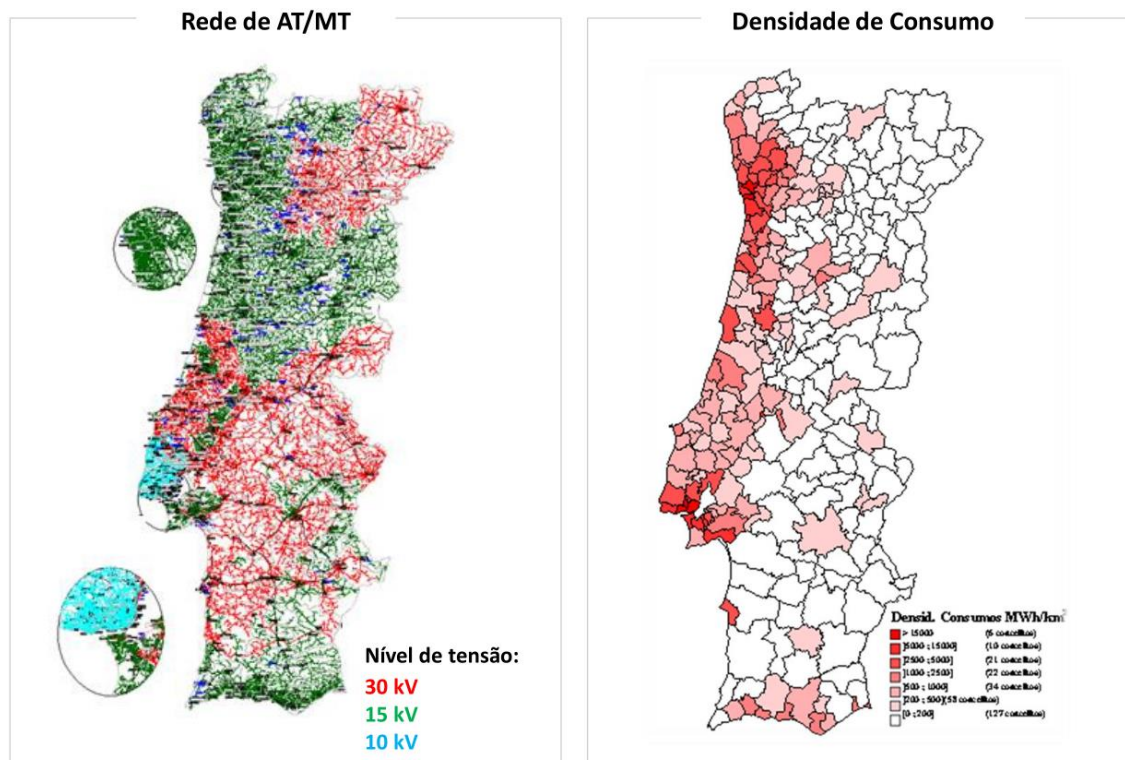


Figura 3.1 - Caracterização da RND em MT e AT e distribuição da densidade de consumo [13].

Relativamente ao modo de exploração, existem duas tipologias, utilizadas em contexto diferente, que, de forma direta, influenciam a qualidade e continuidade de serviço de abastecimento prestado pelo distribuidor ao cliente. A tipologia de exploração em anel aberto faz uso de dois caminhos possíveis de alimentação. Apenas um caminho é utilizado simultaneamente, de modo a garantir a minimização das perdas. Um cliente ligado a uma rede explorada nesta tipologia, possui o que se denomina por Segurança N-1, que significa que perante a falha de um componente da rede, a alimentação da carga não fica comprometida, bastando para isso apenas que o sistema se reconfigure de modo a abastecer pelo caminho de back-up. Este tipo de abastecimento, oferece melhores indicadores de continuidade de serviço e é utilizado em áreas urbanas, porém mais frequente em redes subterrâneas. Todos níveis de tensão iguais ou superiores a 60kV, em Portugal, funcionam em regime de contingência N-1.

A segunda tipologia aplicada é designada de radial. O seu funcionamento baseia-se na utilização de um única linha, o que significa que todas as unidades consumidoras conectadas em estruturas com essa disposição possuem apenas um caminho de alimentação elétrica possível. Apresentam uma forma arborescente, que advém das diversas derivações a PT's. Particularmente utilizada em redes de distribuição aérea MT de área rurais, esta solução permite o abastecimento, com reduzidos custos de investimento, aos consumidores de baixa potência, numa ampla área de dispersão geográfica ($\approx 100 \text{ km}^2$).

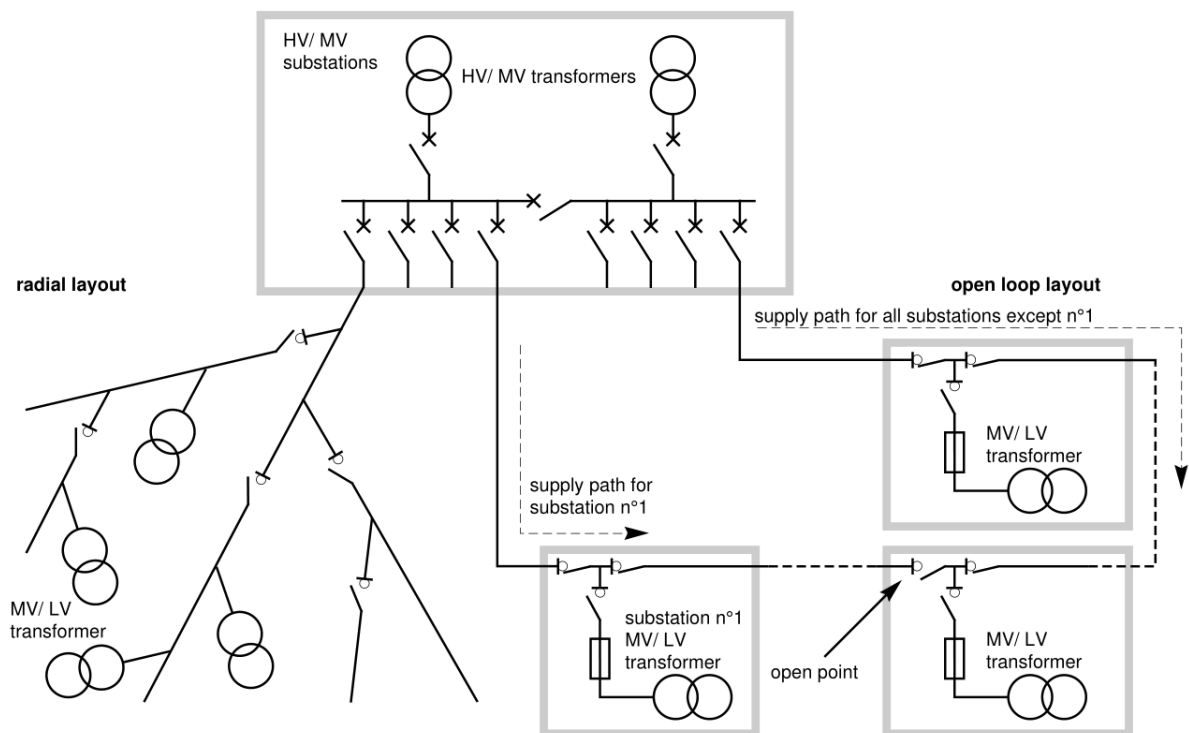


Figura 3.2 - Esquemas de exploração do sistema em média tensão[14].

3.1 - Dados Estatísticos - Evolução da Rede

As redes de distribuição, vão acompanhando a evolução e dispersão geográfica do consumo, o desenvolvimento de parques electroprodutores em Produção em Regime Especial (PRE) e os elevados padrões de Qualidade de Serviço impostos pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). Os investimentos na rede de distribuição são propostos pela EDP Distribuição e só se concretizam, efetivamente, após a aprovação pelo regulador do plano de investimento proposto.

A RND aérea, no que toca à sua evolução em termos de extensão, atravessou várias fases. Os momentos de maior desenvolvimento da rede estão diretamente ligados à eletrificação portuguesa e caracterizam-se pelo rápido desenvolvimento nas décadas de 60, 70 e 90. Desde então, nos últimos vinte anos, a rede aérea aumenta em média ao ritmo de sensivelmente 1% ao ano, o que significa que cresce ao mesmo ritmo que o consumo. Os investimentos atuais passam, não só pela criação de novos ativos, mas também pela substituição progressiva dos ativos datados do início da eletrificação que atingem, neste momento, mais de meio século de existência e pela automatização e telecomando da rede.

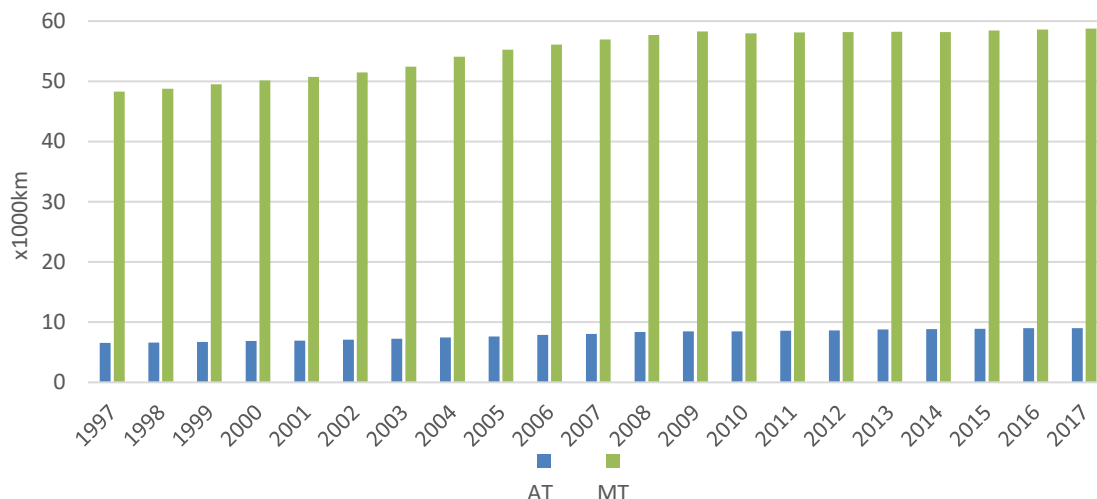


Figura 3.3 - Evolução da Extensão da RND aérea, MT e BT (ERSE e EDP Distribuição).

O gráfico da figura 3.4 mostra, quantitativamente, a evolução da extensão das redes aéreas e subterrâneas em Portugal Continental por nível de tensão. A rede aérea é largamente superior à rede subterrânea em todas as tensões, excetuando a de 10kV que, por apenas ser utilizada geograficamente na área urbana de Lisboa, se encontra maioritariamente enterrada.

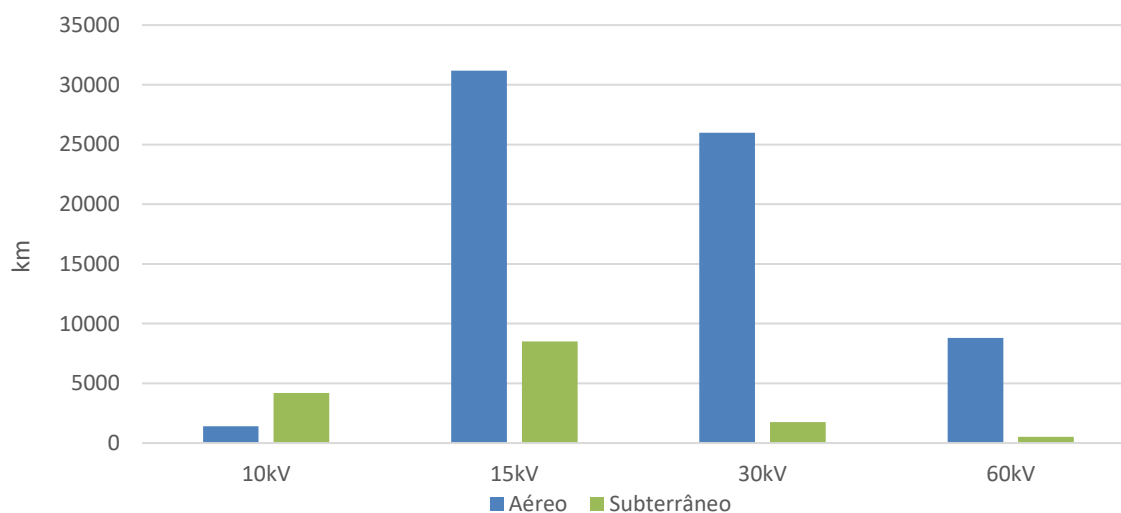


Figura 3.4 - Proporcionalidade Aérea vs. Subterrânea por nível de tensão.

A rede MT aérea em Portugal apresenta uma média de idade de sensivelmente de vinte e um anos e é construída, predominantemente, em ligas de Alumínio-Aço. A análise detalhada do gráfico da figura 3.5 demonstra que, na rede aérea os condutores de cobre são, apenas, utilizados em situações específicas, correspondendo a 5% da globalidade dos condutores. A liga de alumínio é a solução atual normalizada pelo DSO e a sua utilização vem substituir a tecnologia Al-Aço.

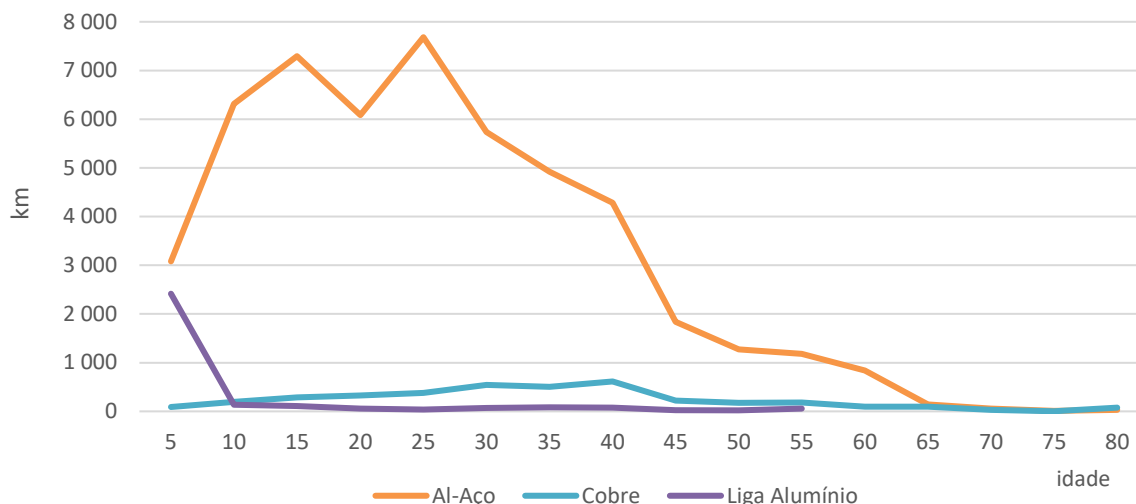


Figura 3.5 - Idade e Tecnologia da Rede Aérea MT (DMN, 2016).

3.2 - Evolução da rede, Objetivos e Perspetivas de Futuro

A EDP Distribuição, no início deste milénio, encontrava-se sob um panorama de forte crescimento do consumo de energia e possuía uma rede com índices de qualidade e continuidade de serviço inferiores ao da média europeia. Assim, com uma pressão regulatória sobre os custos, a EDP Distribuição decide reduzir efetivos e recorrer a outsourcing e a apostar na renovação e reforço da rede.

No período de 2007-2014, assiste-se à diminuição do consumo da eletricidade, ao aparecimento significativo de Produção em Regime Especial (PRE) e à liberalização do setor da distribuição. A resposta a esta situação passou pela automação e telecomando da rede e pela integração de sistemas de informação.

Atualmente, a visão a médio prazo passa pela gestão avançada da rede e pelo reforço da integração de recursos na RND, através da criação de processos e sistemas de informação, para gestão de grandes volumes de dados, a adaptação da rede para smartgrid, onde o foco recai na eficiência e na qualidade do serviço, com decisões automatizadas e com menores custos de operação. A política de gestão de ativos adotada pela EDP Distribuição, desenvolvida em parte pela UCA, permite que a empresa atue de forma preventiva, erradicando possíveis perdas, sejam elas humanas ou materiais, de modo a atingir eficiência não só ao nível dos encargos, mas também na operação de distribuição de energia.

Capítulo 4

Análise de Incidentes na RND

A análise de padrões de comportamento dos ativos, e a correlação de eventos com as perturbações na rede, constituem a base de sustentação necessária para o desenvolvimento da metodologia proposta. Constata-se que a informação é recolhida em diferentes suportes, por diferentes departamentos, de forma autónoma, o que limita uma visão integrada dos eventos, das circunstâncias em que os mesmo ocorreram e dos seus impactos no funcionamento da rede de distribuição.

O extinto departamento de manutenção da EDP Distribuição realizou um trabalho que pretendia conferir uma visão geral dos variados fenómenos que conduzem a incidentes de longa duração verificados apenas nas LAMT, numa tentativa de agregar a informação do período entre 2012-2015, disposta em diferentes sistemas de informação corporativos (CRI-Rede Ativa, SIT, SAP, complementados pela base de dados de incidentes do Departamento de Manutenção de Redes - MNRD).

Apesar de a informação recolhida ser insuficiente, processada de forma pouco sistemática e com imprecisões, o presente trabalho baseou-se em alguns desses pressupostos para a sustentação da metodologia a desenvolver.

A idade das linhas afeta o número de incidentes, tal como se observa na figura 4.1, embora não se verifique uma correlação positiva entre os dois parâmetros. Proporcionalmente, as raízes de circuito com idades entre 20 e 35 anos, são as que apresentam maior número de incidentes.

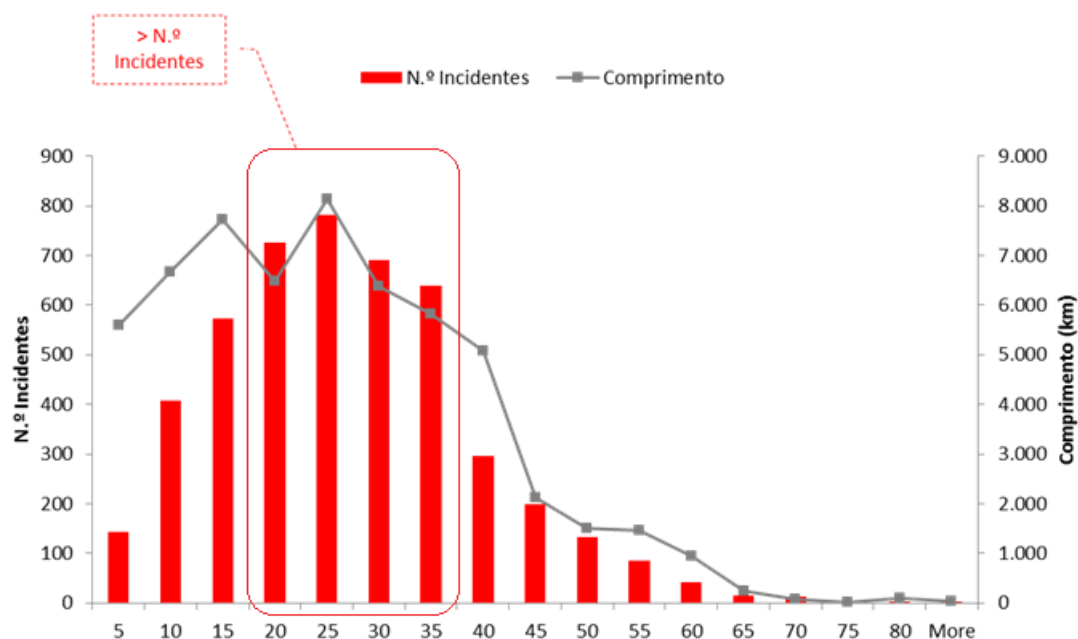


Figura 4.1 - Incidentes por comprimento e idade da linha[15].

Do total de incidentes ocorridos, 61% afetam diretamente o ativo condutor, em segundo lugar, os apoios, que neste trabalho também englobam os isoladores, com 20% do total dos incidentes. Os restantes equipamentos/aparelhagem que se encontra anexa às LAMT contempla a restante fatia dos incidentes da rede, como é perceptível na análise da figura 4.2.

Incidentes - Ativos Simples LAMT

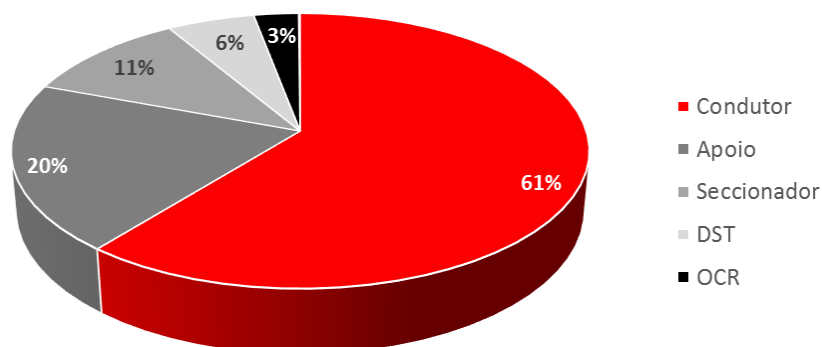


Figura 4.2 - Incidentes por ativo simples constituinte.

Focando a análise no condutor, estabeleceu-se a correlação entre as falhas e a tecnologia/secção dos condutores. De modo a conferir uma visão percentual da repartição dos incidentes face à tecnologia utilizada e por secção, complementou-se essa informação com extrações do sistema de cadastro de ativos da EDP Distribuição. De salientar que os dados do trabalho da direção de manutenção são relativos a incidentes de longa duração, interrupções de duração superior a três minutos, onde as religações rápidas e lentas não se verificaram frutíferas.

4.1 - Incidentes nos Condutores

No que se refere aos condutores, o trabalho desenvolvido pela DMN, faz a análise dos incidentes por tecnologia do condutor e por idade. Verifica-se que os incidentes não seguem uma distribuição linear com incremento constante, muito menos em forma de curva de banheira⁵. Porém, estes incidentes incluem a influência de fatores externos (21% das causas raiz⁶), o que poderá explicar a falta de um padrão congruente. Para as LAMT de idade igual ou inferior a 15 anos o comportamento segue um padrão lógico. A partir desse ponto, o rácio entre incidentes e comprimento tanto se assume inferior como superior, como se observa na figura 4.3.

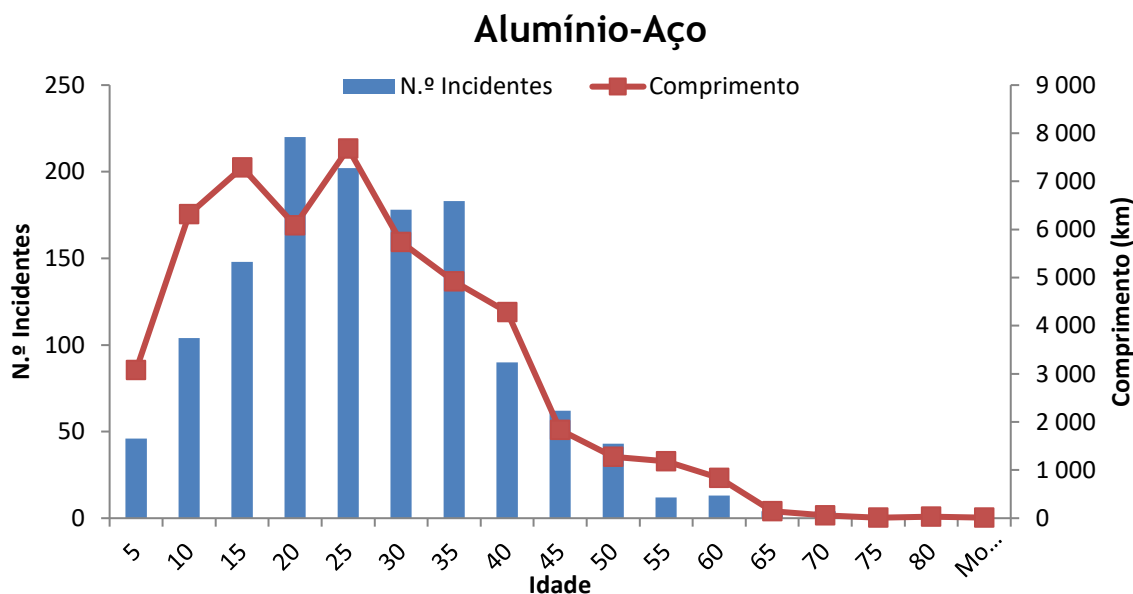


Figura 4.3 - Incidentes em ligas de alumínio-aço, por idade (anos) e comprimento[15].

Na distribuição de incidentes de longa duração por secção de condutor afetado, tal como se observa na figura 4.4, existe um padrão claro que denota o maior número de falhas em secções de área reduzida.

⁵ Gráfico do comportamento típico de um equipamento/componente em relação à taxa de falhas ao longo do tempo, dividido em três fases: infância, adulta, envelhecida. Alta probabilidade inicial devido a defeitos de fabrico e montagem. Taxa reduzida e estável na fase adulta e aumenta exponencialmente com a entrada na velhice. Graficamente, por possuir uma forma idêntica à de uma banheira, é geralmente considerada como curva de banheira.

⁶ Razão ou motivo original para uma determinada condição deficitária. Frequentemente utilizada esta denominação na metodologia de identificação dos eventos responsáveis pelas falhas de equipamentos, denominado por RCA (Root Cause Analysis).

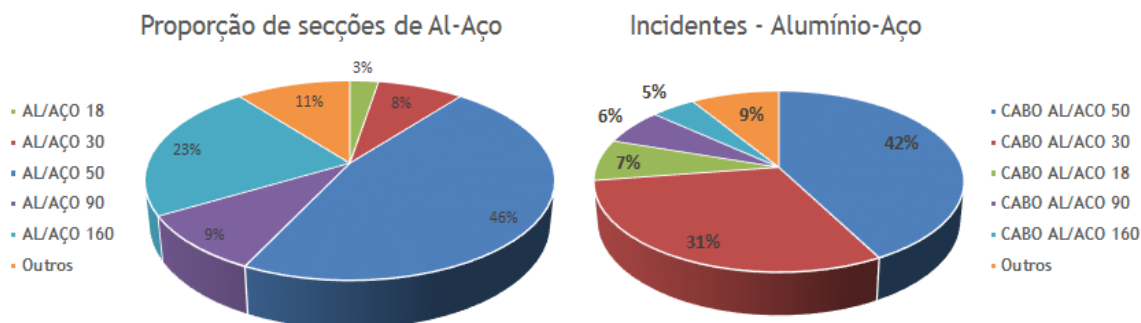


Figura 4.4 - Distribuição dos incidentes por secção do condutor de alumínio-aço, em percentagem[15].

Em relação às ligas de alumínio não existe informação que permita completar o número de incidentes por comprimento em função da idade do troço. A informação existente apenas permite a correlação entre o número de incidentes em função da sua proporção na rede MT, a qual segue a mesma tendência da apresentada nas secções de Al-Aço (figura 4.5).

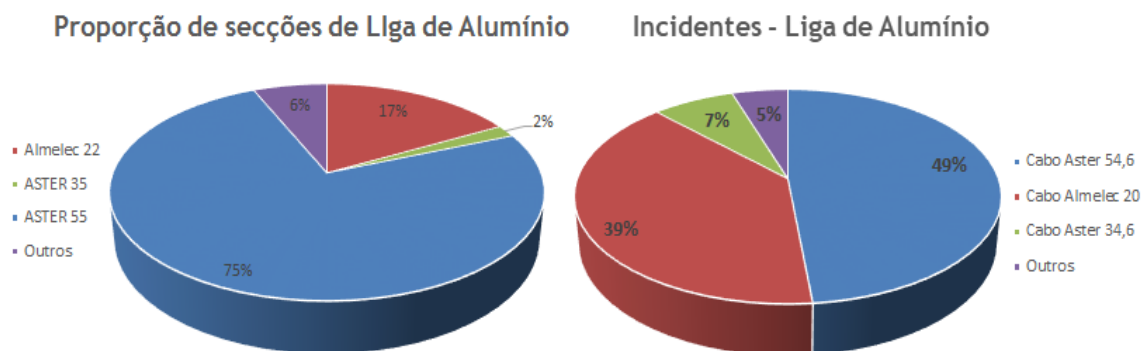


Figura 4.5 - Distribuição dos incidentes por secção do condutor de alumínio-aço, em percentagem[15].

Os condutores de cobre estão progressivamente a desaparecer do SEE, estando a utilização desta liga metálica restrita a situações muito específicas. Em termos de extensão, este é, atualmente, o material com menor aplicação na rede. No entanto, em termos de rácio de incidentes/extensão total, o cobre apresenta uma maior incidência de falhas, tal como se observa nas figuras 4.6 e 4.7. Tal facto pode ser justificado pela tensão de rotura mecânica ser inferior às restantes tecnologias aplicadas na rede, ao facto de este ser mais afetado a roubo, entre outras causas.

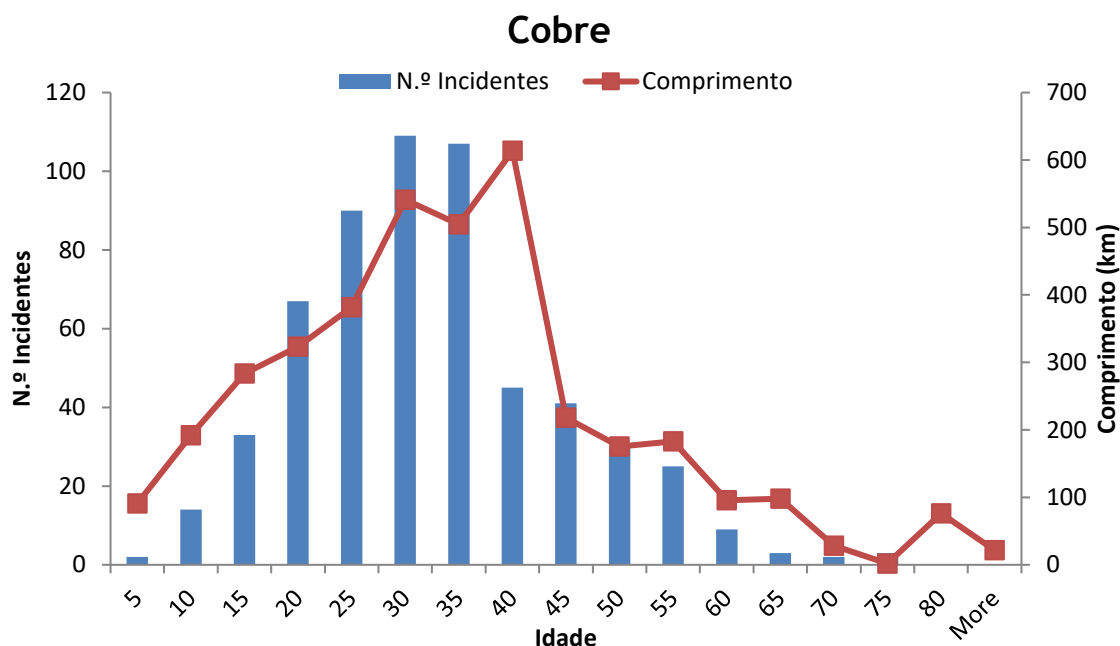


Figura 4.6 - Incidentes em ligas de cobre, por idade (anos) e comprimento[15].

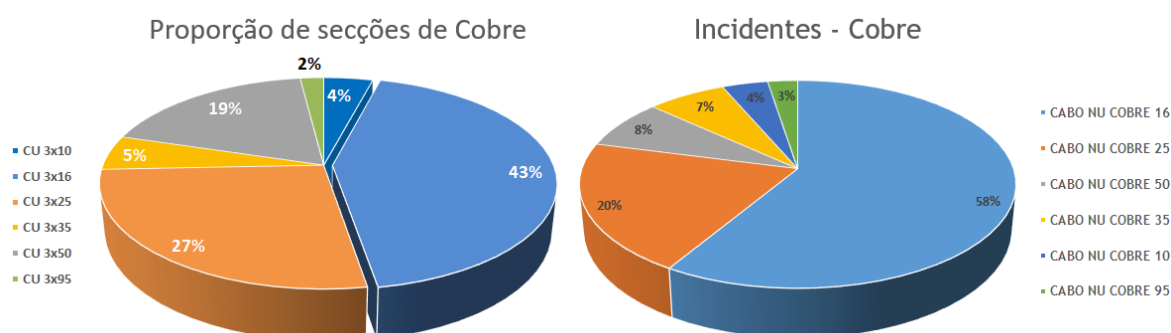


Figura 4.7 - Distribuição dos incidentes por secção do condutor de cobre, em percentagem[15].

4.2 - Incidentes nos Apoios e Isoladores

Em relação à categoria respeitante aos apoios e aos isoladores, verifica-se que os isoladores rígidos são responsáveis pela maior percentagem de falhas (46%), seguidos dos isoladores de cadeia (38%), como se demonstra na figura 4.8. Apesar de não se dispor de informação relativa à quantidade de isoladores rígidos presentes na rede, é sobejamente conhecido que estes estão presentes em muito menor quantidade quando comparados com os isoladores de cadeia. Convém notar que os isoladores rígidos, por terem deixado de ser utilizados, apresentam uma

média de idade elevada o que também interfere na percentagem de falhas, não se podendo atribuir estas apenas à sua tipologia.

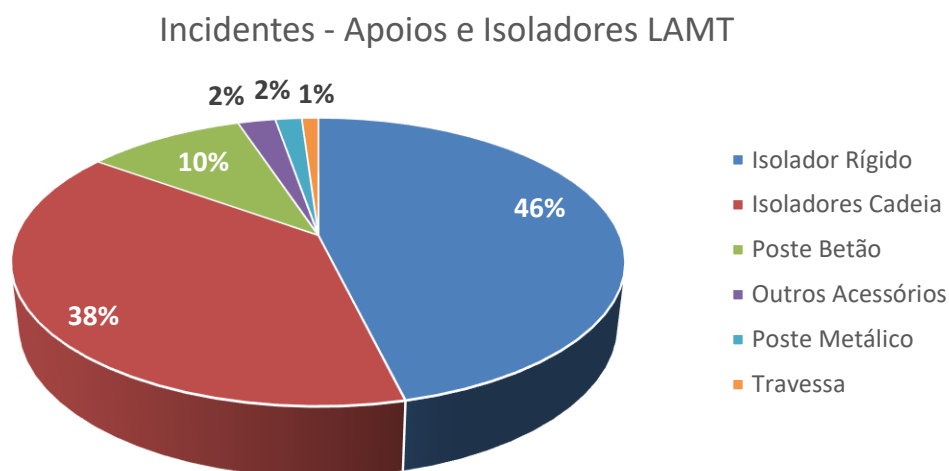


Figura 4.8 - Incidentes Apoios e Isoladores LAMT.

Os apoios de betão totalizam 10% dos incidentes, enquanto os apoios metálicos apenas 2%. Contudo, como não se dispõe da contabilização global (MT) do tipo de apoios metálicos nem de betão, não se pode aferir nenhuma conclusão acerca da tendência de falha adstrita ao material do apoio.

4.3 - Conclusões

Interpretando o gráfico relativo às causas raiz, figura 4.9, conclui-se que a maioria dos incidentes para linhas aéreas de idade igual ou inferior a 30 anos, ocorrem devido a envelhecimento precoce. O envelhecimento precoce, constitui-se como a causa de falha mais frequente nos ativos, inclusivamente em ativos com idade igual ou inferior a 10 anos. Neste caso em específico, a estratégia que pode ser utilizada para travar este tipo de incidentes é a do investimento num programa de manutenção preventiva sistemática baseada no tempo, ou seja, manutenção definida em função do tempo pós instalação, pois a substituição ou reabilitação destes ativos não pode ser sustentada em nenhuma critério.

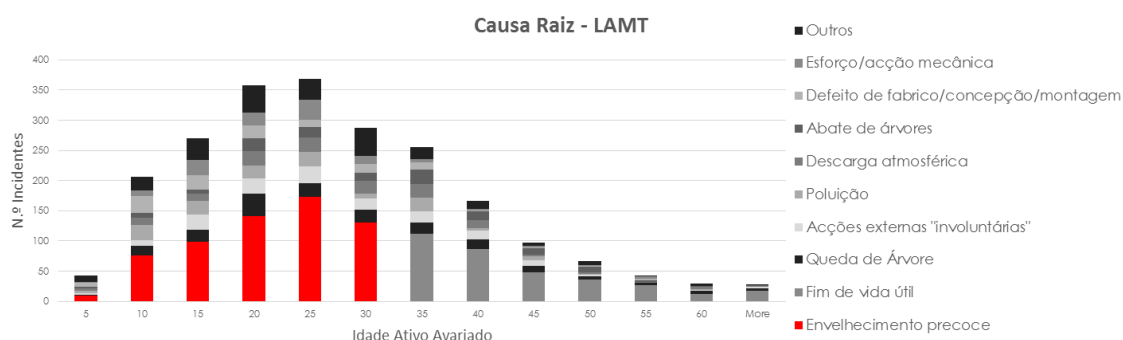


Figura 4.9 - Causas Raízes de interrupções de longa duração por idade do ativo[15].

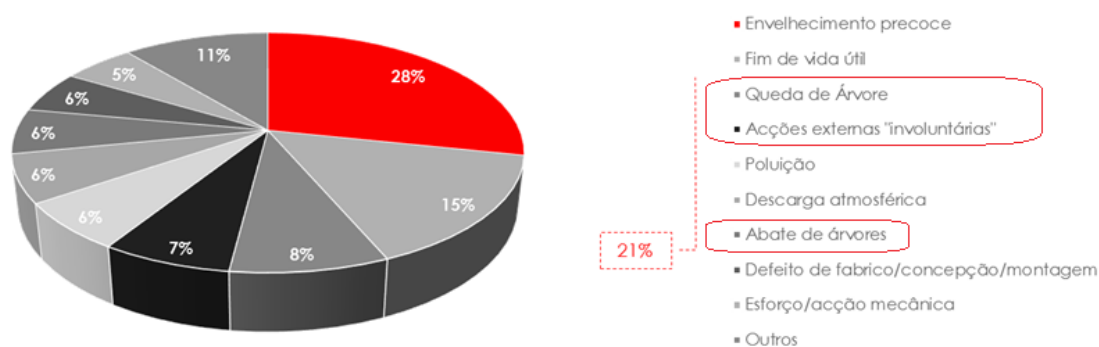


Figura 4.10 - Causas Raiz de Incidentes de longa duração afetos a condutores[15].

Tal como se observa na figura 4.10, 21% das causas raiz surgem de agentes terceiros, cuja ocorrência é, geralmente, aleatória. Estas falhas são de difícil, ou impossível, prevenção, pressupondo que as faixas de proteção de vegetação e arborização se verificam devidamente cumpridas.

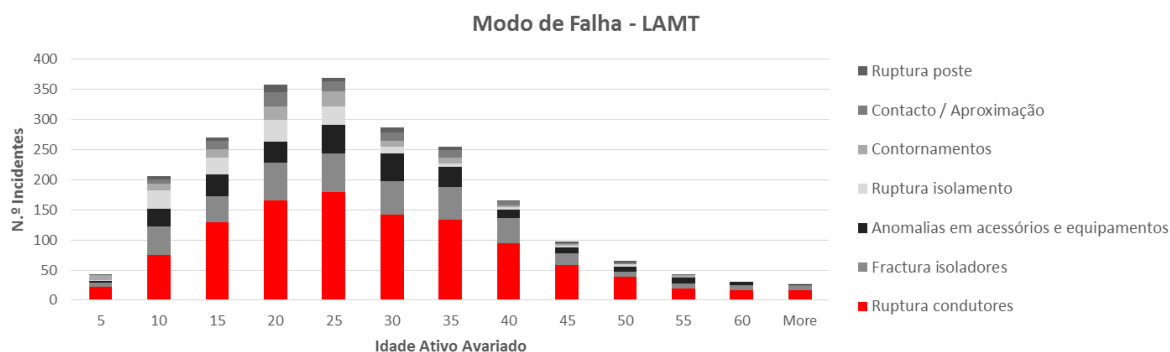


Figura 4.11 - Caracterização dos Modos de Falha que provocam interrupções de longa duração, por idade do ativo[15].

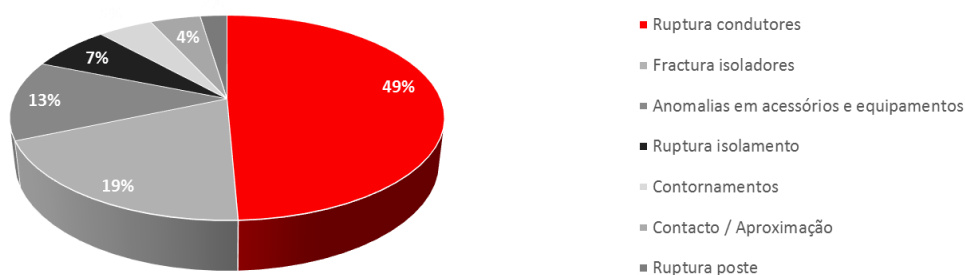


Figura 4.12 - Modos de Falha de Incidentes de longa duração[15].

Em conclusão, as figuras 4.11 e 4.12 apontam para que as causas raiz: envelhecimento precoce e o fim da vida útil constituam os principais responsáveis pela falha de ativos na RND em MT. Assim, pode-se especular acerca da existência de uma deficitária montagem/construção dos ativos, da qual pode resultar a diminuição do ciclo de vida útil dos mesmos, condição que poderá explicar o elevado número de componentes que apresentam defeitos, pouco tempo após a sua entrada ao serviço. Tal problema apenas poderá ser minimizado através de planos de manutenção programada que se realizem no início do ciclo de vida após a instalação.

Capítulo 5

Gestão de Ativos nas Políticas de Manutenção

5.1 - Gestão de Ativos - Definição

O conceito *gestão de ativos*, inicialmente utilizado especificamente na área financeira, é atualmente aplicado, em grande escala, nos mais diversos setores de atividade económica, configurando-se como um dos temas mais estudados e debatidos da última década. A política de *gestão de ativos* é utilizada nos diversos setores de atividade sejam na indústria, comércio e serviços. No que se refere ao setor da eletricidade, a gestão de ativos tem tido variadas interpretações, que diferiram no tempo, tendo em conta o tipo de ativo em causa. Assim, as empresas de transporte e distribuição de energia não constituem uma exceção e a EDP Distribuição tão pouco.

Neste setor em particular, a base do negócio assenta maioritariamente no desempenho dos ativos tangíveis. Um Sistema de Gestão de Ativos proporciona uma abordagem estruturada para o desenvolvimento, coordenação e controlo das atividades relacionadas com os ativos, em todo seu ciclo de vida técnico, de forma a garantir o retorno adequado, assegurar os padrões de qualidade e a segurança do serviço.

5.2 - Gestão de Ativos baseada no risco na EDP Distribuição

A gestão dos ativos com diferentes funções, geograficamente dispersos de norte a sul do país, implementados em diferentes condições e contextos, expostos aos mais variados fatores externos e em condições de exploração distintas de ativo para ativo, configura-se num dos maiores desafios para a EDP Distribuição e também para as diversas empresas do grupo EDP, como a EDP Produção e a EDP Renováveis. Esta política permite uma visão, técnica e financeira, integrada e detalhada da rede de distribuição e possibilita a identificação dos ativos ou setores onde, estrategicamente, se devem manter, reduzir, ou aumentar os investimentos, de forma a obter a relação ideal entre os custos/intervenções na rede e os proveitos, no sentido de

aumentar a vantagem competitiva da empresa, tal como pode observar-se na perspectiva vertical apresentada na figura 5.1.



Figura 5.1 - Universidade EDP - Perspetiva vertical da gestão de ativos na EDP Distribuição, Curso Gestão de Ativos, 21 setembro 2016 [16].

Esta abordagem torna-se particularmente relevante com a liberalização do mercado elétrico, já que os gestores e executivos dão cada vez mais enfoque aos resultados e ao retorno do capital investido pelos acionistas, procurando otimizar o esforço financeiro. Estes objetivos de gestão tornam-se ainda mais relevantes com a entrada no mercado de novas empresas distribuidoras de eletricidade, em resultado da liberalização no setor, colocando uma pressão crescente sobre a EDP Distribuição. A figura 5.2, representa os benefícios introduzidos pelas políticas de gestão de ativos, particularmente no que concerne ao retorno do capital investido.

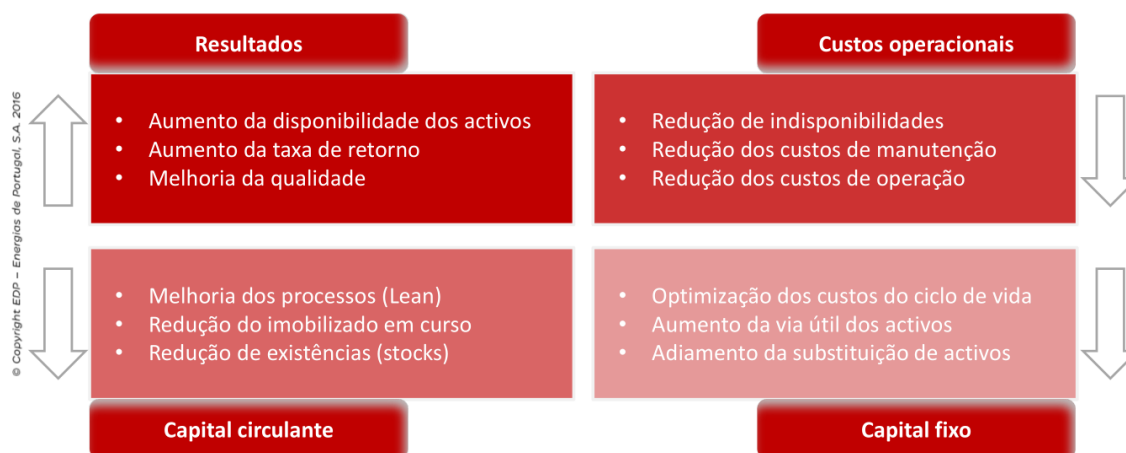


Figura 5.2 - Benefícios de um sistema de gestão de ativos [16].

A UCA (Unidade da Condição e Risco dos Ativos), como o próprio nome sugere, focaliza a sua atividade na avaliação do risco de cada ativo tangível da rede da EDP Distribuição e desenvolve metodologias de análise, para as linhas aéreas, bem como para os elementos integrantes de subestações (transformadores de potência, disjuntores AT e MT, transformadores de medida, entre outros) e ainda, para cabos subterrâneos, cabos de guarda, Órgão de Corte de Rede (OCR's). A gestão de ativos na EDP Distribuição não se resume apenas

aos equipamentos elétricos, abrangendo também a mitigação do risco associado à obsolescência dos sistemas informáticos e a outros ativos correntes da empresa.

A gestão de ativos em prática na EDP Distribuição baseia-se no risco como critério de decisão. O risco é definido como o produto da probabilidade de falha de um evento e as consequências da mesma falha (ISO 31000:2009). A probabilidade de falha pretende refletir a condição atual do ativo e parâmetros envolventes que condicionam o seu funcionamento. As consequências, ou severidade da falha englobam as componentes: “financeira”, que advém da necessidade de reparação/substituição do ativo; “qualidade de serviço”, resultante da energia não fornecida e dos impactos adversos para o cliente; “segurança” que contabiliza os potenciais efeitos de uma falha, tanto para os colaboradores da EDP como para a população em geral; “ambiente” e a componente “Sociedade”, entre muitas outras.

A matriz de risco - demonstração gráfica do risco associado ao ativo - será explicada em detalhe na apresentação do algoritmo utilizado atualmente pela UCA, na gestão de risco de linhas aéreas. O presente trabalho pretende abordar apenas um input da matriz, que é o da probabilidade de falha, intimamente ligado ao índice de saúde. Na vertente das consequências de uma falha, a UCA está neste momento a reavaliar a sua metodologia, de modo a quantificar os impactos decorrentes da falha de um ativo.

A avaliação do potencial de risco inerente de um ativo é o principal desafio desta abordagem. Quantificar o impacto de diversos agentes exteriores, num alargado leque de ativos, é uma tarefa que não se afigura simples e que apresenta baixo nível de previsibilidade. Os parâmetros devem ser vistos de uma forma holística, ou seja, permitindo a compreensão integral dos fenómenos e não a análise isolada dos seus constituintes. Nesse sentido, a figura 5.3, representa o ciclo de avaliação do risco. Este segue etapas pré-definidas, com intuito de determinar um valor de referência do risco que tenha subjacentes multicritérios e que seja monitorizável, de modo a induzir autorregulação e, por essa via, aumentar a eficiência.

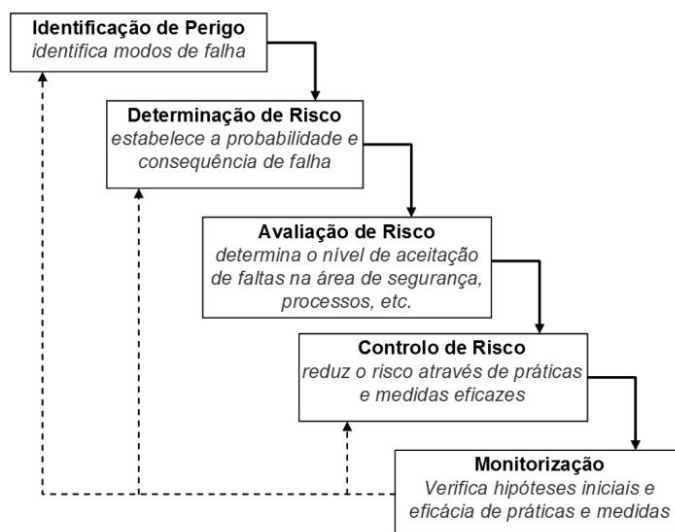


Figura 5.3 - Direção de Manutenção - Planeamento e Controlo da Manutenção, 2012.

Promover uma gestão de ativos assertiva, passa pela correta identificação e caracterização das falhas inerentes. Um olhar atento no controlo e monitorização do risco, concede informações acerca do tipo e do *timing* de ações de manutenção e investimento eficazes, caso a caso, de modo a encontrar um ponto de equilíbrio satisfatório entre desempenho, custo e risco. Este objetivo insere-se nos planos de gestão da EDP Distribuição.

5.3 - Normas ISO 55000:2014

A série de normas ISO (International Organization for Standardization), foram criadas pela Organização Internacional de Padronização, com o objetivo de melhorar a qualidade de produtos, serviços e sistemas, no sentido de conferir qualidade, segurança e eficiência dos processos. As normas ISO são aplicadas em diversas áreas da indústria, existindo atualmente 22166 normas e documentos relacionados, já publicados. A certificação ISO é realizada por empresas especializadas, através de auditorias internas e traz, para além dos diversos benefícios estruturais que em seguida enumerarei, melhorias na imagem perante o mercado e sociedade em geral e, com isso, aumenta as possibilidades de acesso a novos mercados.

A EDP Distribuição, em linha com as suas congéneres europeias, está, atualmente, a investir de forma significativa em Sistemas de Informação, procurando explorar o potencial da digitalização da informação, adaptando-se à alteração do paradigma tecnológico (automação, Big Data, gestão de ativos, entre outras) para dar cumprimento, com qualidade e eficiência, às exigências regulatórias e às expectativas dos agentes de mercado.

Os novos desafios decorrentes da disseminação das smart grids, de efetuar a gestão do ciclo de vida dos ativos em conformidade com as normas ISO 55000, da segregação da gestão do operador de rede de distribuição (ORD) e do comercializador de último recurso (CUR - Entidade titular de licença de comercialização, sujeita à obrigação de serviço universal de fornecimento de energia elétrica, nos termos do Decreto-Lei n.º 185/2003, de 20 de agosto), entre outros, conjugados com alguma obsolescência estrutural dos sistemas de informação atuais, determinaram a necessidade da criação de um novo referencial de processos e sistemas de informação, alinhado com as melhores práticas internacionais.

Para fazer face aos múltiplos desafios referidos, foi lançado em 2015 um programa estruturante, que se estima termine em 2019, para a modernização dos processos e sistemas associados à gestão de ativos e à gestão comercial (Programa JUMP). Esta plataforma digital vem agregar todos os sistemas que até ao momento se encontravam dispersos e sem interligação, o que causava entropias diversas às operações da empresa[17].

As ISO 55000 preconizam um modelo para a gestão de ativos assente em práticas de excelência, que procuram assegurar a competitividade e sustentabilidade do negócio. As ISO 55000, 55001, 55002, são um conjunto de três documentos publicados no início de 2014, que descrevem os termos e definições, os requisitos e as orientações de aplicação para a implementação de um sistema de gestão de ativos. Estas normas promovem a harmonização com outras normas, das quais se destacam a ISO 9001 - Qualidade e a ISO 14001- Ambiente.

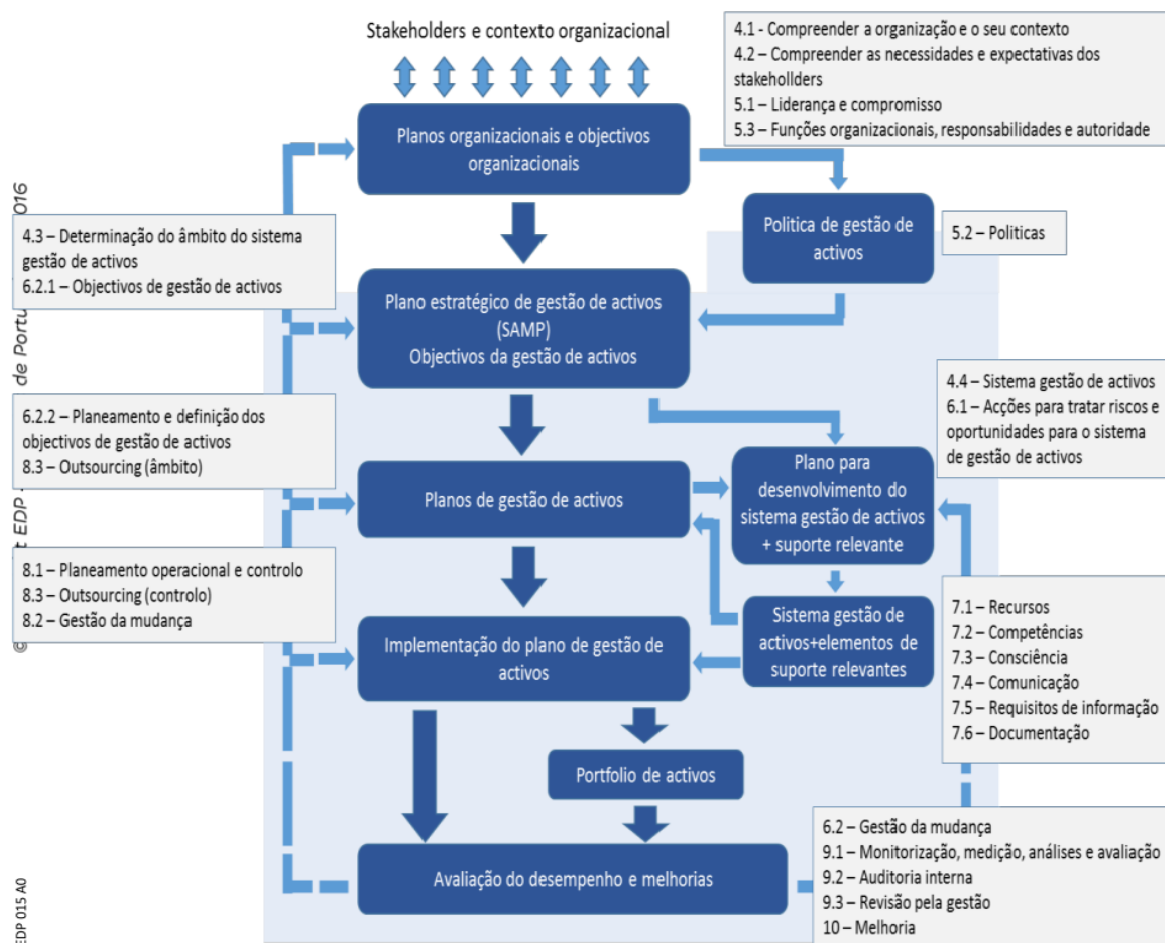


Figura 5.4 - Estrutura de Processos segundo a ISO 55000 [16].

Em seguida cita-se, na íntegra, o compromisso da EDP Distribuição para melhorar a gestão de ativos, agindo em conformidade com as normas ISO 55000, 55001, 55002, atuando nos seguintes termos[18]:

Contexto Organizacional

- Estabelecer objetivos organizacionais que traduzam as necessidades e expectativas dos seus stakeholders⁷.
- Definir funções e responsabilidades no âmbito da gestão de ativos, e as interações com outros sistemas de gestão da empresa (ambiente, risco, continuidade de negócio, processos).
- Disponibilizar aos colaboradores toda a informação e as ferramentas necessárias, e criar condições de acesso a formação específica.
- Releva a importância da contribuição e dedicação individual de todos os colaboradores para o alcance das metas e objetivos da EDP Distribuição - Energia, S.A.

Gestão de Risco e Sustentabilidade

- Gerir ativos técnicos, definir e controlar os ativos mais críticos.
- Gerir proactivamente os riscos em todas as fases do ciclo de vida dos ativos técnicos, desde a identificação da sua necessidade até ao seu abate.
- Desenvolver planos de gestão de ativos sustentáveis, que incorporem a política de gestão de ativos e os objetivos organizacionais, e assegurem a otimização de custos, risco e desempenho.

⁷ Conjunto das entidades envolvidas nas unidades de negócio da empresa.

- Procurar disponibilizar os recursos necessários para alcançar os objetivos de gestão de ativos, através do planeamento integrado (técnico, financeiro, recursos humanos, outsourcing, ...).
- Monitorizar o desempenho dos ativos e do sistema de gestão de ativos.
- Compilar informação relevante para apoiar a tomada de decisões sobre ativos técnicos.
- Basear a decisão no resultado da avaliação de cenários alternativos, que levem em conta, durante o ciclo de vida, os custos, os riscos e o desempenho dos ativos.

Conformidade Legal e Outras

- Identificar todos os requisitos legais, regulatórios, normativos e outros aplicáveis, e a sua incorporação no sistema de gestão de ativos para assim assegurar o seu integral cumprimento.

Stakeholders e Comunicação

- Gerir proactivamente as necessidades e expectativas dos stakeholders, no sentido de assegurar a sua satisfação e resolver potenciais conflitos.
- Assegurar a comunicação e a divulgação de informação relacionada com o desempenho dos ativos e com sistema de gestão de ativos, e da presente Política, aos seus stakeholders relevantes.
- Envolver e incentivar os prestadores de serviços a incorporar nos seus processos, metodologias, práticas e procedimentos conformes com o sistema de gestão de ativos da EDP Distribuição-Energia, S.A.

Inovação

- Estimular a investigação e a troca de experiências relacionadas com tecnologias, processos e metodologias, numa perspetiva de promover o desenvolvimento de novas soluções, técnicas e tecnológicas, e a incorporação de práticas de excelência na gestão de ativos.

Melhoria Contínua

- Definir, implementar e manter um sistema documental abrangente, atualizado e acessível aos stakeholders relevantes.
- Definir metas e objetivos, e implementar ferramentas de suporte, no sentido de medir e avaliar o desempenho dos ativos e do sistema de gestão de ativos.
- Criar o processo de avaliação sistemática do desempenho dos prestadores de serviços, incluindo a avaliação de conformidade das suas práticas e procedimentos com o preconizado pelo sistema de gestão de ativos.
- Estabelecer a periodicidade de avaliação de performance do sistema de gestão de ativos e de incorporação das melhorias identificadas.

A estrutura de processos proposta pelas ISO's 55000, procura o alinhamento dos objetivos organizacionais com as estratégias de gestão, objetivos, planos e atividades operacionais do dia a dia. Fomenta a planificação da gestão de ativos, durante todo o ciclo de vida, a colaboração interdisciplinar, o uso de gestão de risco e decisões baseadas no risco, nos processos da empresa e promove a integração e a sustentabilidade na liderança[19].

A estratégia da EDP Distribuição é sustentada por um perfil de negócio de baixo risco e de eficiência.

5.4 - Manutenção

Para a EDP Distribuição, é fulcral otimizar o modelo de gestão de ativos assente em políticas, procedimentos e sistemas que permitam a gestão efetiva do ativo desde o momento da instalação, até o seu abate físico e financeiro. Esta prática permite prolongar a longevidade de um ativo, sem descuidar o seu desempenho e compromisso técnico/económico.

Segundo o IEC 60300-3-14[20], a manutenção é definida como “a combinação de ações técnicas, administrativas e de gestão, realizadas durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo, ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar, com fiabilidade, a função requerida”.

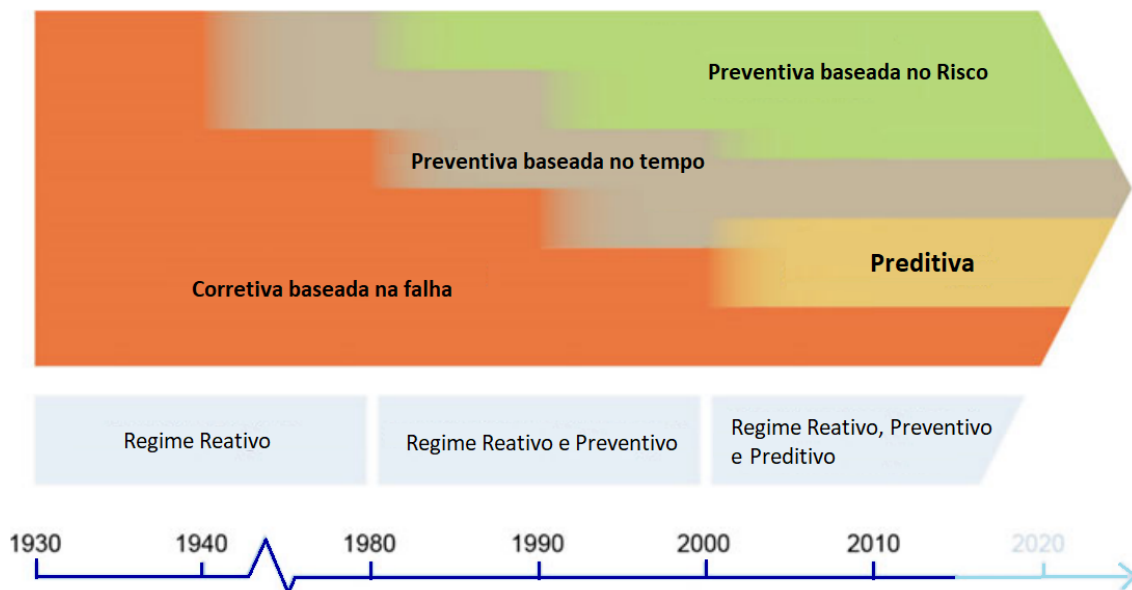


Figura 5.5 - Evolução da política de manutenção aplicada no setor elétrico de distribuição [21].

Pese embora a política de manutenção estar, cada vez mais, a evoluir de uma lógica de regimes reativos (corretiva) para uma lógica preventiva, como demonstra a figura 5.5, ou até para lógicas proativas, é utópico pensar-se que existirá uma transição completa para apenas uma prática ou conceito. As diferentes abordagens coexistirão, porque haverá sempre falhas intempestivas. Porém, a tendência será a de se assistir à realocação gradual do esforço financeiro, até agora aplicado em manutenção corretiva, para as ações de carácter preventivo,

5.5 - Políticas de Manutenção da EDP Distribuição

Atualmente, as políticas de gestão de ativos técnicos estão baseadas num conjunto de atividades e práticas, estruturadas de forma otimizada e sustentada. Estas apoiam-se no equilíbrio entre o risco, desempenho e custo referentes à totalidade da vida útil dos ativos, com o principal propósito de cumprir os objetivos estratégicos. Nesse sentido, a EDP Distribuição adota uma abordagem focada na monitorização e controlo da condição, com intuito de evitar falhas nos ativos, representado na figura 5.6.

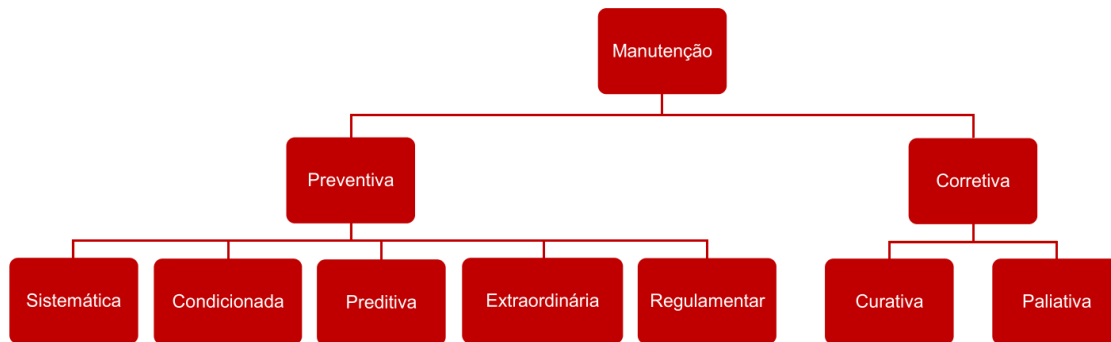


Figura 5.6 - Tipos de Manutenção aplicados pela EDP Distribuição [22].

Segundo o Glossário de termos técnicos de Gestão de Ativos da EDP Distribuição[23], a **Manutenção Preventiva** é definida como uma atividade de manutenção intrusiva destinada a manter ou repor a condição técnica de um ativo, dos seus componentes falhados ou das suas funcionalidades, normalmente sujeitas a desgaste ou deterioração, quer por ação do tempo, quer pelo nível de utilização, quer, ainda, por imposição legal ou regulamentar. Este tipo de manutenção acarreta, inevitavelmente, um maior esforço financeiro inicial em comparação com a manutenção corretiva. Porém, a sua aplicação é compensatória a médio/longo prazo. Este tipo de manutenção pode ser dividido em 5 categorias:

- **Manutenção Preventiva Sistemática (MPS):** ação de manutenção efetuada de forma sistemática, baseada em determinadas estratégias, para repor ou substituir componentes falhados ou elementos sujeitos a desgaste. A estratégia poderá ser baseada no:
 - Tempo (TBM - Time Based Maintenance), traduzida em periodicidades (ex. de 6 em 6 meses)
 - Condição (CBM - Condition Based Maintenance), quando é possível caracterizar a condição técnica dos ativos, normalmente determinada pelo nível de utilização (ex. sobrecarga permanente), da envolvente externa (ex. poluição salina), entre outras.
 - Fiabilidade (CRM- Reliability Centered Maintenance), quando é possível caracterizar a condição técnica dos ativos e a influência de determinados fatores que podem determinar a sua falha, traduzida normalmente num nível de fiabilidade ou de probabilidade de falha.
 - Risco (RBM- Risk Based Maintenance), quando é possível estabelecer a probabilidade ou frequência de falha dos ativos e as respetivas consequências nos valores de negócio da empresa.
- **Manutenção Preventiva Condicionada (MPC):** ação de manutenção que visa a **reposição** da condição técnica de um ativo, na sequência de uma potencial falha, reportada por via do processo de avaliação da condição dos ativos, ações de inspeção, medidas ensaios e diagnósticos.
- **Manutenção Preventiva Preditiva:** baseada na projeção da evolução da condição do ativo, determinada a partir dos dados disponíveis da monitorização de grandezas que possam traduzir a evolução da condição técnica, ou de possíveis sintomas que podem perspetivar a falha do ativo.
- **Manutenção Preventiva Extraordinária:** ação de manutenção profunda, de frequência reduzida (tipicamente 1 a 2 vezes na vida útil do ativo) e com custo capitalizável, cuja realização é prevista no manual de manutenção, que tem como objetivo garantir a

reposição de condição de componentes, de modo a assegurar o bom desempenho do ativo.

- **Manutenção Preventiva Regulamentar:** manutenção exigida por legislação, de carácter obrigatório, aplicável a alguns ativos da rede.

Segundo o mesmo glossário, a **Manutenção Corretiva** pode ser definida como o conjunto de ações destinados a repor a condição técnica de um ativo, na sequência de uma falha funcional. Por norma, uma avaria é dez vezes mais dispendiosa quando comparada à situação em que uma falha pode ser identificada e prevenida[24]. As ações de manutenção corretivas são difíceis de prever, devido ao comportamento estocástico dos elementos do sistema. Este tipo de manutenção divide-se em 2 categorias:

- **Manutenção Corretiva Curativa:** ação de manutenção que visa repor a condição técnica do ativo de forma permanente (reparação definitiva).
- **Manutenção Corretiva Paliativa:** ação de manutenção destinada a repor provisoriamente (reparação provisória) a função do ativo, até à reposição definitiva da função do ativo.

5.6 - Procedimentos aplicados e seu enquadramento

Ações de Manutenção Preventiva Sistemática

Inspeções aéreas integradas - Inspeção visual e termográfica com medição de distâncias, efetuadas por meio aéreo. Este é equipado com inspeção laser (LiDAR) para determinação de distâncias críticas e reprodução tridimensional de ativos e câmara térmica para deteção de sobreaquecimentos/pontos quentes. Simultaneamente, é efetuada uma inspeção visual, construindo um cadastro e identificando as anomalias nos órgãos elétricos e nas estruturas. Este procedimento é elaborado pela EDP - Labeltec, pertencente ao grupo EDP, especializada em testes e ensaios aos ativos e utiliza helicópteros para a condução das inspeções.

Inspeções técnicas visuais pelo solo - Observações a partir do solo, a todos os elementos da Linha Aérea e registo em relatório existente para o efeito. Neste tipo de inspeções está contemplada a medição do valor de resistência de terras em todos os apoios.

As LAAT e LAMT com comprimento igual ou inferior a 100 metros, ou cuja inspeção aérea integrada não é viável, deverão ser alvo, somente, de inspeções técnicas visuais pelo solo. A periodicidade das ações de MPS em Linhas Aéreas de Alta Tensão (LAAT) deverá ser trianual e, penta anual no caso de Linhas Aéreas de Média Tensão (LAMT)[25][26].

Ações de Manutenção Preventiva Condicionada

As ações de MPC consistem na resolução de anomalias detetadas no âmbito das ações de MPS. Das inúmeras ações de MPC em linhas aéreas, distinguem-se:

- Limpeza da faixa - Corte/Decote de árvores da faixa exigida por lei (15m-MT, 25m-AT)
- Marcação de apoios na falta das devidas chapas normalizadas, que contém o número do apoio, a designação da linha e avisos de segurança.
- Limpeza de isoladores - Lavagem, com água sob pressão, das cadeias de isoladores em suspensão ou amarração.
- Melhoria de terras em apoios.

Ronda/Inspeção Ligeira de Linhas Aéreas AT - Execução de percorrido pelo solo de LAAT e LAMT, na sequência de disparos/incidentes verificados nas mesmas, com inspeção por observação a partir do solo, de todos os elementos da linha.

Capítulo 6

Metodologia de Cálculo do Índice de Saúde - EDP Distribuição

Um algoritmo pode ser descrito por um conjunto de operações, sequenciais, lógicas e não ambíguas que, aplicadas a um conjunto de dados, permitem encontrar a solução para um problema[27], neste caso, a seleção e priorização de ativos a incluir no Programa de Renovação e Reabilitação de Ativos AT/MT.

No presente, como demonstrado na figura 6.1, apenas os ativos técnicos identificados com base nos históricos de falha e na informação relativa à condição - recolhidos pelas Áreas Operacionais (AO's), no âmbito das ações de manutenção previstas no manual de manutenção de LAAT e LAMT (ensaios, inspeções e diagnósticos) (Anexo B) - e os ativos técnicos que apresentam uma condição insatisfatória e/ou não apresentem performances que se enquadrem nas definidas pelo regulador, nem pela EDP Distribuição, é que são analisados pela metodologia atual. O objetivo será, no futuro, conseguir aplicar este algoritmo a todos os ativos da rede, de forma massiva, sem realizar uma filtragem prévia dos mesmos.



Figura 6.1 - Ilustração da escolha da carteira de ativos[18]

A necessidade de especificar, com maior detalhe, o circuito em estudo, fez com que a unidade base considerada em gestão de ativos passasse a ser definida por troço de linha, no quadro do programa de estruturação JUMP, substituindo a anteriormente realizada por raiz de circuito. Assim, um dos maiores desafios seria adaptar o método de cálculo à nova abordagem e à realidade da EDP Distribuição, tirando proveito de todos os dados úteis já existentes, indo de encontro às melhores práticas e metodologias já aplicadas em outros países.

O desenvolvimento deste novo modelo de cálculo do índice de saúde (IS), probabilidade de falha (Probability of Failure ou PoF) e vida restante, tem por base dois modelos já existentes:

- A metodologia aplicada atualmente pela UCA.
- A DNO Common Network Asset Indices Methodology desenvolvida pela OFGEM.

Para contextualizar o algoritmo apresentado, facilitar a sua compreensão e conferir a sustentação necessária ao trabalho realizado, são explicados de seguida, dois métodos de cálculo de forma a contextualizar o presente trabalho.

6.1 - Metodologia de Cálculo do Índice de Criticidade de Redes AT e MT

A metodologia de cálculo, desenvolvida em 2010, pela extinta Direção de Manutenção - Departamento de Planeamento e Controlo, nunca foi atualizada ou sofreu qualquer outra alteração. Desenvolvida na ferramenta do Windows, Microsoft Excel, esta metodologia, classifica todos os parâmetros através de um nível discreto. Esta classificação está organizada em cinco níveis, do menos gravoso (Nível 1) ao mais gravoso (Nível 5). A valorização de cada um destes cinco níveis está diretamente relacionada com a sua gravidade, como expressa a figura 6.2. O cálculo do índice de falha, output da metodologia, é obtido através da junção do IS com o índice de fatores externos, nas percentagens de 90% e de 10% respetivamente.



Figura 6.2 - Composição do Índice de Falha e valorização de cada nível de valorização.

O IS está subdividido em 3 categorias, de igual peso (30%):

- Características Técnicas - reflete as características físicas do ativo e a idade do mesmo.
- Condição Técnica - engloba as informações recolhidas em inspeções termográficas e visuais, realizadas periodicamente, englobando, também, informações como o número de ligadores TET e paralelos, que têm origem em informação operacional.
- Características Ambientais - repercute o meio onde o ativo se encontra inserido.

Tais informações podem ter três proveniências possíveis. A primeira fonte de informação é o “Sistema de Informação Técnica - Design Manager” ou SIT-DM. Este é um software de suporte, que permite o mapeamento e cadastro dos ativos da rede de distribuição. No SIT é possível consultar a informação georreferenciada dos ativos, mas também dos “obstáculos” de origem natural ou humana, como os cursos de água, vegetação, zonas com estatuto de proteção ambiental, construções, entre outros, que tenham sido carregados previamente no sistema. A segunda fonte de informação é a inspeção visual aérea, integrada na MPS, sob a forma de anomalias categorizadas em função da gravidade. Por último, a terceira fonte de informação resulta da designada Informação Operacional, que consiste no report feito pelos colaboradores da EDP Distribuição, mais especificamente das AO’s. Verifica-se assim, uma clara dependência

do conhecimento empírico dos técnicos que, habitualmente, se deslocam ao terreno para parametrizar corretamente os fatores em estudo. A tabela 1, apresenta as ponderações atribuídas na metodologia de cálculo do índice de criticidade de redes AT e MT atualmente em uso na EDP Distribuição.

Tabela 1 - Ponderações da metodologia em uso.

			Graus de Valorização					Pesos IS	
Categor ia	Parâmetro	Tecnologia	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Global	Aquisição
			0	25	50	75	100		
Características Técnicas - 30 %	Idade	Todas	I < 20 anos	20 anos ≤ I < 30 anos	30 anos ≤ I < 40 anos	40 anos ≤ I < 50 anos	I ≥ 50 anos	10%	Sistemas Corporativos (SIT)
	Tipo de condutor	Alumínio-Aço	AL-Aço > 90 mm2	50 mm2 < AL-Aço ≤ 90 mm2	30 mm2 < AL-Aço ≤ 50 mm2	AL-Aço = 30 mm2	AL-Aço ≤ 20 mm2	20%	Sistemas Corporativos (SIT)
		Cobre	Cu > 50 mm2	25 mm2 < Cu ≤ 50 mm2	16 mm2 < Cu ≤ 25 mm2	Cu = 16 mm2	Cu ≤ 10 mm2		
		Liga de alumínio (Série ASTER)	Aster > 70 mm2	40 mm2 < Aster ≤ 70 mm2	Aster ≤ 40 mm2	-	-		
	Tipo de isolamento	MT	3*AAB 508	3*AAB 1404	2*AAB 508	2*AAB 1404	Rígidos (ALD, ARD...)	20%	Informação Operacional
		AT	6*U100 BLP	6*U70 BS	5*U70 BS	5*AAB 508	4*AAB 508		
	Tipo de poste	Todas	Poste ferro (tipo F)	Poste Betão (MP e MM)	Poste Betão (tipo B)	Poste reticulado (tipo R)	Poste Elástico	10%	Sistemas Corporativos (SIT)
	Tipo de Armações	Todas	Galhardete (GAL e GAN)	TAN	TAL	Esteira Vertical (VAL, VAN)	Esteira Horizontal (HAL, HAN)	10%	Informação Operacional
	Cabo de Guarda	Todas	75 a 100 % cobertura linha	50 a <= 75% cobertura linha	25 a <= 50% cobertura linha	0 a <=25% Cobertura	0% cobertura linha	5%	Sistemas Corporativos (SIT) / Informação Operacional
	Órgãos de Corte (Nº)	Todas	0	1	2	3	≥ 4	15 %	
	Comprimento linha	Todas	L < 1 Km	1 km ≤ L < 2 Km	2 km ≤ L < 5 Km	5 km ≤ L < 10 Km	L ≥ 10 Km	10%	
Condição Técnica - 30 %	Maciços	Todas	Maciços - danos/Movimentação de terras/soterrados Un (B)=0 e Un (C)=0	Maciços - danos/Movimentação de terras/soterrados 5<Un (C)> 0	Maciços - danos/Movimentação de terras/soterrados Un (C)=> 5	Maciços - danos/Movimentação de terras/soterrados 5<Un (B)> 0	Maciços - danos/Movimentação de terras/soterrados Un (B)=> 5	10%	Inspeção Visual Aérea

Travessas	Todas	Travessas - corrosão\Inclinadas\deslocadas Un (B)=0 e Un (C)=0	Travessas - corrosão\Inclinadas\deslocadas 5<Un (C)> 0	Travessas - corrosão\Inclinadas\deslocadas Un (C)=> 5	Travessas - corrosão\Inclinadas\deslocadas 5<Un (B)> 0	Travessas - corrosão\Inclinadas\deslocadas Un (B)=> 5	5 %	
Postes	Todas	Postes - Ferro à vista/Fissuras/lascado/danificado Un (B)=0 e Un (C)=0	Postes - Ferro à vista/Fissuras/lascado/danificado 5<Un (C)> 0	Postes - Ferro à vista/Fissuras/lascado/danificado Un (C)=> 5	Postes - Ferro à vista/Fissuras/lascado/danificado 5<Un (B)> 0	Postes - Ferro à vista/Fissuras/lascado/danificado Un (B)=> 5	10%	
Contornamentos	Todas	Isoladores contornados Un (B)=0 e Un (C)=0	Isoladores contornados 5<Un (C)> 0	Isoladores contornados Un (C)=> 5	Isoladores contornados 5<Un (B)> 0	Isoladores contornados Un (B)=> 5	10%	
Estado isoladores	Todas	Isoladores sujos/oxidados Un (B)=0 e Un (C)=0	Isoladores sujos/oxidados 5<Un (C)> 0	Isoladores sujos/oxidados Un (C)=> 5	Isoladores sujos/oxidados 5<Un (B)> 0	Isoladores sujos/oxidados Un (B)=> 5	5%	
Estado acessórios	Todas	Acessórios com desgaste/torcidos /inclinados/corrosão Un (B)=0 e Un (C)=0	Acessórios com desgaste/torcidos /inclinados/corrosão 5<Un (C)> 0	Acessórios com desgaste/torcidos /inclinados/corrosão Un (C)=> 5	Acessórios com desgaste/torcidos /inclinados/corrosão 5<Un (B)> 0	Acessórios com desgaste/torcidos /inclinados/corrosão Un (B)=> 5	5%	
Estado Cabo Guarda	Todas	Cabos de Guarda/Acessórios - Desgaste/corrosão/danificados Un (B)=0 e Un (C)=0	Cabos de Guarda/Acessórios - Desgaste/corrosão/danificados 5<Un (C)> 0	Cabos de Guarda/Acessórios - Desgaste/corrosão/danificados Un (C)=> 5	Cabos de Guarda/Acessórios - Desgaste/corrosão/danificados 5<Un (B)> 0	Cabos de Guarda/Acessórios - Desgaste/corrosão/danificados Un (B)=> 5	5 %	
Estado Condutor	Todas	Condutores/Acessórios - Danificados/Desapertados/Danificados Un (B)=0 e Un (C)=0	Condutores/Acessórios - Danificados/Desapertados/Danificados 5<Un (C)> 0	Condutores/Acessórios - Danificados/Desapertados/Danificados Un (C)=> 5	Condutores/Acessórios - Danificados/Desapertados/Danificados 5<Un (B)> 0	Condutores/Acessórios - Danificados/Desapertados/Danificados Un (B)=> 5	10%	Informação Operacional
Nº de Uniões	Todas	Un = 0	Un = 1	Un = 2	Un = 3	Un ≥ 4	10%	
Nº ligadores bico-móvel (TET)	Todas	Lig. CD ≤ 6	6 < Lig. CD ≤ 12	12 < Lig. CD ≤ 18	18 < Lig. CD ≤ 24	Lig. CD ≥ 25	10%	

Características Ambientais - 30 %	Nº Ligadores paralelos	Todas	Lig. paralelo ≤ 6	$6 < \text{Lig. paralelo} \leq 12$	$12 < \text{Lig. paralelo} \leq 18$	$18 < \text{Lig. paralelo} \leq 24$	Lig. paralelo ≥ 25	10%	
	Inspeção Visual, Termográfica e Med. Distâncias MT/AT	Todas	$1 \leq \text{Insp MT} < 2$ ano $1 \leq \text{Insp AT} < 2$ ano	$2 \leq \text{Insp MT} < 3$ ano	$3 \leq \text{Insp MT} < 4$ ano $2 \leq \text{Insp AT} < 3$ ano	$4 \leq \text{Insp MT} < 5$ ano	MT - Insp ≥ 5 anos AT - Insp ≥ 3 anos	10%	
	Arborização - Vegetação na FP	Todas	Sem árvores	Árvores de fruto	Carvalhos Azinheiras Oliveiras	Resinosas (Pinheiro Bravo, ...)	Árvores crescimento Rápido (Eucaliptal, Mimosas, ...)	40%	Informação Operacional
	Tipo de Poluição	Todas	Sem poluição	Poluição Industrial	Poluição Marítima - $1 \text{ km} \leq \text{dist. mar} \leq 5 \text{ km}$	Poluição Marítima - $< 1 \text{ km}$ do mar	Poluição Marítima + Poluição Industrial	30%	
	Avifauna	Todas	Sem Aves	Outras aves	Estorninhos	Cegonhas	Estorninhos + Cegonhas	20%	
	Índice Cerâmico	Todas	Até 6	Entre 6 e 11	Entre 11 e 16	Entre 16 e 21	> 21	10%	Estudo do IPMA

Como referido anteriormente, uma das formas de recolha de informação sobre a condição das linhas aéreas é baseada em inspeções termográficas e visuais (figura 6.3) a que todas as linhas são sujeitas periodicamente (indicadores da condição de fundações e postes, das cadeias, do estado dos condutores e os pontos quentes).

As anomalias visuais, resultado das inspeções são classificadas segundo três níveis de gravidade, A, B e C, sendo:

- Classificação A - Necessita de intervenção, justificando-se uma ação isolada. Nesta classificação deverão estar incluídas todas as inconformidades/anomalias que devem ser alvo de intervenção, para que possa ser reposta a condição desses ativos com a maior brevidade possível.
- Classificação B - Justifica uma intervenção a efetuar no âmbito de uma ação concertada. Nesta classificação deverão estar incluídas todas as anomalias que não representando qualquer perigo imediato, devam ser corrigidas em eventuais ações de manutenção programada.
- Classificação C - Não necessita intervenção, mas deverá registar-se e acompanhar a condição técnica do ativo.

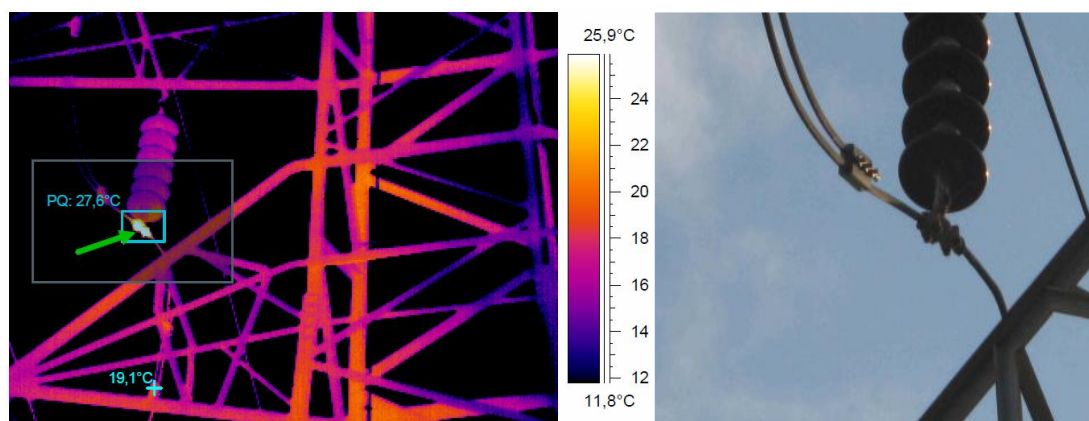


Figura 6.3 - Exemplo de uma anomalia, termografia pelo solo, ponto quente no ligador, MPS, Labelec 2011.

Nesta classificação deverão estar incluídas todas as anomalias que, embora não representando qualquer perigo, indicam que o ativo começa a apresentar alguma degradação. A metodologia atual desconsidera as anomalias do tipo A, pois o report destas anomalias origina ações de intervenção urgente com vista à sua resolução. Nesta metodologia, na categoria condição técnica, representada na tabela 1, as anomalias são parametrizadas em 5 níveis, ordenados, segundo a sua gravidade e atendendo ao número de anomalias definidos em intervalos de 5 unidades.

Outras informações, como o número de ligadores TET e ligadores paralelos têm origem na informação operacional. Para consideração do índice ceráunico, foi realizado um estudo com base em informação solicitada ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera, que atribui um determinado valor, organizado por concelho.

O Índice de Fatores Externos é calculado de forma idêntica, como se observa na tabela 2.

Tabela 2 - Fatores Externos Impactantes.

			Graus de Valorização						Pesos FE	
Categori a	Parâmetro	Tecnologia	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Global	Aquisição	
Fatores Externos Impactantes - 10 %	Incêndio	RSFGC	Todas	RSFGC = 1 ano	RSFGC = 2 anos	RSFGC = 3 anos	RSFGC = 4 ano	Sem RSFGC	10%	Informação Operacional
		Zonas Geográficas	Todas	Zona sem risco de incêndio	Zona de baixo risco	Zona de risco moderado	Zona elevado risco de incêndio	Zona de muito elevado risco de incêndio	10%	
	Furtos		Todas	Linhas de AL-Aço (zona de baixa incidência de furtos)	Linhas de AL-Aço (zona de grande incidência de furtos)	Linha em Cu (zona de baixa incidência de furtos)	Linha em Cu (zona de média incidência de furtos)	Linha em Cu (zona de grande incidência de furtos)	15%	
	Inundação		Todas	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	15%	
	Tipo de Solo		Todas	Rochoso	Argiloso	Siltoso	Arenoso	Pantanoso	10%	
	Eventos Atmosféricos Extremos		Todas	Muito baixa incidência	Baixa incidência	Incidência moderada	Alta Incidência	Muito Alta Incidência	10%	
	Risco Sísmico		Todas	Aceleração Sísmica ≤ 2m/s²	2m/s² < Aceleração Sísmica ≤ 3m/s²	3m/s² < Aceleração Sísmica ≤ 4m/s²	4m/s² < Aceleração Sísmica ≤ 5m/s²	5m/s² < Aceleração Sísmica	15%	Estudo EDP/FCTUC/ACIV
	Zona de Nemátodo		Todas	Não	-	-	-	Sim	15%	Informação Operacional

À semelhança do índice ceráunico, eventos atmosféricos extremos, risco sísmico e as zonas de furtos, estão organizadas por concelhos, baseadas em estudos prévios. Portanto, basta conhecer o concelho onde os ativos se inserem para se correlacionar o respetivo valor. Para obtenção do valor do risco sísmico, foi realizado um estudo em parceria com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e a Associação para o Desenvolvimento da Engenharia Civil. Para as zonas de furtos, o risco foi definido através da análise da base de dados da empresa, sinalizando-se os concelhos com mais incidências e diferenciando a gravidade do nível pelo material/tecnologia do condutor utilizado (Alumínio ou Cobre). No caso dos eventos atmosféricos extremos, a valorização deste parâmetro é efetuada com base nos mapas elaborados por um estudo do IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) com o ICAT (Instituto de Ciência Aplicada e Tecnologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa), em que é calculada a correlação entre o histórico de ocorrências e as suas consequências em termos de indicadores de continuidade de serviço, de modo a aferir os concelhos em que a incidência de fenómenos atmosféricos extremos provoca um maior condicionamento na rede. No quadro dos fatores externos, é considerado, ainda, o nemátodo do pinheiro - verme microscópico causador da doença da murchidão dos pinheiros. O sintoma principal é o súbito declínio e morte da árvore atacada, num período que pode variar entre algumas semanas e vários meses[28]. Em Portugal, existem várias zonas de árvores afetadas, espalhadas geograficamente. Quando da doença resulta a queda total da árvore, ou de ramos de dimensões não desprezáveis, as linhas imediatamente contíguas são afetadas, causando perturbações do abastecimento de energia elétrica, decorrentes da quebra de isoladores,

rotura dos condutores e, no pior dos casos, da rotura dos condutores acompanhada da queda dos apoios.

Os pesos dados a cada categoria, foram discutidos, na altura, entre os engenheiros que construíram a metodologia e ponderados numa proporção que se julgava adequada, tendo em conta o comportamento real dos ativos.

Da ponderação dos fatores: Características Técnicas, Condição Técnica, Características Ambientais e Fatores Externos Impactantes, resulta o Índice de Falha, assumindo valores que podem variar entre 0 e 100, posteriormente traduzidos numa escala de 1 a 5, em função da sua gravidade. De acordo com as práticas utilizadas ao nível de gestão de risco no setor, a *Matriz de Risco*⁸ assume-se como uma ferramenta capaz de efetuar a mensuração do risco inerente e a determinação objetiva e visualmente explícita, do nível de controlo sob o risco. A combinação entre o índice de falha e do seu impacto, é classificada numa matriz de dimensões 5x5, 25 quadrantes, conforme indicado na figura 6.4.

No que toca à criticidade da falha, a severidade do impacto é graduada em 5 níveis: Baixo, Médio, Alto, Crítico e Muito Crítico. Tais níveis caracterizam os 5 valores de negócio impactantes: Segurança de Pessoas, Sustentabilidade Ambiental, Sociedade, Qualidade de Serviço e Económicos. Quanto à aferição do impacto, não se verifica uma escolha assente na média ponderada dos fatores de impacto, mas sim, no ou nos majorantes dos valores de negócio.

Matriz de Risco - Metodologia PRA											
EDP Distribuição - Gestão Riscos Empresariais											
Impactes							Índice de Falha				
Valores de Negócios	Segurança de Pessoas	Ambiente	Sociedade	Qualidade de Serviço	Relações Económicas						
							80 a 100	60 a 80	40 a 60	20 a 40	0 a 20
							Muito Elevado	Elevado	Médio	Baixo	Muito Baixo
							5	4	3	2	1
Nível de Severidade	5	Muito Crítico	Muito Crítico	Muito Crítico	Muito Crítico	Muito Crítico	I1	I2	I4	M5	M1
	4	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	I3	I5	M6	M2	A10
	3	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	I6	M7	M3	A9	A6
	2	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	M8	M4	A8	A5	A3
	1	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	A11	A7	A4	A2	A1

Figura 6.4 - Matriz de Risco para Análise de Linhas Aéreas[18].

A matriz diferencia o risco em três níveis através de cores:

- Aceitável - Verde (quadrantes A1 a A11): O risco é considerado tolerável, não sendo necessárias medidas adicionais de monitorização da sua condição.
- Moderado - Amarelo (quadrantes M1 a M8): O risco pode e deve ser mitigado através da implementação de medidas corretivas, se estas se justificarem economicamente. Devem também ser implementadas medidas que previnam a evolução do risco.

⁸ Documento estratégico da organização onde está refletido o grau de aceitabilidade de Risco, constituindo uma importante ferramenta para avaliação do risco. A matriz de risco correlaciona a probabilidade (ou frequência) de ocorrência de eventos ou Falhas, com os impactos nos valores de negócio (consequências).

- Inaceitável - Vermelho (quadrantes I1 a I5): O nível de risco ultrapassa a tolerância das políticas e da gestão que se pretende implementar, pelo que se devem aplicar soluções mitigadoras ao nível do índice de falha, ou ao nível do impacto da mesma. Devem ser estudados os cenários da reabilitação versus substituição, de modo a aferir a solução ótima.

6.2 - Considerações Finais

Aquando da sua criação esta metodologia representou um passo significativo para a melhoria progressiva da gestão técnica, financeira e dos parâmetros gerais de continuidade de serviço. A sua adoção como ferramenta de decisão, foi efetivada após um período de testes no distrito de Setúbal, que se revelou benéfico e apropriado aos objetivos pretendidos. Contudo, esta metodologia apresenta oportunidades de melhoria e, principalmente, não está adaptada à análise de *troços de rede*, nova referência de estudo na gestão de ativos na EDP Distribuição.

Na Característica Técnica, o primeiro fator que sobressai é a utilização total de níveis discretos. A utilização de níveis discretos deve ser evitada nos parâmetros onde tal é possível, sob pena de todos os ativos em estudo serem classificados no mesmo nível, não se criando a dispersão necessária para a análise adequada. Ao parametrizar a idade e a secção em intervalos, fatores que se considera serem dos mais importantes e dos poucos em que se pode realmente obter valorizações de forma contínua, esta metodologia falha à partida em diferenciar os ativos. Esta metodologia beneficia os ativos que padecem de falta de informação, ao classificar como de nível 1, menos gravoso, os ativos na falta da mesma.

A ausência de diferenciação entre níveis de tensão (apenas utilizada na diferenciação do tipo de isolamento, mais concretamente nas cadeias de isoladores), desconsidera a atenção redobrada que é dada pela EDP Distribuição em MPS (ex: periodicidade 3 anos (AT) versus 5 (MT) nas inspeções aérea), desconsidera a distância entre o solo e os condutores (maior, por lei, na AT[1]); as faixas de limpeza e corte de árvores (15 metros em MT, 25 metros em AT) que fazem com que existam menos perturbações no sistema, pois a incidência de quedas de árvores e ramos, toques acidentais de guias, entre outros agentes exteriores é importante. Por fim, a rede de distribuição em MT possui, em contraste com a AT, vários consumidores e produtores a si ligados, que pelo simples facto de existirem, aumentam a degradação da linha, por via de curtos-circuitos e perturbações a montante.

A metodologia penaliza o índice de saúde de raízes de circuito de maior dimensão já que se baseia apenas no comprimento o que, por si só, não tem uma relação direta com a condição da linha. A introdução deste fator é lógica, uma vez que existe necessidade de sinalizar linhas de maior comprimento, onde a degradação da condição técnica estará relacionada com o efeito aditivo da degradação dos vários componentes individuais do mesmo. No entanto, numa circunstância de clara insuficiência de informação quanto a todos os componentes e ausência de dados históricos, generalizar que o estado de saúde da linha se encontra pior, pelo facto de esta ser de maior dimensão, traz imprecisões ao cálculo da metodologia. A utilização de intervalos unitários em detrimento de taxas no “Número de Órgãos de Corte”, constitui mais uma agravante para as linhas de maior dimensão, onde é expectável a existência de maior número de seccionadores e OCR's.

Na Condição Técnica, a metodologia, à semelhança do “Número de Órgãos de Corte”, não considera o número de anomalias reportadas por taxas, desprezando o número de apoios, cadeias de isoladores ou comprimento do condutor. Como os níveis estão definidos em grupos

de cinco anomalias, de menor para maior gravidade, será previsível que uma raiz de circuito com maior quantidade de elementos (apoios, isoladores, comprimento dos condutores), possa revelar mais anomalias reportadas pela EDP-Labelec em voos inspeccionais, quando comparada com uma de menor comprimento. Situação idêntica acontece, também, com o parâmetro “Ligadores TET”, em que não se estabelece um rácio de ligadores por comprimento de linha.

Quanto aos Fatores Externos Impactantes, considera-se que os parâmetros Eventos Atmosféricos Extremos e o Risco Sísmico são excessivamente considerados, aos quais não deve ser dada a ponderação atual. No que se refere aos Eventos Atmosféricos Impactantes, é questionável que se assuma que um ativo está sujeito a determinadas condições atmosféricas com referência apenas nos indicadores de análise do seu concelho. Como se sabe, os agentes exteriores dependem da morfologia do terreno, das condições envolventes, da sua orientação, norte ou sul, entre outras. Também, os ativos localizados na fronteira de concelho são diferentemente valorizados, apesar de estarem sujeitos às mesmas condições. O parâmetro Eventos Atmosféricos Extremos foi obtido através correlação de históricos de ocorrência de eventos atmosféricos extremos e as suas consequências em termos de indicadores de continuidade de serviço por concelho. Porém, correlacionar a existência de fenómenos extremos num concelho, em função de tempos médios de interrupção, é errado do ponto de vista que este é insensível à condição da rede de distribuição, que em pior estado tenderá maior probabilidade de ficar fora de serviço ou mesmo à existência de segurança N-1.

Os furtos foram um indicador valorizável durante o período de crise, quando o preço nos mercados mundiais do cobre estava cotado de forma elevada. Contudo, de acordo com o feedback dos operacionais da Área Operacional (AO) do Porto, os roubos de material diminuíram consideravelmente com a melhoria económica do país, com a redução do preço do cobre e com as parcerias estabelecidas pela EDP com sucateiros de modo a recusarem material de origens duvidosas. Porém, o que se considera mais relevante é o facto de quando existem roubos, estes incidirem maioritariamente sobre transformadores de potência de PT's e rede de terras em subestações. Aos condutores são afetos apenas cerca de 10 % dos roubos e vandalismo de ativos da rede (Registo de Incidentes - 2017).

Capítulo 7

Metodologia OFGEM - DNO Common Network Asset Indices Methodology

A OFGEM - Office of Gas and Electricity Markets, é o regulador dos mercados de eletricidade e gás na Grã-Bretanha, à semelhança da ERSE em Portugal. A metodologia “DNO Common Network Asset Indices Methodology”, normalmente apelidada como metodologia OFGEM, foi elaborada pelos seis DSO do Reino Unido, em colaboração com o regulador britânico e com suporte tecnológico da EA Technology Ltd. e da Walker & Watts Ltd., de modo a introduzir requisitos de *report* regulatório, para que os distribuidores apresentem informação sobre a saúde e criticidade dos seus ativos. Esta metodologia permitiu à OFGEM, identificar zonas de pior performance e redistribuir o investimento de forma a reduzir o risco de exploração. A informação reportada, permite identificar o risco do ativo através de uma matriz de risco de tamanho (4x5): 4 bandas para o índice de criticidade e 5 bandas para o índice de saúde. Esta metodologia aplica os mesmos princípios genéricos a linhas aéreas, cabos subterrâneos, disjuntores e transformadores, divididos por tensão (11kV, 20kV, 33kV, 66kV)[29].

A metodologia relaciona o IS com a probabilidade associada de uma falha (PoF), baseando-se na condição do ativo.

7.1 - Índice de Saúde (Health Score)

O IS é representado por uma escala contínua entre 0,5 e 10. O valor 0,5 da escala, representa o IS expectável para um ativo novo, e o valor 5,5 representa o momento da vida útil do ativo em que é expectável terem início os sinais observáveis de deterioração significativa. Neste ponto, a PoF é aproximadamente o dobro do valor comparativamente ao ativo no seu estado original. O IS de valor 10, valor máximo da escala, representa um ativo em condições extremamente deficientes, onde a PoF é dez vezes superior à de um ativo novo (gráfico 7.1).

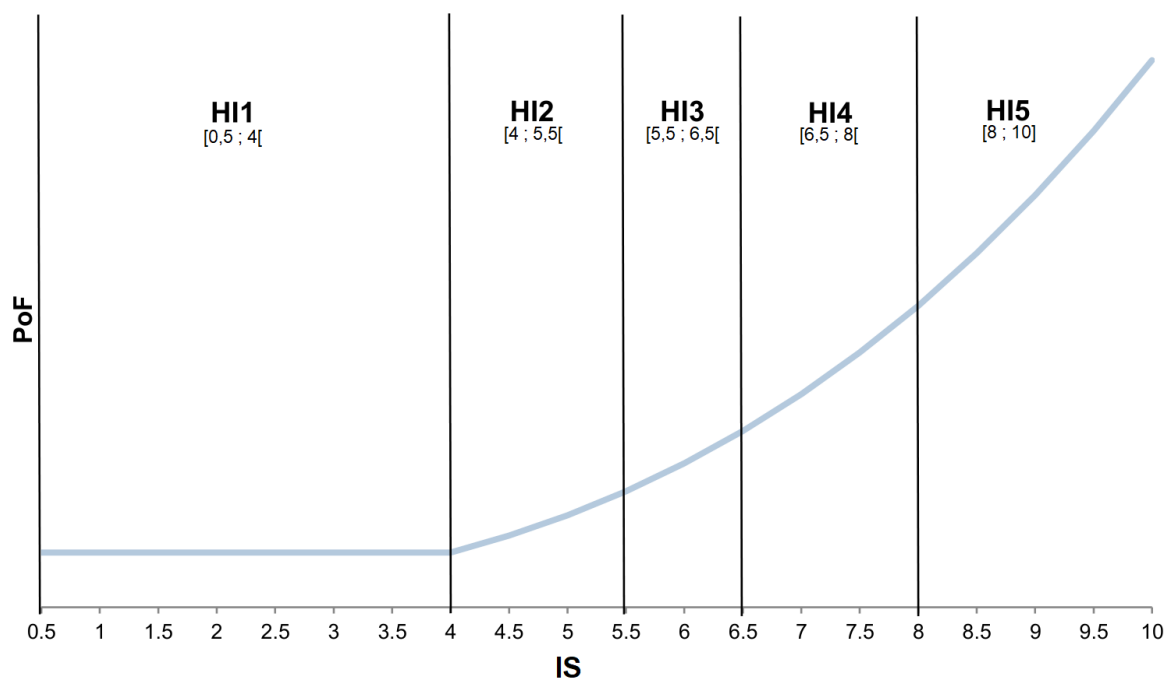


Figura 7.1 - Probabilidade de Falha associada ao índice de Saúde

7.2 - Probabilidade de Falha (PoF - Probability of Failure)

O cálculo da probabilidade de falha funcional por ano é derivado de uma função cúbica, baseada nos primeiros três termos da série de Taylor para uma função exponencial, de modo a descrever a situação em que a probabilidade aumenta com maior rapidez à medida que a saúde do ativo se degrada, mas de forma controlada. Esta equação é genérica a todos os tipos de ativos analisados na metodologia OFGEM, diferindo apenas nas constantes utilizadas.

$$PoF = K \times \left[1 + (C \times H) + \frac{(C \times H)^2}{2} + \frac{(C \times H)^3}{3!} \right], \quad (7.1)$$

Onde:

- $H = IS$, se $IS \geq 4$
- $H = 4$, se $IS \leq 4$

O valor do parâmetro C , igual para todos os ativos, funciona como offset, de modo a que a PoF de um ativo no seu pior estado ($IS = 10$), seja dez vezes maior que um ativo novo ($IS = 0,5$). A constante K , foi calculada pela equipa da OFGEM, utilizando dados acerca do número de falhas funcionais por ano, por ativo e por distribuição do IS pela população do tipo de ativo, com informação recolhida na base de dados de incidentes dos seis DNO's, ao longo de cinco anos. No caso de ativos lineares, como os condutores elétricos, o K foi calculado por falhas funcionais, por quilometro e por ano, de acordo com a tabela de falhas funcionais descritas pela OFGEM, exemplificadas na tabela 4, sendo os valores aplicados os constantes da tabela 3.

Tabela 3 - Constantes Probabilísticas.

Categoria de Ativo	K	C
Poste Betão Armado	0.0285%	1.087
Torre Metálica	0.0545%	1.087
Isolador	0.0096%	1.087
Condutor (1km)	0.008%	1.087

Na metodologia OFGEM, a análise do IS incide sobre o ativo individual separadamente (apoio, isoladores, condutor), enquanto a metodologia da EDP Distribuição, faz a gestão de risco com menos granularidade, pois a análise incide sobre a raiz de circuito. Nesta metodologia são calculados dois índices de saúde: o IS atual (Current Health Score) e o IS futuro (Future Health Score). O IS futuro é calculado para verificar a probabilidade de falha de um ativo no decurso de um determinado período de tempo (anos), ou para prever o impacto de possíveis intervenções no ativo e na sua PoF. Contudo, a implementação desta metodologia, no quadro atual da EDP Distribuição, foi considerada inexecutável, atendendo à inexistência de uma base de dados suficientemente robusta, sistematizada, que a pudesse suportar. Não existe um conjunto de informações sistematizada relevante a todos os elementos essenciais referente a um período de cinco anos.

A avaliação da PoF considera as falhas funcionais do ativo, isto é, as que provocam a incapacidade de um ativo realizar a sua função. Nem sempre as causas determinantes da interrupção do serviço se encontram corretamente identificadas. Essas falhas estão divididas em três subcategorias, referidas na tabela 4.

Tabela 4 - Subcategorias consideradas como falhas funcionais.

Functional Failure Type	Description
Catastrophic	A sudden and total failure from which recovery of the asset (and or sub component) is not feasible.
Degraded	A significant failure associated with advanced degradation.
Incipient	A minor failure associated with early stage degradation.

Estes tipos de falhas funcionais são mencionados e listados em detalhe para cada categoria de ativo. A tabela 5, a título de exemplo, identifica as falhas dos ativos e categoriza-as em função das subcategorias. As falhas decorrentes de terceiras partes não são listadas como falhas funcionais.

Tabela 5 - Falhas funcionais por ativo.

Asset Category	Function	Failure modes	Catastrophic Failure	Degraded Failures	Incipient Failures	Functional failures excluded
Towers	Support electrical equipment in compliance with the ESQCR.	Corrosion or distortion of the structure, i.e. bent member, failing foundations.	Any structure whose components have either failed (broken) or whose residual strength has decreased to a level where immediate replacement of all or part of the structure is required.	Any component of the structure whose condition is such that it prevents normal operation of the Tower, or degrades the residual strength of the Tower, requiring an intervention within a defined period.	Corrosion to minor Tower components and land movements degrading the potential of the Towers stability.	Broken Conductor. Broken or damaged fittings. Broken or damaged insulation. Missing or degraded safety signs and anti-climbing fixtures. Cable boxes and platforms, including sealing ends.
Fittings / OHL Conductor	Carry load and fault current without annealing or sagging below the ESQCR limit. Maintain continuity under normal and fault conditions. Provide phase-phase and phase-earth insulation.	Flashover. Insulation failure. Corroded Conductor. Corroded Jumper. Corroded Fitting.	Loss of structural integrity of any component associated with an overhead line supported on Steel Tower, excluding any associated Tower mounted plant, such that the residual strength of the component required immediate intervention.	Loss of structural integrity of any component associated with an overhead line supported on the Tower, excluding any associated Tower mounted plant, such that the residual strength of the component required intervention within a prescribed timescale.	Cracked insulator	Loss of protection. Loss of plant. Earthing. Any issues relating to the support, safety notices and anti-climbing guards. Conductor icing which does not result in permanent damage to the conductor. Cable boxes and platforms (including sealing ends).

Tabela 6 - Divisão dos ativos para efeitos de cálculo OFGEM.

	Categoria de Ativo	Subdivisão
Linhas Aéreas	Poste	
	Torre Metálica	Fundação
		Armação Metálica
		Pintura
	Isolador	
	Condutor	

7.3 - Cálculo do Índice de Saúde

O valor relativo ao IS é o resultado de um conjunto de informações, inputs, relacionados com o ativo, tais como:

- Idade do Ativo.
- A vida normal esperada para um ativo do seu tipo.
- Fatores relativos com aspetos do ambiente onde o ativo se encontra instalado, que possam impactar a vida esperada (Location Factor).
- Fatores relativos à utilização do ativo, que possam impactar na vida esperada (Duty Factor).
- Fatores relativos à condição do ativo, determinado por medições, testes, observações ou verificações funcionais (Health Score Modifier).
- Fator relacionado a questões de fiabilidade genérica associadas à produção e tipo de um ativo (Reliability Modifier).

O cálculo do IS é feito em duas etapas, demonstradas graficamente pela figura 7.2:

- I. Cálculo do IS inicial, utilizando um modelo de degradação baseado na idade.
- II. Modificação do IS inicial, utilizando:
 - a. Condições conhecidas do ativo.
 - b. Reliability Modifier, se apropriado.

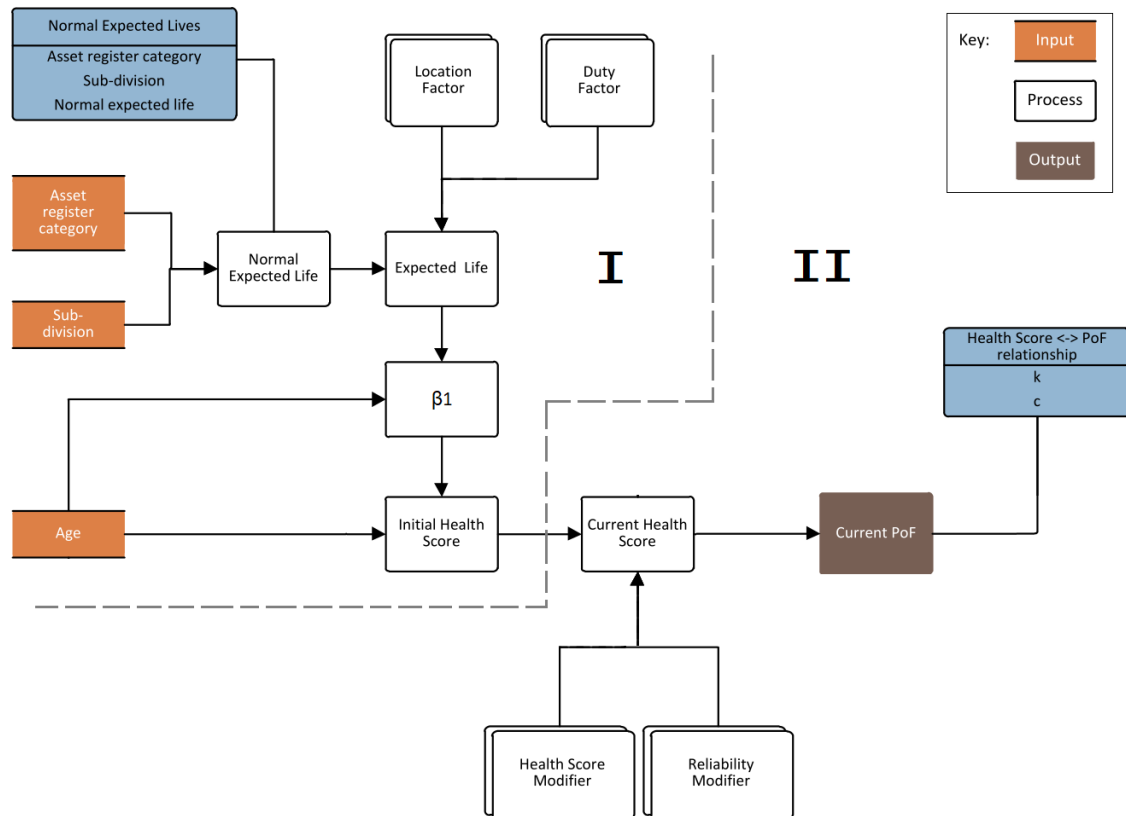


Figura 7.2 - Cálculo do IS e PoF segundo a metodologia OFGEM, dividido em etapas.

7.4 - I - Cálculo do IS Inicial

- a. Normal Expected Life (Vida/Idade Normal Expectável) - Todos os ativos possuem uma idade normal expectável definida pela OFGEM, determinada pela tecnologia e nível de tensão de serviço. No cálculo para apoios metálicos, a OFGEM considerou importante subdividir o ativo, em três componentes: armação metálica, maciço e pintura/galvanização, para os quais é calculado um IS individualmente (figura 7.3).

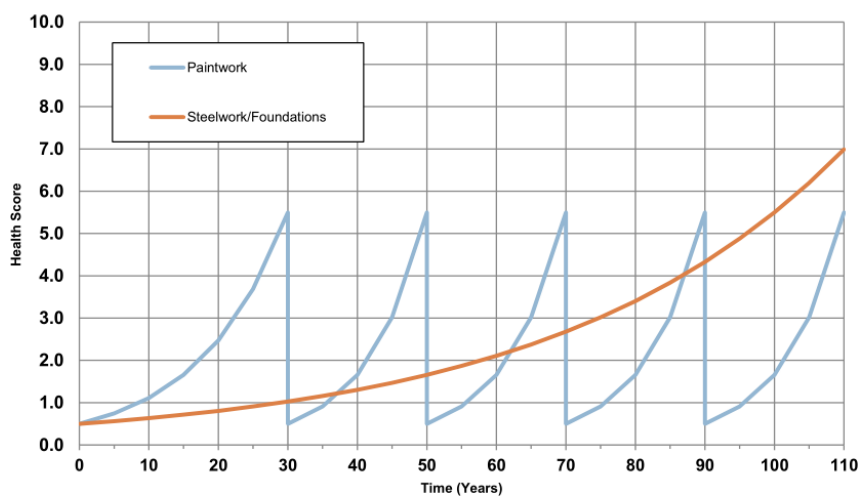


Figura 7.3 - Evolução da PoF por IS, nas subdivisões dos apoios metálicos.[29]

Esta é cientificamente a forma mais correta de se calcular a condição de um apoio metálico, considerando que a vida útil da pintura do apoio não é coincidente com a

vida útil da estrutura metálica ou do maciço. A ausência de pintura, ou a degradação da mesma, provocam o envelhecimento precoce da armação metálica, decorrente da sua exposição aos agentes corrosivos presentes na atmosfera. Em Portugal na grande maioria dos casos, os apoios apenas são pintados/galvanizados no momento da sua instalação. O SIT, base de dados de cadastro dos ativos da EDP Distribuição, não considera a desagregação do apoio em três componentes, tal como o aplicado na metodologia OFGEM, possuindo somente informação sobre a idade do ativo desde a sua instalação. Por isso, foi decidido na metodologia proposta, abordar os apoios metálicos como se de um só ativo se tratasse.

Em relação à vida expectável dos ativos, tabela 7, esta é ditada da seguinte forma:

Tabela 7 - Idades expectável dos ativos à nascença, segundo a OFGEM.

Ativo	Subdivisão	Normal Expected Life
Poste 11kV, 20kV, 33kV, 66kV	Betão Armado	60
Torre Metálica 11kV, 20kV, 33kV, 66kV	Estrutura Metálica	80
	Fundações - Betão encapsulado	95
	Fundação - Sob a terra	60
	Pintura - Galvanizado	30
	Pintura - Pintado a Tinta	20
Isoladores		40
Condutor	ACSR - Protegido c/ massa anti corrosão	55
	ACSR	50
	AAAC (Liga de Alumínio)	60
	Cad Cu	50
	Cu	70

- b. Expected Life (Idade/Vida Expectável) - Este parâmetro é obtido através da consideração de 2 fatores de degradação: Location Factor, que representa os efeitos ambientais envolventes ao ativo, e o Duty Factor, que representa o envelhecimento adicional derivado do modo como o ativo tem sido utilizado.

$$Expected\ Life = \frac{Normal\ Expected\ Life}{Location\ Factor \times Duty\ Factor} \quad (7.2)$$

O Location Factor depende exclusivamente de três fatores no cálculo do IS de linhas aéreas: Distância da Costa, Altitude e Zona de Corrosão (tabela 8).

A Distância da Costa considera a ação corrosiva causada pelas partículas de água com alta concentração de sais, transportadas por ação do vento que, quando se depositam as danificam gradualmente. O fator Altitude, considera a possibilidade de acumulação de gelo e neve sobre os ativos. Finalmente, a zona de corrosão pretende parametrizar a influência de indústrias que imanam poeiras e partículas poluentes que ponham em causa o normal funcionamento do ativo. Este fator carece da identificação previa das zonas de risco pelo DNO, identificando os pontos críticos e classificando as zonas em função da proximidade aos mesmos, num índice de 1 a 5. No caso de ausência de informação, o valor default é 1, valor este que não penaliza nem beneficia o cálculo.

Tabela 8 - Pesos considerados no fator de localização (Location Factor) segundo a OFGEM.

Distância da Costa	Poste (Betão-Armado)	Torres Metálicas	Isoladores	Condutores
≤ 1km	1,25	1,8	2	2
> 1km and ≤ 5km	1,1	1,45	1,5	1,5
> 5km and ≤ 10km	1,05	1,2	1,2	1,2
> 10km and ≤ 20km	1	1	1	1
>20km	1	0,85	1	1
Default	1	1	1	1

Altitude sob o Nível Médio do Mar	Poste (Betão-Armado)	Torres Metálicas	Isoladores	Condutores
≤ 100m	1	0,9	0,95	0,95
> 100m and ≤ 200m	1	1	1	1
> 200m and ≤ 300m	1	1,15	1,05	1,05
> 300m	1	1,3	1,15	1,15
Default	1	1	1	1

Índice De Corrosão	Poste (Betão-Armado)	Torres Metálicas	Isoladores	Condutores
1	0,9	0,75	0,95	0,95
2	0,95	0,9	0,95	0,95
3	1	1	1	1
4	1,05	1,30	1,05	1,05
5	1,1	1,6	1,2	1,2
Default	1	1	1	1

Após a escolha dos pesos referentes aos 3 parâmetros, o valor do Location Factor, é obtido pelo majorante, se algum dos parâmetros for maior que um, e pelo minorante, se todos os parâmetros forem iguais ou menores que um.

O Duty Factor, constitui-se como um fator de utilização do ativo. Porém, a metodologia OFGEM apenas considera valores aplicáveis para cabos, transformadores e disjuntores, não mencionando nenhum elemento das linhas aéreas. Contudo, crê-se que o fator de carga de uma linha aérea não seja tão decisivo como num cabo subterrâneo. Porém, a EDP só possui fatores de carga por raiz de circuito e não por trecho. Por esta razão, a sua utilização foi, também, de momento, inviabilizada.

O Expected Life, como nome indica, caracteriza a vida expectável de um ativo à “nascença”, em anos, atendendo à sua localização em determinado ambiente.

- c. B1 (Initial Ageing Rate ou Taxa de Envelhecimento Inicial) - A taxa de evolução do IS de um ativo da rede de distribuição é modelada exponencialmente, pois assume-se que os processos envolvidos na deterioração, são acelerados pelos produtos do processo de degeneração.

A taxa de envelhecimento de um ativo é determinada a partir do logaritmo natural do IS do ativo, quando novo (0,5) e o IS do ativo quando atinge a Expected Life (5,5) e será utilizada para obtenção do IS Inicial no passo seguinte.

$$\beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{IS_{Ativo\ Novo}}{IS_{Expected\ Life}}\right)}{Expected\ Life} = \frac{\ln\left(\frac{0,5}{5,5}\right)}{Expected\ Life} \quad (7.2)$$

- d. Initial Health Score (IS Inicial) - obtém-se definindo a relação genérica entre a saúde do ativo e a sua idade, usando a vida expectável do ativo.

$$Initial\ Health\ Score = IS_{Ativo\ Novo} \times e^{(\beta_1 \times idade)}, IS_{Ativo\ Novo} = 0,5 \quad (7.3)$$

Esta relação prevê um valor estimativo do IS, mas não considera nenhuma informação atual fornecida por inspeções ou medidas realizadas a partir do terreno. O IS Inicial está limitado neste passo a um máximo de 5,5.

7.5 - II - Modificação do IS inicial decorrente de informações medidas e observadas

Após a obtenção do IS inicial, baseado na idade e localização do ativo, é necessário introduzir informação do terreno, ou seja, a única informação factual, de modo a que o output seja o mais aproximado da realidade. Para tal, constituem-se duas variáveis: Modificador do IS (Health Score Modifier) e o Modificador de Fiabilidade (Reliability Modifier), que multiplicadas pelo IS inicial permitem alcançar o IS do ativo.

$$IS_{Atual} = IS_{Inicial} \times Modificador\ do\ IS \times Modificador\ de\ Fiabilidade \quad (7.4)$$

- a. Modificador de IS (Health Score Modifier) - A OFGEM considera neste parâmetro a informação proveniente da observação ou medição, relativa à condição do ativo. A metodologia define quais inputs devem ser utilizados e quais as valorizações para os mesmos inputs, para averiguar o IS. Na tabela 9, seguem, a título de exemplo as orientações utilizadas para apurar o Modificador do IS no caso das armações dos apoios metálicos.

Tabela 9 - Ex. da categorização de uma falha específica no Modificador de IS (Health Score Modifier).

Critério: Condições Observadas	Descrição	Input
Aceitável		1
Inseguro Mecanicamente	Sinais de perda de aço na secção transversal, ferrugem, furos ou carência de aço nos cantos, dano severo - necessita de substituição urgente	1,2
Default	Sem informação disponível	1

O documento britânico estabelece, de forma específica, as orientações de modo a quantificar a gravidade de uma anomalia para todos os ativos.

- b. Modificador de Fiabilidade (Reliability Modifier) - A utilização, ou não, deste indicador é deixada pela OFGEM, à discrição de cada DNO. Este serve para penalizar, ou beneficiar um ativo individual, que se admita ter diferente PoF, em resultado de questões genéricas associadas, que alteram a saúde/fiabilidade, como, por exemplo, a construção e tipo de ativo, ou o material ou tratamento especial aplicado sob o mesmo.

Preferencialmente, este parâmetro deve ser identificado pelo fabricante do ativo, ou através de investigações a falhas que apontem erros ao modelo do ativo, entre outras... Com este input, reconhece-se que existem formas variadas e alternativas de obter conhecimento acerca da condição e performance dos ativos, para além das abordadas na metodologia. Este parâmetro não foi aplicado na metodologia proposta.

Capítulo 8

Metodologia Híbrida Proposta

8.1 - Enquadramento

Esta proposta procura aproximar a metodologia de cálculo do IS dos ativos às mais modernas práticas dos DNO's europeus, em matéria de gestão de risco, respondendo ao mesmo tempo aos novos desafios intrínsecos ao projeto JUMP, especificamente à análise de troço de linha.

Aquando do início do presente trabalho, a UCA já havia estabelecido contacto com responsáveis pela aplicação da metodologia OFGEM, com intuito de partilhar informação acerca do *know-how* dos autores deste método. Neste âmbito, foi inclusivamente realizada uma palestra de demonstração do funcionamento do sistema, no escritório da EDP Distribuição, por um engenheiro britânico. Neste contexto, desde cedo o meu interesse se focou na análise e estudo deste documento, considerado como a *guideline* mundial no âmbito da gestão de risco de ativos de empresas distribuidoras de energia elétrica.

Do estudo aprofundado deste documento, que possui mais de 200 páginas de informação, e da sua análise crítica, considerando a informação disponível, resultou um conjunto de contributos capazes de sustentar a metodologia agora proposta.

A análise do algoritmo aplicado pela UCA e a compreensão das suas fragilidades e limitações, o feedback recolhido no terreno, nomeadamente junto da AO do Porto, e dos mentores do projeto dentro da EDP, permitiram retirar ideias e informações, quanto a métodos e pesos a aplicar aquando da construção de uma metodologia adequada à realidade da EDP Distribuição.

Esta metodologia, longe de pretender constituir-se numa ferramenta perfeita, poderá ser uma aproximação da solução ideal, através de uma proposta de análise aprofundada dos eventos da rede, num período de tempo futuro e na consequente alteração dos pesos dos parâmetros nela abordados.

As linhas aéreas devido à sua extensão, dispersão geográfica, dissemelhança dentro do mesmo tipo de ativos e diversos modos de falha, internos e externos, possuem uma monitorização claramente inferior à registada no caso de transformadores ou disjuntores. A ausência ou deficiência da informação registada no cadastro de incidentes, faz com que a

adaptação de um método proposto, seja difícil de se conseguir. Por isso, muita da informação e pressupostos considerados adiante são sustentados, na troca de ideias com técnicos experientes e com conhecimento empírico na área eletrotécnica baseando-se sempre na experiência profissional acumulada e na relação de causalidade dos eventos.

8.2 - Algoritmo

Para o desenvolvimento desta proposta, foi utilizado o Microsoft Excel, uma ferramenta capaz, intuitiva e, acima de tudo, transversal a qualquer área técnica, que permite, uma possível adoção futura deste algoritmo por parte da UCA.

Todos os ativos da EDP, possuem um identificador universal, designado por SAP ID. Os troços de rede possuem, também, um identificador dentro dos sistemas da EDP. Com o SAP ID, é possível obter, no sistema de cadastro de ativos da RND (SIT), mais informações acerca do objeto em estudo, tais como: a extensão, a idade, a tensão, o material e o número de apoios, a tecnologia e a secção empregues no condutor, a existência de cabo de guarda, o número de uniões, o concelho onde está inserido, entre outras.

O algoritmo começa por caracterizar o troço em análise pelo seu código de proposta SAP ID intrínseco, a AO responsável, o concelho de localização (código e nome), a extensão, a tensão e o número de apoios. Através do número de apoios, considerou-se, a priori, que o número de isoladores ou conjunto de isoladores seria 1,23 vezes o número de apoios na AT, pois a média de apoios neste nível de tensão é de 23 apoios de ângulo em cada 100 apoios, segundo a extração de apoios na AT, em abril de 2018 (23742 (72,4%) - alinhamento, 7560 (23,05%) - ângulo, 1489 (4,54%) - fim de linha). Na MT, não existem dados que possam, à semelhança da AT, suportar tais conclusões. Assim sendo, considerou-se um valor médio de quatro em dez apoios serem de alinhamento, portanto, o número de isoladores ser 1,4 vezes superior ao número de apoios, pelo facto de a rede MT alimentar PT's e clientes, moldando-se à morfologia dos terrenos que atravessa, apresentando mais desvios de direção e, por isso, maior número de apoios de ângulo. Por último, o número de isoladores é multiplicado por três para considerar o sistema trifásico, e o mesmo acontece com o condutor. Nas linhas duplas, dois condutores por fase, não são consideradas por falta de informação no sistema, acerca da topologia da armação. Concluída a caracterização do troço, a metodologia inicia o cálculo da PoF, seguindo as etapas exemplificadas na figura 8.1, em analogia com a exemplificação por etapas da OFGEM.

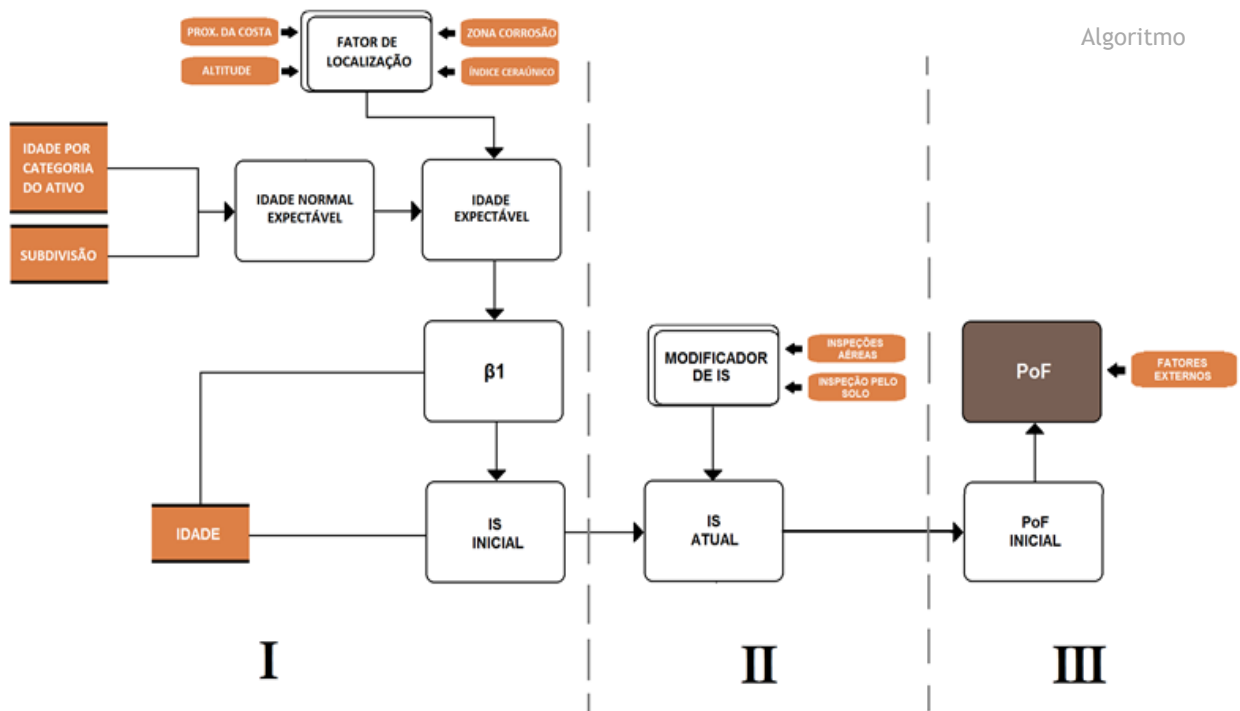


Figura 8.1 - Cálculo do IS e PoF dividido por etapas.

O cálculo do IS é realizado em duas etapas:

- I - Cálculo do IS Inicial, utilizando um modelo de degradação baseado na idade.
- II - Modificação do IS Inicial, utilizando: Condições conhecidas do ativo, pelas inspeções aéreas e pelo solo.

O cálculo da PoF transita do IS do ativo e modifica-se na terceira etapa deste algoritmo, pela consideração de fatores exteriores ao ativo que afetam o funcionamento do mesmo (III).

8.3 - I - Cálculo do IS Inicial

O troço é analisado como a junção de três componentes, sub-ativos: apoio, isolador e condutor. Estes constituintes possuem um ciclo de vida útil normal espectável à nascença, que difere de acordo com o material/tecnologia utilizados e o nível de tensão. Individualmente, é considerado um IS afeto a esse tipo de ativos que representará a condição média da população.

O Fator de Localização, é considerado com base nos indicadores da OFGEM, à exceção do índice ceráunico, cuja introdução se considerou benéfica dado que existe maior probabilidade de degradação do ativo, quando localizado em zonas onde a incidência de descargas atmosféricas diretas, durante a sua vida útil, é elevada. A expectativa de vida restante será calculada através da divisão da idade catalogada, pelo majorante ou minorante dos Fatores de Localização, de maneira idêntica à OFGEM.

Com a vida restante calculada, acha-se a Taxa de Envelhecimento Inicial (β_1), de modo a que a vida restante seja traduzida num IS, com base na idade do ativo.

Após o cálculo do IS Inicial e vida restante, juntam-se as contribuições dos três constituintes, de modo a obter um valor global destes dois parâmetros em relação ao troço, em ponderações que se acharam adequadas, em função da importância de cada elemento para um todo. Considerou-se, assim, que os apoios são o ativo mais importante, seguido do condutor e, por fim, os isoladores. Estas decisões foram fundamentadas na facilidade de substituição dos ativos, no custo por falha da substituição de um tipo de ativos e na quantidade e qualidade de informação, acerca dos ativos, disponível no sistema da EDP Distribuição. Sustentado nessa

premissa, definiu-se que o peso relativo aos apoios devia ser de 50%, 15% aos isoladores e, finalmente, 35% no caso dos condutores.

8.3.1 - Idade/Vida Normal Expectável

Nos apoios, a idade normal expectável diferencia-se em função do material e nível de tensão, seguindo a tendência da OFGEM, que afirma que os apoios de betão armado possuem melhor performance em comparação com os apoios metálicos. Apesar de não existir um evento temporal que informe quando os apoios estão inaptos para a sua função, acreditou-se que as idades consideradas pela OFGEM estão sobredimensionadas, quando aplicadas ao contexto nacional. A tabela 10, exprime as idades consideradas aceitáveis para a realidade portuguesa.

Tabela 10 - Idade Normal Expectável de um apoio à nascença.

Apoios		
Tensão	Material	Idade
AT	Betão	70
	Metal	65
MT	Betão	60
	Metal	55

Nesta abordagem, confere-se maior durabilidade aos ativos em AT, por se considerar que as ações de manutenção existentes e a maior imunidade a fenómenos exteriores, conferida pela maior envergadura das estruturas e dimensão da faixa de proteção, entre outras condições, preservam o ativo em melhores condições e por mais tempo, tal como já foi referido na análise crítica exposta nas conclusões da metodologia utilizada atualmente pela EDP Distribuição.

Os isoladores são o ativo com menor vida útil e com menor informação em sistema. As ações de substituição de todos os isoladores de um troço, ou linha, são comuns. No entanto, esta informação bem como o seu registo no sistema é desvalorizada. Contudo, isoladores de origem são capazes de aguentar o ciclo de vida útil do troço da mesma maneira que os restantes e, na ausência de falhas de abastecimento em que a causa aponte para os mesmos, estes não serão substituídos. Por isso considera-se, entre três ativos em análise, o que apresenta menor vida normal expectável, sendo o que terá, também, menor peso no cálculo do IS final, como representado na tabela 11.

Tabela 11 - Idade Normal Expectável de um tipo de isolador à nascença.

Isoladores		
Tensão	Material	Idade
AT	Cadeia	60
MT	Cadeia	55
	Isoladores Rígidos	50

A atual política de manutenção da EDP Distribuição passa pela gradual substituição dos isoladores rígidos da rede, pois estes apresentam-se desadequados às condições presentes, revelando maior probabilidade de incidência de falhas, segundo o feedback obtido junto dos técnicos da AO do Porto. A sua aplicação de origem, em novos troços, não é aceitável, segundo os documentos normativos da EDP. Por sua vez, a UCA considera que os troços em que a sua aplicação ainda se verifique, sejam penalizados, de modo a acelerar a sua substituição. Por

isso, a idade considerada para este tipo de isolador é inferior, em cinco anos quando comparado com os isoladores de cadeia.

O valor considerado para a vida normal expectável dos condutores foi atribuído com base na diferença entre os valores das diferentes ligas metálicas da OFGEM. O cobre é o metal que melhor suporta o envelhecimento, em comparação com as ligas de alumínio e os condutores de alumínio-aço. Ao contrário da metodologia britânica, que estabelece uma idade fixa por tecnologia, considerou-se que a introdução das secções no cálculo, seria benéfico, já que essa informação se encontra devidamente inserida em SIT, para a grande maioria das linhas aéreas[30]. Esta abordagem, assume que condutores com maiores secções, e consequentemente com maior módulo de carga de rotura estipulada, suportam melhor, esforços eletrodinâmicos, decorrentes de curtos-circuitos, em comparação com condutores de menor secção. Na tabela 12, estão exemplificadas as respetivas tensões nominais de rotura para as secções dos condutores normalizados, empregues pela EDP Distribuição no projeto de linhas aéreas AT e MT.

Tabela 12 - Tensões de Rotura Mecânica dos condutores por secção.[8] [9] [31]

Cobre		Al-Aço		Liga de Alumínio	
mm ²	kN	mm ²	kN	mm ²	kN
16	6.26	30	9.34	56	22.37
25	9.93	50	14.93	110	53.53
35	13.77	90	25.28		
50	19.51	130	66.46		
95	36.18	160	64.94		
185	68.93	235	68.82		
		325	109.38		

O cobre 16mm², por apresentar tensão mecânica de rutura baixa, está associado à queda de condutores por via de C.C.'s e descargas atmosféricas diretas. Na metodologia utilizada pela UCA existe essa discriminação negativa e, a mesma transita para esta proposta. Na tabela 8.4, estão exemplificadas as idades discriminadas por material e intervalos de secção.

Tabela 13 - Idade Normal Expectável de um condutor à nascença.

Condutores					
Cobre		Al-Aço		Liga de Alumínio	
mm ²	idade	mm ²	idade	mm ²	idade
≤ 16	48	≤ 30	45	≤ 55	52,5
17 a 25	52	31 a 50	47	56 a 109	55
26 a 50	58	51 a 90	52	≥ 110	57
> 51	62	> 91	55		

O algoritmo seleciona automaticamente as idades normais expectáveis, com base na informação do troço. Em seguida, através da divisão pelo Fator de Localização, acha-se a vida expectável do ativo, à nascença, para determinado local e suas condições envolventes.

8.3.2 -Idade/Vida Expectável

O fator de localização será o majorante ou minorante de 4 inputs qualitativos, que caracterizam as condições envolventes do ativo:

- Proximidade do Mar
- Altitude
- Zona de Corrosão
- Índice Cerâmico

Se MAX (Proximidade do Mar, Altitude, Zona de Corrosão, Índice Ceráunico) > 1 , Fator de Localização = MAX (Proximidade do Mar, Altitude, Zona de Corrosão, Índice Ceráunico).

Se MAX (Proximidade do Mar, Altitude, Zona de Corrosão, Índice Ceráunico) ≤ 1 , Fator de Localização = MIN (Proximidade do Mar, Altitude, Zona de Corrosão, Índice Ceráunico).

$$Idade\ Expectável = \frac{Idade\ Normal\ Expectável}{Fator\ de\ Localização} \quad (8.1)$$

Proximidade do Mar

Sendo Portugal, um país com uma extensa faixa litoral marítima, é necessário considerar a influência do mar na aceleração da degradação da condição e consequente redução da vida útil dos ativos, pela sua ação corrosiva. A costa atlântica de Portugal continental possui uma extensão de 832km (Portugal continental), e a influência oceânica é elevada, principalmente na orla costeira virada a oeste. A erosão afeta principalmente os materiais metálicos. Portanto, a ponderação deste algoritmo é mais penalizadora para as torres metálicas em comparação com as de betão armado. Na escolha dos pesos e distâncias consideradas, foram utilizados os valores OFGEM, por se julgarem ajustados ao comportamento real dos ativos perto da faixa costeira.

Tabela 14 - Ponderações relativas à Proximidade do Mar.

		Proximidade do Mar				
		$\leq 1\text{km}$	$>1 \text{ e } 5\text{km}\leq$	$>5 \text{ e } 10\text{km}\leq$	$>10 \text{ e } 20\text{km}\leq$	$>20\text{km}$
Apoio	Metal	1.8	1.45	1.2	1	0.85
	Betão	1.25	1.1	1.05	1	1
Isolador		2	1.5	1.2	1	1
Condutor		2	1.5	1.2	1	1

Altitude

Este parâmetro tem por objetivo considerar a acumulação de gelo e neve sobre os ativos. Os efeitos de extremos de temperatura, como as vagas de frio, provocam contrações e dilatações nas linhas aéreas, alterando o seu comprimento e tração nos apoios. As baixas temperaturas desencadeiam a formação de mangas de gelo sob os condutores, contribuindo para o aumento do peso, diâmetro aparente e, por conseguinte, para o aumento da superfície de impacto do vento. Nos isoladores, para além dos esforços de suporte do condutor serem maiores, a deposição de gelo e neve sobre os mesmos, provoca contornamentos que os danificam estruturalmente.



Figura 8.2 - Queda de apoios sob efeito do gelo, Guimarães, fevereiro 2018

O relevo britânico é substancialmente diferente do relevo em Portugal continental. As planícies predominam no Sul do Reino Unido e é no território escocês, a norte, onde existem as principais formações geológicas de montanhas, apesar destas raramente atingirem elevadas altitudes. O ponto mais alto da Grã-Bretanha possui 1.343 metros de altitude. Porém, o que realmente interessa para a metodologia é a cota de neve, isto é, altitude a que a temperatura solidifica as moléculas de água. Apesar de não serem frequentes nevões, estes acontecem com alguma periodicidade e a partir de baixas altitudes, pelo facto de estarem localizados a uma latitude maior que a portuguesa. Na metodologia OFGEM, os ativos são penalizados a partir dos 200m de altitude. Em Portugal, considerou-se que cidades/vilas como a da Guarda (1,056 m), Bragança (674 m), Montalegre (884 m), são lugar de nevões ocasionais. Para este locais a altitude de referência adotada foi de 700 metros.

Tabela 15 - Ponderações relativas à Altitude

		Altitude			
		≤ 400 m	>400 e 700m≤	>700 e 1600m≤	>1600
Apoio	Metal	0.9	1	1.15	1.3
	Betão	1	1	1	1
Isolador		0.95	1	1.05	1.15
Condutor		0.95	1	1.05	1.15

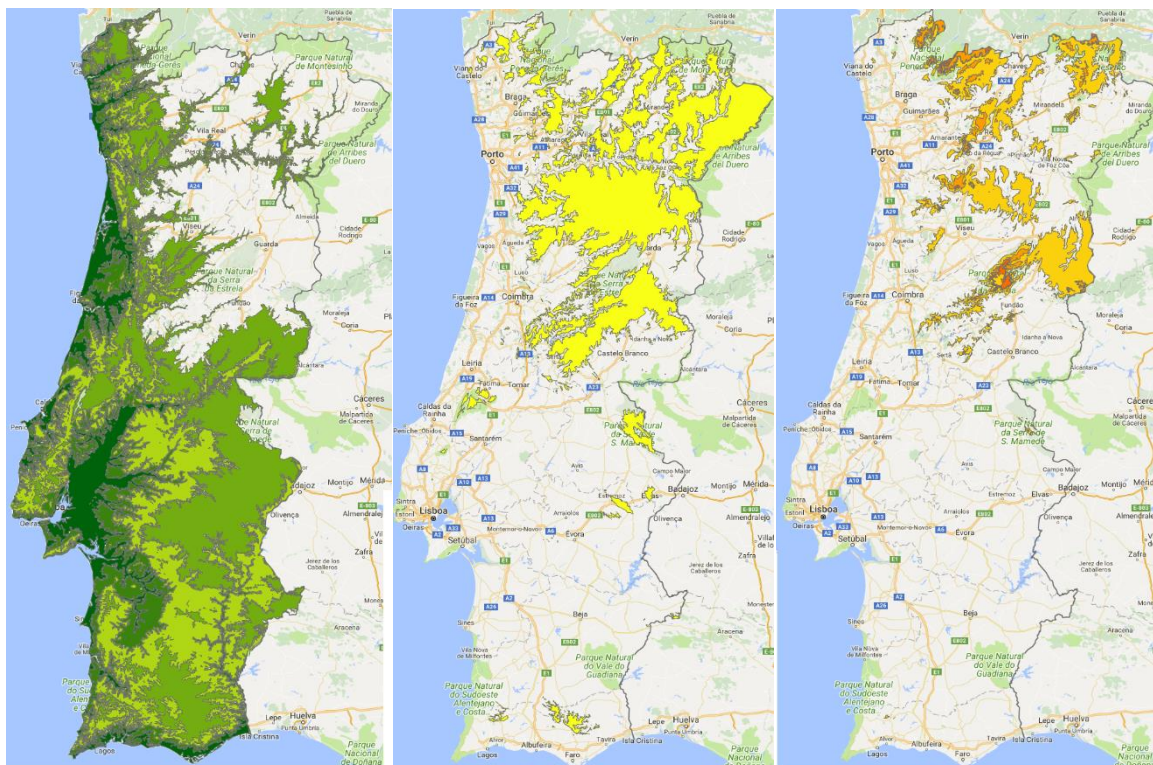


Figura 8.3 - Mapa hipsométrico de Portugal continental (esq - [0 a 400m], centro - [400 a 700m], dir - [700 a 1600m])[32]

Em Portugal, 70% do território está situado num patamar inferior a 400 metros de altitude. Inserido acima de 1600m, está apenas uma ínfima área do sistema montanhoso Montejusto-Estrela. Os locais de maior altitude são, geralmente, longe do litoral. Portanto, a altitude e a proximidade do mar são fatores independentes. A serra de Monchique no Algarve é o único local fora da zona norte/centro, que esta abordagem penaliza.

Zona de Corrosão

As zonas de corrosão são, também, um parâmetro que transita da OFGEM. Este pretende quantificar a degradação dos ativos em zonas de maior poluição, provenientes principalmente de fábricas que produzam poeiras de grandes dimensões (cimenteiras, centrais térmicas a carvão, indústrias do papel, entre outras...) e a proximidade a grandes centros urbanos. A criação de um mapa de índice de corrosão, depende apenas da sinalização dos agentes poluentes e da criação de um raio de influência à sua volta, calculado em função da perigosidade para os ativos. Este parâmetro está dividido em 5 índices, sendo o nível 3 considerado o nível por defeito. Os níveis 1 e 2, são considerados como ambientes não poluídos.

Tabela 16 - Ponderações relativas à Zona de Corrosão

		Zona de Corrosão				
		1	2	3	4	5
Apoio	Metal	0.75	0.9	1	1.3	1.6
	Betão	0.9	0.95	1	1.05	1.1
Isolador		0.95	0.95	1	1.05	1.2
Condutor		0.95	0.95	1	1.05	1.2

O desenvolvimento de tal mapa de classificação de zonas de corrosão, para o contexto português, poderia empregar os níveis 4 e 5 em casos bastantes específicos de poluição

industrial e urbana, como os acima descritos. A atmosfera portuguesa é, na sua maioria, limpa, pelo facto de as massas de ar serem geralmente provenientes do mar. Ao elaborar esta cartografia, o mapa consideraria os níveis 1 e 2, para as zonas afastadas dos centros urbanos e de atividade humana, como os parques naturais e o parque nacional.

Índice Ceráunico

O fornecimento de energia elétrica é muitas vezes interrompido devido ao impacto de descargas atmosféricas em equipamentos de distribuição e transporte. Estes incidentes influenciam negativamente a continuidade de serviço e as propriedades físicas dos materiais atravessados. Assim, considerou-se que a aplicação deste parâmetro faria sentido, na medida que, quanto maior for o número de descargas, maior é a probabilidade dos ativos se danificarem[33]. Apesar de, na maioria das descargas, a dissipação da energia à terra se efetuar através da destruição de um denominado ativo “fusível”, ponto fraco da rede, considerou-se que a saúde dos ativos percorridos por estas descargas diminui.

De modo a parametrizar as zonas de maior ocorrência de descargas atmosféricas, utilizou-se o nível ceráunico ou mapa isoceráunico de Portugal continental, que caracteriza o número de dias de trovoadas numa determinada região por ano, cedido pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera à EDP Distribuição. A utilização deste parâmetro já é considerada no algoritmo aplicado pela empresa e a parametrização foi efetuada através do cruzamento das zonas identificadas pelo mapa isoceráunico do IPMA, com as zonas limites dos concelhos. O Anexo C, descreve detalhadamente o valor referente a cada concelho.

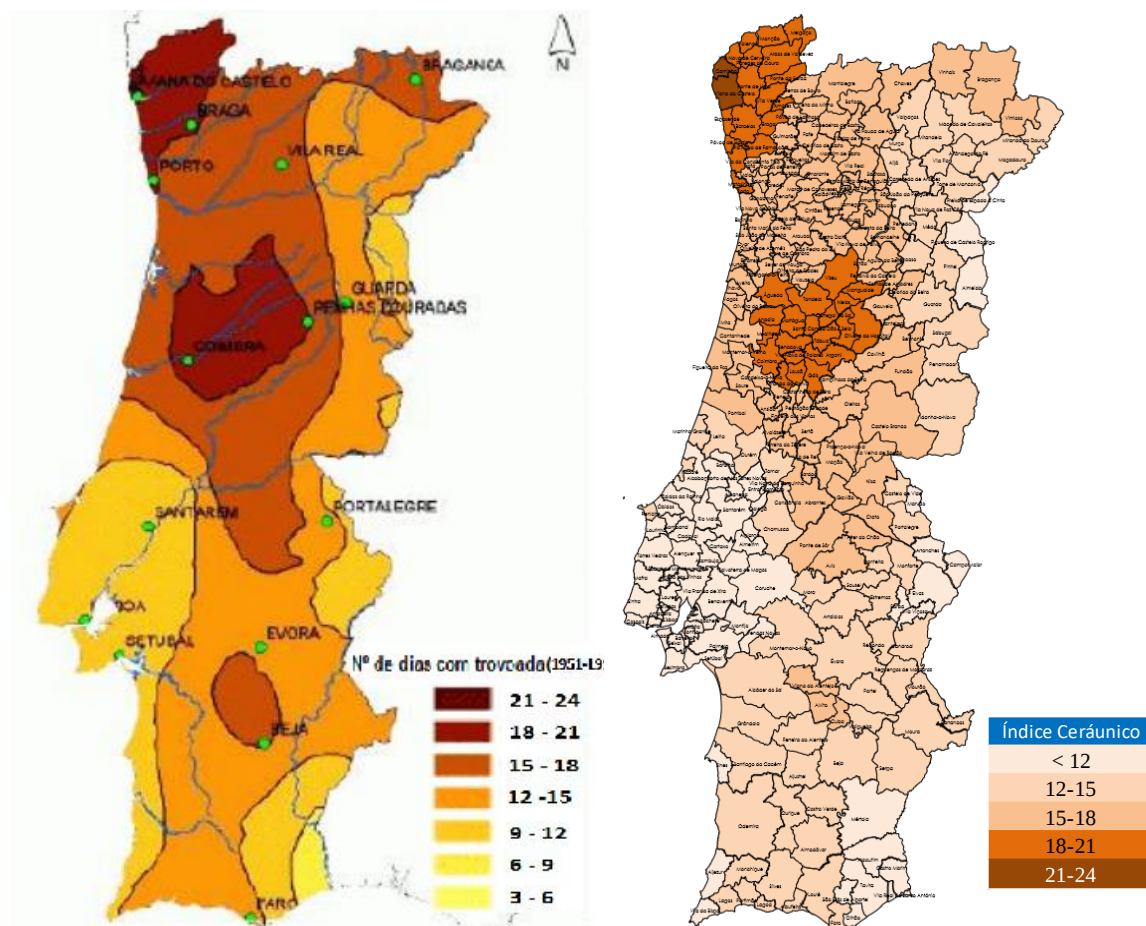


Figura 8.4 - Mapa Isoceráunico de Portugal Continental (1951- 1990, IPMA) e respetiva repartição por concelhos.

Tabela 17 - Ponderações relativas ao Índice Ceráunico.

		Índice Ceráunico				
		< 12	12 -15	15 - 18	18 -21	21 -24
Apoio	Metal	0.95	0.95	1	1.05	1.1
	Betão	0.95	0.95	1	1	1.05
Isolador		0.95	0.95	1	1.1	1.15
Condutor		0.95	0.95	1	1.1	1.15

Estas ponderações foram selecionadas, de modo a não atribuírem um impacto negativo excessivo, pois não se pode assumir que, pela simples existência de linhas aéreas nestas zonas, elas serão alvo de descargas elétricas que degradam o IS. Os condutores e os isoladores são os ativos mais sujeitos a falhas e, por isso, são mais penalizados em comparação com os apoios. Dos 278 concelhos de Portugal continental, apenas os concelhos de Viana do Castelo e de Caminha, se inserem no pior nível de gravidade deste fator. Atendendo ao facto de que estes concelhos pertencem ao litoral, só ativos que se encontrarem dentro destes concelhos, a pelo menos 10km do mar, é que poderão ser majorados por este parâmetro. A figura 8.5, demonstra a distribuição dos concelhos pelos cinco níveis de gravidade, em número e percentagem.

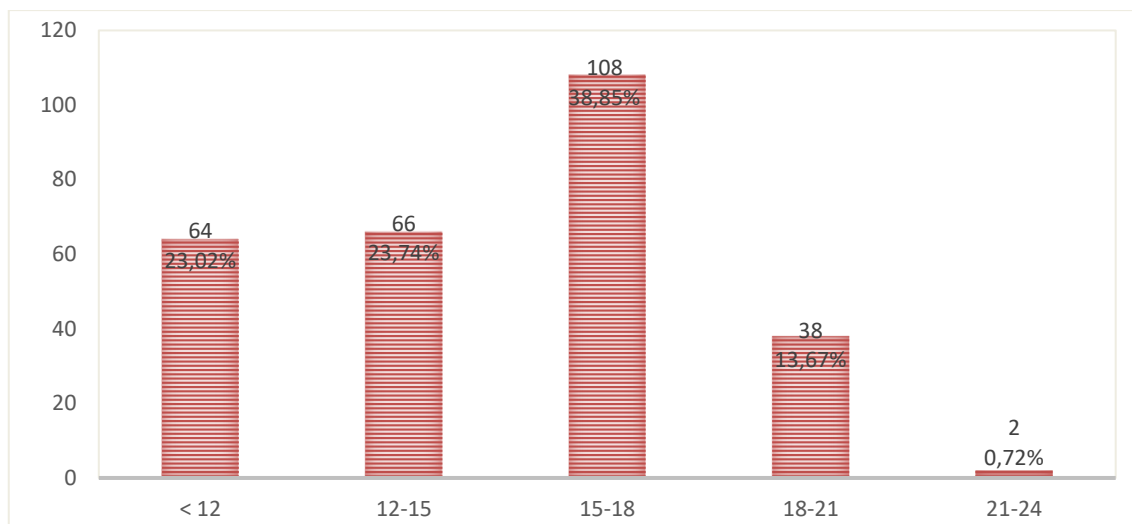


Figura 8.5 - Distribuição do índice cerâmico por concelho

Na ausência de informação, em qualquer dos 4 parâmetros que caracterizam o Fator de Localização, será utilizado o valor por defeito unitário (um). Esta abordagem, assume-se como uma das principais inovações desta metodologia pois assegura que um ativo, na ausência de informação, não seja penalizado ou beneficiado em relação aos restantes ativos em estudo.

A idade/vida expectável, em anos, é o resultado final desta etapa. Existirão 3 idades expectáveis, uma para cada componente, que dependem unicamente da localização do ativo.

8.3.3 - B1 - Taxa de Envelhecimento Inicial

Para se converter a idade expectável para um valor de IS, entre 0,5 e 10, é necessário recorrer a um rácio. Esse rácio é aferido através da mesma fórmula que a OFGEM, utilizando a idade e a vida expectável.

$$\beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{IS_{Vida\ Expectável}}{IS_{Ativo\ Novo}}\right)}{Vida\ Expectável} = \frac{\ln\left(\frac{5,5}{0,5}\right)}{Vida\ Expectável} \quad (8.2)$$

IS Inicial

Através da constante B1 calculada previamente, o IS inicial segue uma distribuição exponencial, que se traduz em maiores aumentos no IS inicial, à medida que a idade se aproxima da vida expectável. Neste passo, são aplicados tetos máximos e mínimos, de modo a evitar situações extremas de IS, especialmente de sobreavaliação. Assim, o IS está limitado entre 0,5 e 5,5.

$$IS_{Inicial} = IS_{Ativo\ Novo} \times e^{(\beta_1 \times idade)}; \quad IS_{Ativo\ Novo} = 0,5 \quad (8.3)$$

8.4 - II - Modificação do IS Inicial

A única informação recolhida de forma continuada e massiva dos ativos que o DNO possui, provém das inspeções aéreas e pelo solo enquadradas em ações de MPS. Os relatórios de falhas da LABLEC reporta as inúmeras anomalias (classificadas com a gravidade B e C) que posteriormente deverão ser agrupadas, no âmbito do desenvolvimento desta metodologia em categorias referentes aos Maciços, Travessas, Postes, Contornamentos, Estado isoladores

(Oxidação), Estado isoladores (Desgaste, Torcidos, Inclinação, Corrosão), Estado do Condutor), da seguinte forma:

- Maciços: Danos nos maciços, maciços soterrados, movimentação de terras.
- Travessas: travessas com corrosão, travessas inclinadas ou deslocadas.
- Postes: postes com corrosão, com peças em falta/danificadas, ferro à vista/fissuras/lascado, partido, inclinado.
- Contornamentos: isoladores contornados.
- Estado isoladores (Oxidação): isoladores partidos, sujos/oxidados.
- Estado isoladores (Desgaste, Torcidos, Inclinação, Corrosão): acessórios com desgaste/corrosão/danos.
- Estado Condutor: amortecedores - Desapertados/Partidos/Torcidos, uniões/ligadores - mau estado/desregulados, cabo danificado.

Em relação à metodologia atualmente aplicada, a única alteração é a não utilização da categoria referente ao Cabo de Guarda, por, neste contexto não se justificar a sua aplicação. A metodologia agora proposta, pretende não agrupar as anomalias em grupos de 5, tal como aplicado atualmente, mas utilizar o valor global de anomalias.

Modificador de IS

O Modificador de IS, é calculado individualmente para cada um dos três componentes. Este modificador assumirá o valor de 1, quando não existirem anomalias no troço em estudo, e terá um valor superior a 1 quando existir uma, ou mais anomalia(s) reportada(s).

$$IS_{Atual\ Apoio} = IS_{Inicial\ Apoio} \cdot \text{Modificador de } IS_{Apoio} \quad (8.4)$$

$$IS_{Atual\ Isolador} = IS_{Inicial\ Isolador} \cdot \text{Modificador de } IS_{Isolador} \quad (8.5)$$

$$IS_{Atual\ Condutor} = IS_{Inicial\ Condutor} \cdot \text{Modificador de } IS_{Condutor} \quad (8.6)$$

No Modificador de IS do Apoio, afetarão as anomalias B e C relacionadas com o apoio, e assim, respetivamente para os restantes. Este parâmetro apoia-se nos valores totais de apoios, isoladores e extensão dos condutores, de modo a conceber uma taxa sensível ao número de elementos pertencentes a cada troço de linha. A importância das anomalias reportadas foi definida por uma ponderação, que se estimou ser o valor representante da relevância da anomalia. Estes valores foram, também, definidos pela frequência da sua ocorrência nos reportes da LABLEC desde 2012 a 2016. Depois de ponderada a sua influência nos modos de falha e a sua ocorrência ao longo dos anos, foram determinadas com as ponderações da tabela 18.

Tabela 18 - Ponderações do Modificador de IS para os apoios.

Apoios					
Maciços		Travessas		Postes	
B	C	B	C	B	C
2	1.4	1.8	1.3	1.8	1.3
X	Y	Z	W	R	T

$$\text{Modificador de } IS_{Apoio} = 1 + \frac{X \cdot 2 + Y \cdot 1.4 + Z \cdot 1.8 + W \cdot 1.3 + R \cdot 1.8 + T \cdot 1.3}{N^{\circ} \text{ de Apoios}} \quad (8.7)$$

A adição unitária é explicada pelo facto de, na ausência de anomalias, o modificador nunca poder ser menor do que um.

Tabela 19 - Ponderações do Modificador de IS para os isoladores.

Isoladores					
Contornados		Estado isoladores (Oxidação)		Estado isoladores (Desgaste, Torcidos, Inclinação, Corrosão)	
B	C	B	C	B	C
1.8	1.3	2	1.4	1.8	1.3
X	Y	Z	W	R	T

$$\text{Modificador de } IS_{\text{Isolador}} = 1 + \frac{X \cdot 1,8 + Y \cdot 1,3 + Z \cdot 2 + W \cdot 1,4 + R \cdot 1,8 + T \cdot 1,3}{N^{\circ} \text{ de Cadeia de Isoladores}} \quad (8.8)$$

No caso dos condutores, as ponderações foram calculadas através do rácio, de anomalia e/ou união por quilómetro. Apesar de não integrar os reportes de anomalias, o número de uniões/junções de um condutor é um excelente indicador do estado de saúde atual e passado da linha. As uniões, são elementos de utilização comum, principalmente nas redes de MT, e encontram-se devidamente identificadas e referenciadas em SIT.

A definição dos rácios a utilizar foi estabelecida tendo em conta um impacto adequado, em função do número de anomalias por distância. Deste modo, considerou-se que duas anomalias do tipo B, ou cinco anomalias do tipo C, por 100 metros, deveriam inflacionar o Modificador para o valor de 1,8. A título de exemplo, uma anomalia B, por 40 metros ou, uma anomalia C, por 16 metros....

De forma idêntica, também se definiu que, por 10 uniões em cada 100 metros de condutor, o modificador tomaria o valor 1,8. Deste modo, 1 união por cada 8 metros de cabo.

Tabela 20 - Ponderações do Modificador de IS para os condutores de fase.

Condutores		
Estado Condutor		N° Uniões/Junções
B	C	
40	16	8
X	Y	Z

$$\text{Modificador de } IS_{\text{Condutor}} = 1 + \frac{X \cdot 40 + Y \cdot 16 + Z \cdot 8}{\text{Extensão do troço} \cdot 3} \quad (8.9)$$

IS Atual

Por fim, o IS Atual do ativo, será definido pelo produto do IS Inicial pelo Modificador de IS. Nesta etapa, teremos três índices de saúde distintos, afetos respetivamente aos três sub-ativos considerados (apoio, isolador e condutor), que definem a média do IS da sua população.

$$IS_{\text{Atual}} = IS_{\text{Inicial}} \times \text{Modificador do IS} \quad (8.10)$$

Como foi referido, no enquadramento realizado no início da presente metodologia, o ativo troço, perspectivado como um todo, foi considerado como sendo constituído em 50% pelos valores relativos ao apoio, 15% aos do isolador e, 35% ao condutor. Sustentado neste pressuposto, considera-se que o IS do troço será obtido pela seguinte equação:

$$IS_{\text{Atual Troço}} = 0,5 \cdot IS_{\text{Atual Apoio}} + 0,15 \cdot IS_{\text{Atual Isolador}} + 0,35 \cdot IS_{\text{Atual Condutor}} \quad (8.11)$$

Com a obtenção deste parâmetro, o IS é classificado segundo um sistema de bandas/níveis, para permitir a sua introdução na matriz de risco, sendo esse o objetivo principal desta metodologia.

Tabela 21 - Bandas definidas para o Índice de Saúde.

Índice de Saúde - Bandas				
1	2	3	4	5
[0,5 ; 4[	[4 ; 5,5[	[5,5 ; 6,5[	[6,5 ; 8[	[8 ; 10]

Vida Restante

Para obter a duração restante do ciclo vida, tomou-se o IS do troço de linha, decidiu-se, convertê-lo em anos, que exprimem a vida expectável de um troço, depois de afetado pelas avaliações do terreno. Para tal, utilizou-se o procedimento inverso:

$$IS = 0,5 \times e^{(\beta_1 \cdot idade)} \rightarrow \frac{IS}{0,5} = e^{(\beta_1 \cdot idade)} \rightarrow \beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{IS}{0,5}\right)}{idade} \quad (8.12)$$

$$\beta_1 = \frac{\ln\left(\frac{5,5}{0,5}\right)}{Vida Expectável} \quad (8.13)$$

$$\frac{\ln\left(\frac{IS}{0,5}\right)}{idade} = \frac{\ln\left(\frac{5,5}{0,5}\right)}{Vida Expectável} \rightarrow Vida Expectável = \frac{\ln\left(\frac{5,5}{0,5}\right) \cdot idade}{\ln\left(\frac{IS}{0,5}\right)} \quad (8.14)$$

$$Vida Restante = |Vida Expectável - idade| \quad (8.15)$$

Como o ativo troço é constituído por 3 sub-ativos, aos quais se podem definir idades diferentes e, por conseguinte, possuir IS's diferentes, foi utilizada a seguinte equação de modo a definir a vida restante do troço.

$$Vida Restante = \left| \frac{\ln\left(\frac{5,5}{0,5}\right) \cdot idade_{apoio}}{\ln\left(\frac{IS_{apoios}}{0,5}\right)} \cdot 0,5 + \frac{\ln\left(\frac{5,5}{0,5}\right) \cdot idade_{isolador}}{\ln\left(\frac{IS_{isoladores}}{0,5}\right)} \cdot 0,15 + \frac{\ln\left(\frac{5,5}{0,5}\right) \cdot idade_{condutor}}{\ln\left(\frac{IS_{condutor}}{0,5}\right)} \cdot 0,35 - (idade_{apoio} \cdot 0,5 + idade_{isolador} \cdot 0,15 + idade_{condutor} \cdot 0,35) \right| \quad (8.16)$$

Calculada a vida restante do ativo, esta permite aos decisores, conhecer um *timing* aproximado para tomar decisões quanto à reabilitação da linha, ou, em último caso sobre a sua saída de serviço para reserva ou abate físico dos ativos.

8.5 - III - Probabilidade de Falha (PoF)

Este parâmetro quantifica a probabilidade de falha inerente ao conjunto de ativos (apoio, isolador, condutor), que representam a média da sua população. Os valores não são representativos do troço, mas sim, da condição média do apoio, isolador e condutor. Este parâmetro é puramente informativo, pois o seu uso não se perfaz na matriz de risco, nem se encontra aplicado em nenhuma das metodologias expostas. Considerou-se que a probabilidade de falha não seria a soma das probabilidades dos ativos em série, pelo facto de que esta abordagem poderia conduzir a probabilidades absurdas (superiores a 1), no caso de linhas com maior número de elementos.

A Probabilidade de Falha é extrapolada através do Índice de Saúde, seguindo a mesma fórmula da OFGEM. Como tal, é constituído pela adição da PoF do apoio, de 3 x 1,4 na MT ou 3

x 1,23 na AT no que se refere aos isoladores e por fim, 3 x 1km no que se refere ao condutor. Nestes cálculos é utilizado o IS individual dos sub-ativos.

$$PoF = K \times \left[1 + (C \times H) + \frac{(C \times H)^2}{2} + \frac{(C \times H)^3}{3!} \right] \quad (8.17)$$

Onde:

- H = IS, se IS $\geq$ 4
- H = 4, se IS $\leq$ 4

Tabela 22 - Constantes utilizadas na obtenção da probabilidade de falha pela OFGEM.

Probabilidade de Falha (OFGEM)		
Sub-Ativo	K - Valor	C - Valor
Poste Betão Armado	0,0285%	1,087
Apoios Metálicos	0,0545%	1,087
Isoladores	0,0096%	1,087
Condutor (1km)	0,0080%	1,087

Assim, a equação final será a soma das equações individuais, e depende apenas do índice de saúde, do nível de tensão e do material do apoio. Para a MT, segue a seguinte fórmula.

$$PoF = PoF_{\text{Apoio Betão ou Metálico}} + 3 \cdot 1,4 \cdot PoF_{\text{Isolador}} + 3 \cdot PoF_{\text{Condutor}} \quad (8.18)$$

Para a AT, segue a seguinte fórmula:

$$PoF = PoF_{\text{Apoio Betão ou Metálico}} + 3 \cdot 1,28 \cdot PoF_{\text{Isolador}} + 3 \cdot PoF_{\text{Condutor}} \quad (8.19)$$

Estas constantes derivam, como já foi abordado na explicação do método da OFGEM, da análise estatística referentes à média de 5 anos de falhas funcionais dos seis DNO's da Grã-Bretanha. Crê-se que estes valores não sejam muito diferidos da realidade nacional, porém, o valor da probabilidade não servirá para a parametrização do ativo, mas para comparação com o universo dos ativos. Ou seja, a PoF, servirá única e exclusivamente para comparação da expectativa da performance do ativo, enquanto não for feita a recolha e sistematização da informação relevante dos ativos portugueses como se procedeu no caso britânico.

8.6 - PoF de Fatores Externos

Aproveitando informação já utilizada pela UCA no cálculo da metodologia em vigor, estabeleceram-se os fatores externos impactantes que se consideraram alterar a probabilidade de falha, e por isso, devem transitar para o método agora proposto. A metodologia da UCA, foca-se em fatores externos específicos, cuja utilização neste trabalho confere uma maior precisão e detalhe aos resultados.

Ao contrário do Índice de Saúde, que pode ser calculado de forma massiva e imediata, através das extrações do SIT, este parâmetro carece de informações facultadas pelos operacionais do terreno. Assim esta etapa está condicionada pela necessidade de se averiguar no local os fatores externos que condicionam a operação do ativo.

Tabela 23 - Ponderações aplicadas aos Fatores Externos

Fator Externo	Ponderações / Pesos
Existência de Cabo de Guarda	10%
Índice Ceráunico	10%
Tipo de Solo	8%
Inundação	8%
Risco Sísmico	2%
Avifauna	7%
Eventos Atmosféricos Extremos	3%
Arborização - Vegetação na Faixa de Proteção	14%
Zona de Nemátodo	5%
RSFGC	8%
Zonas Geográficas	12%
Furtos	3%
Última Inspeção Visual, Termográfica e Distâncias	10%
	100%

As ponderações da tabela 23, são resultantes das considerações referidas durante o presente trabalho sobre a importância dos parâmetros em questão e das ponderações aplicadas na metodologia atual. A ausência/insuficiência de informação estatística relativa à maioria dos parâmetros referidos, na EDP Distribuição, não possibilita a análise destes elementos, de modo que, o conhecimento/informação utilizados se baseia essencialmente na percepção técnica dos operacionais envolvidos na manutenção da rede.

No caso da PoF decorrente de fatores externos, considerou-se que esta não deveria, no pior dos cenários, ultrapassar o 1/3 da probabilidade de falha do ativo indexada à condição de saúde. Como a PoF extrapolada através do IS se baseia numa função idêntica a uma exponencial, possuindo maior gradiente à medida que o IS sobe, concluiu-se que a multiplicação deste fator pela PoF, iria penalizar, de forma quase exponencial, os ativos com pior performance. Considerou-se que os fatores referidos afetam de forma mais gravosa os ativos em pior condição, mas não de forma exponencial como a PoF através do IS o define.

De forma a evitar que um ativo com IS de valor 10 tivesse uma PoF de fatores impactantes 5 vezes superior a um ativo com IS de valor 5,5, quando expostos a fatores com a mesma gravidade, definiu-se uma fórmula de cálculo que evite a dupla penalização dos ativos no rácio até agora aplicado. Para tal, estabeleceu-se que para o cálculo da PoF final (PoF do IS + PoF dos Fatores Externos), em ativos com IS superior a 4, seria aplicado um atenuante, de modo a reduzir a influência aditiva da função.

A figura 8.6, representa sob a forma de uma linha clara a PoF máxima (Ponderação = 1) possível que deriva dos fatores de impacto. Até IS = 4, a PoF máxima pode atingir 1/3 da PoF extrapolada, no caso de um IS = 5,5 pode afetar até 4/15 e, no pior IS, IS = 10, pode atingir 1/15. Como se pode verificar no gráfico, esta fórmula evita que a PoF dispare com o IS.

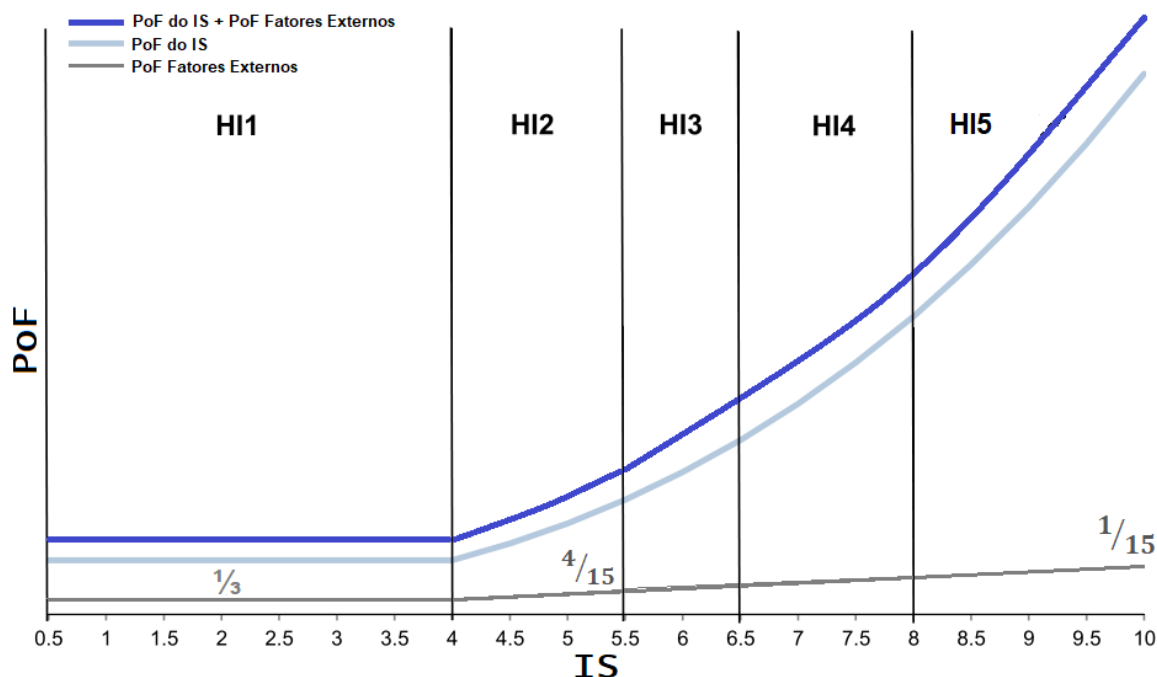


Figura 8.6 - PoF Fatores de Impacto

$$PoF \text{ Fatores de Impacto} = PoF_{Extrapolada} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(-1,33 \cdot \left(\frac{IS - 4}{10} \right) + 1 \right) \cdot Ponderação \quad (8.20)$$

A função linear utilizada, garante que: a PoF de fatores externos nunca seja maior que um terço, e que progrida de um valor máximo de um terço em $IS \leq 4$, para 20% de um terço no maior IS. Porém, visto que a PoF em $IS=10$, é sensivelmente 10 vezes superior à PoF em $IS \leq 4$, uma ponderação máxima dos impactos corresponderá a uma PoF dos fatores externos duas vezes superior em $IS=10$ quando comparada, assegurando assim um aumento gradual da PoF do impacto em linhas aéreas de pior condição, mas de forma controlada.

As trezes categorias de impactos aplicadas, são caracterizadas através de níveis discretos, à qual se concedeu a seguinte distribuição:

Tabela 24 - Distribuição das ponderações pelas respectivas categorias.

Cabo de Guarda		Índice Cerâmico		Tipo de Solo	
- (Default)	0,5	-	0,5	-	0,5
0% cobertura linha	1	21-24	1	Pantanosos	1
0 a <=25% Cobertura	0,75	18-21	0,75	Arenoso	0,75
25 a <= 50% cobertura linha	0,5	15-18	0,5	Siltoso	0,5
50 a <= 75% cobertura linha	0,25	12-15	0,25	Argiloso	0,25
75 a 100 % cobertura linha	0	< 12	0	Rochoso	0

Inundação		Risco Sísmico		Avifauna	
-	0,5	-	0,5	-	0,5
Muito Alta	1	Muito Alta	1	Estorninhos + Cegonhas	1
Alta	0,75	Alta	0,75	Cegonhas	0,75
Média	0,5	Média	0,5	Estorninhos	0,5
Baixa	0,25	Baixa	0,25	Outras aves	0,25
Muito Baixa	0	Muito Baixa	0	Sem Aves	0

Eventos Atmosféricos extremos		Arborização - Vegetação na Faixa de Proteção		Zona de Nemátodo		Incêndio (RSFGC)	
-	0,5	-	0,5	-	0,5	-	0,5
Muito Alta Incidência	1	Arvores crescimento Rápido (Eucaliptal, Mimosas, ...)	1	Sim	1	Sem RSFGC	1
Alta Incidência	0,75	Resinosas (Pinheiro Bravo, ...)	0,75	Não	0	RSFGC = 4 ano	0,75
Incidência moderada	0,5	Carvalhos Azinheiras Oliveiras	0,5			RSFGC = 3 anos	0,5
Baixa incidência	0,25	Arvores de fruto	0,25			RSFGC = 2 anos	0,25
Muito baixa incidência	0	Sem árvores	0			RSFGC = 1 ano	0

Incêndio (zonas Geográficas)		Furtos		Inspeção Visual, Termográfica e Med. Distâncias MT/AT	
-	0,5	-	0,5	-	0,5
Zona de muito elevado risco de incêndio	1	Linha em Cu (zona de grande incidência de furtos)	1	MT - Insp $\geq$ 5 anos AT - Insp $\geq$ 3 anos	1
Zona elevado risco de incêndio	0,75	Linha em Cu (zona de média incidência de furtos)	0,75	$4 \leq$ Insp MT < 5 ano	0,75
Zona de risco moderado	0,5	Linha em Cu (zona de baixa incidência de furtos)	0,5	$3 \leq$ Insp MT < 4 ano $2 \leq$ Insp AT < 3 ano	0,5
Zona de baixo risco	0,25	Linhas de Al-Aço ou Liga de Alumínio (zona de grande incidência de furtos)	0,25	$2 \leq$ Insp MT < 3 ano	0,25
Zona sem risco de incêndio	0	Linhas de Al-Aço ou Liga de Alumínio (zona de baixa incidência de furtos)	0	$1 \leq$ Insp MT < 2 ano $1 \leq$ Insp AT < 2 ano	0

O valor admitido como *default* é 0,5. Este valor é o único que garante a neutralidade do algoritmo na ausência de informação. A metodologia termina com a caracterização da PoF do ativo com a agravante dos fatores externos de impacto.

8.7 - Demonstração

Este subcapítulo refere os conceitos abordados até aqui pela metodologia proposta. Esta demonstração pretende ser o mais simples possível e de fácil apreensão, pelo que foi dividida de forma a facilitar a sua visualização e compreensão.

Como este trabalho aborda vários parâmetros variáveis, dos quais se salienta a localização, a presente demonstração seleciona seis concelhos de Portugal continental para exemplificar o algoritmo. Por apresentarem fatores de localização distintos, foram escolhidos para a

demonstração, os concelhos de Caminha, Bragança, Porto, Manteigas, Vila Franca de Xira e Beja.

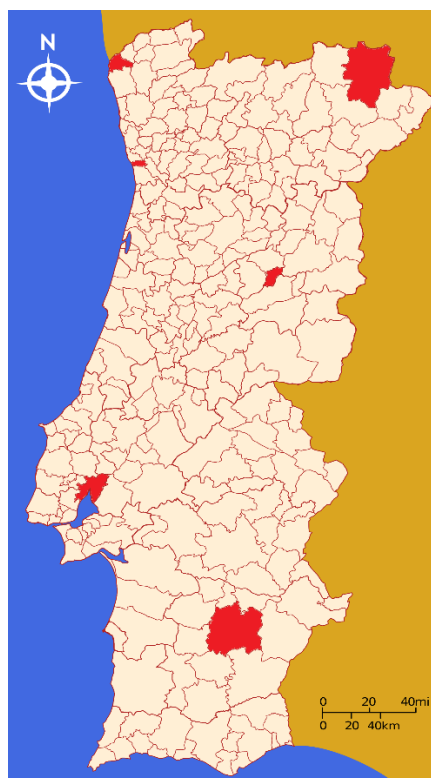


Figura 8.7 - Mapa dos concelhos de Portugal onde os ativos desta demonstração se inserem.

Por limitações de espaço, o cálculo está dividido por quatro tabelas e foram ocultados alguns parâmetros que se considerou não terem interesse relevante. Os parâmetros que relacionam idade ou vida expectáveis/restante, em anos, foram arredondados à decima. Os restantes parâmetros foram arredondados à quarta casa decimal. Contudo o cálculo encontra-se, na íntegra, no Anexo A do presente documento.

Os peso 1, 2, 3 e 4 são as ponderações referentes à Proximidade do Mar, Altitude, Zona de Corrosão e Índice Ceráunico, respetivamente, e representam os Fatores de Localização.

Em primeiro lugar será, apenas, abordado o cálculo até à extrapolação da PoF em função do IS. Em seguida, para a PoF dos fatores externos será demonstrada a influência de quatro ponderações distintas, aplicadas aos ativos abordados no primeiro passo.

8.7.1 -Índice de Saúde e Probabilidade de Falha

Caminha - Troços com 1km de extensão, 5 anos de idade, condutores ACSR de 50 e 160 mm², sem anomalias reportadas, a menos de 1km do mar, a uma altitude inferior a 400m, zona de corrosão de nível 3. Pretende-se comparar nos troços indicados com o número 1 e 2 a influência dos apoios metálicos em comparação com os apoios de betão armado. Os números 3 e 4, comparam dois troços de tensão diferente com as mesmas propriedades.

Tabela 25 - Estudo de caso de quatro ativos do concelho de Caminha.

N°	Idade	Tensão	Apoios	Isoladores	Apoio						
					Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável
1	5	MT	20	84	Metal	55	1,8	0,9	1	1,1	30,6
2	5	MT	20	84	Betão	60	1,25	1	1	1,05	48
3	5	MT	20	84	Betão	60	1,25	1	1	1,05	48
4	5	AT	20	73,8	Betão	70	1,25	1	1	1,05	56

Apoio		Isoladores								
B1	IS Inicial	Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	IS Inicial
0,0784	0,7403	Cadeia	55	2	0,95	1	1,15	27,5	0,0872	0,7732
0,0499	0,6419	Cadeia	55	2	0,95	1	1,15	27,5	0,0872	0,7732
0,0499	0,6419	Cadeia	55	2	0,95	1	1,15	27,5	0,0872	0,7732
0,0428	0,6193	Cadeia	60	2	0,95	1	1,15	30	0,0799	0,7457

Condutor									
Material	Secção	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	Inicial IS
ACSR	50	47	2	0,95	1	1,15	23,5	0,10203	0,8328
ACSR	50	47	2	0,95	1	1,15	23,5	0,10203	0,8328
ACSR	160	55	2	0,95	1	1,15	27,5	0,0872	0,77324
ACSR	160	55	2	0,95	1	1,15	27,5	0,0872	0,77324

Pré-Reporte		Reporte de Anomalias			Final			
Vida Expectável Troço	IS Inicial Troço	Modificador Apoios	Modificador Isoladores	Modificador Condutor	Vida Restante	IS	PoF (%)	Banda
27,6	0,7776	1	1	1	22,6	0,7776	1,5732	1
36,4	0,7284	1	1	1	31,4	0,7284	0,8254	1
37,8	0,7076	1	1	1	32,8	0,7076	0,8254	1
42,1	0,6922	1	1	1	37,1	0,6922	0,8254	1

Nesta demonstração, é possível ver dois aspetos relevantes: O impacto da proximidade do mar nos apoios é consideravelmente maior no caso destes serem do tipo metálico, quando comparado aos apoios de betão armado (relação expressa através do IS inicial e vida expectável no exemplo 1 e 2). O segundo aspeto relevante, é a diferenciação dos níveis de tensão AT e MT através da diferente valorização dos sub-ativos na vida normal expectável (apoio e isolador). De notar que a PoF dos ativos com IS inferior a 4, que possuem apoios do mesmo tipo será igual.

Porto - Troços com 1km de extensão, condutores de Cobre 16 e 90 mm², MT, sem anomalias reportadas, a 15km do mar, a uma altitude a 400m, em zona de corrosão de nível 4 (poluição urbana), com apoios em metal. Pretende-se comparar nos troços indicados com o número 5 e 6 a influência do cobre 16 e da idade no IS (idade de 10 anos vs. 50 anos). Os números 7 e 8, comparam dois troços de cobre 90mm², 20 anos, com diferentes tipos de isoladores (rígidos vs. cadeia).

Tabela 26 - Estudo de caso de quatro ativos do concelho do Porto.

N°	Idade	Tensão	Apoios	Isoladores	Apoio						
					Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável
5	10	MT	20	84	Metal	55	1	0,9	1,3	1,05	42,3
6	50	MT	20	84	Metal	55	1	0,9	1,3	1,05	42,3
7	20	MT	20	84	Metal	55	1	0,9	1,3	1,05	42,3
8	20	MT	20	84	Metal	55	1	0,9	1,3	1,05	42,3

Apoio		Isoladores								
B1	IS Inicial	Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	IS Inicial
0,0566	0,8812	Cadeia	55	1	0,95	1,05	1,1	50	0,0480	0,8077
0,0566	5,5	Cadeia	55	1	0,95	1,05	1,1	50	0,0480	5,5000
0,0566	1,5533	Cadeia	55	1	0,95	1,05	1,1	50	0,0480	1,3047
0,0566	1,5533	Rígidos	50	1	0,95	1,05	1,1	45,5	0,0528	1,4361

Condutor									
Material	Secção	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	Inicial IS
Cu	16	48	1	0,95	1,05	1,1	43,6	0,0549	0,8662
Cu	90	62	1	0,95	1,05	1,1	56,4	0,0425	4,1955
Cu	90	62	1	0,95	1,05	1,1	56,4	0,0425	1,1708
Cu	90	62	1	0,95	1,05	1,1	56,4	0,0425	1,1708

Pré-Reporte		Reporte de Anomalias			Final			
Vida Expectável Troço	IS Inicial Troço	Modificador Apoios	Modificador Isoladores	Modificador Condutor	Vida Restante	IS	PoF (%)	Banda
43,9	0,865	1	1	1	33,9	0,8650	1,5732	1
48,4	5,0434	1	1	1	2,2	5,0434	3,3325	2
48,4	1,3822	1	1	1	28,4	1,3822	1,5732	1
47,7	1,4019	1	1	1	27,7	1,4019	1,5732	1

Esta demonstração apresenta a comparação da vida normal expectável da mesma liga metálica, em função da secção (número 5 e 6) e da vida normal expectável em função do tipo de isolador. Este ativo foi considerado como estando sob o efeito de poluição urbana, auferindo, portanto, o índice 4 no Fator de Corrosão, que é majorante do fator de localização para os apoios. Nos isoladores e condutores o fator de localização majorante, provém da valorização dada ao índice cerâmico anexo ao concelho do Porto. O troço número 6, com 50 anos, possui uma vida restante de apenas 2 anos. Quando este troço atingir a totalidade da vida expectável, o IS será de 5,5 e a PoF deste será 2 vezes superior a um ativo de $IS \leq 4$. A banda de Índice de Saúde considerada no ativo n° 6 é a banda 2, e está considerada de diferente cor.

Bragança - Troços AT com 1 km, localizado a uma altitude de 800m, zona de corrosão de índice 2, apoios metálicos, Almelec (liga de alumínio) de 110mm². Os números 9 e 10, pretendem demonstrar o impacto de anomalias e uniões no cálculo do IS final, em troços jovens (15 anos), devido ao seu envelhecimento precoce. O número 9 representa um troço sem anomalias e o número 10 representa um troço idêntico, mas com a existência de várias anomalias de diferente gravidade. Os números 11 e 12, pretendem comparar a influência das anomalias e uniões em troços de idade avançada (50). O número 11, representa o ativo de idade avançada sem avarias e o número 12 um ativo com avarias/uniões. As primeiras três tabelas, são representativas do cálculo dos modificadores de IS, que entram no final do cálculo do IS.

Tabela 27 - Modificadores do índice de Saúde por sub-ativo.

N°	Maciços		Travessas		Postes		Modificador de IS Apoios
	B	C	B	C	B	C	
10	1	2	0	3	3	1	1,77
12	2	3	1	2	2	0	1,81

Contornado		Sujo/Oxidado		Desgaste/Torcido/Inclinado		Modificador de IS Isoladores
B	C	B	C	B	C	
2	8	2	15	2	5	1,6653
3	8	0	7	5	10	1,6449

Condutor		Unões/Junções	Modificador de IS Condutor
B	C		
3	6	10	1,098667
4	10	15	1

Tabela 28 - Estudo de caso de quatro ativos do concelho de Bragança.

N°	Idade	Tensão	Apoios	Isoladores	Apoio						
					Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável
9	15	AT	20	73,8	Metal	65	0.85	1,15	1	1	56.52
10	15	AT	20	73,8	Metal	65	0.85	1,15	1	1	56.52
11	50	AT	20	73,8	Metal	65	0.85	1,15	1	1	56.52
12	50	AT	20	73,8	Metal	65	0.85	1,15	1	1	56.52

Apoio		Isoladores								
B1	IS Inicial	Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	IS Inicial
0,0424	0,9448	Cadeia	60	1	1,05	0.95	1	57,1	0,0420	0,9383
0,0424	0,9448	Cadeia	60	1	1,05	0.95	1	57,1	0,0420	0,9383
0,0424	4,1706	Cadeia	60	1	1,05	0.95	1	57,1	0,0420	4,0756
0,0424	4,1706	Cadeia	60	1	1,05	0.95	1	57,1	0,0420	4,0756

Condutor									
Material	Secção	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	Inicial IS
Almelec	110	57	1	1,05	1	1	54,3	0,04417	0,96989
Almelec	110	57	1	1,05	1	1	54,3	0,04417	0,96989
Almelec	110	57	1	1,05	1	1	54,3	0,04417	4,55143
Almelec	110	57	1	1,05	1	1	54,3	0,04417	4,55143

Pré-Reporte		Reporte de Anomalias			Final			
Vida Expectável Troço	IS Inicial Troço	Modificador Apoios	Modificador Isoladores	Modificador Condutor	Vida Restante	IS	PoF (%)	Banda
55,8	0,9526	1	1	1	40,8	0,9526	1,5686	1
55,8	0,9526	1,77	1,66531	1,098667	18,3	1,4435	1,5686	1
55,8	4,2897	1	1	1	5,8	4,2897	1,7241	2
55,8	4,2897	1,81	1,64498	1,146667	0,0	6,6067	7,4078	4

Esta demonstração compara os efeitos penalizadores do modificador de IS, calculado através das falhas reportadas pela LABLEC (número 1 e 2), e seguindo o mesmo raciocínio, mas num troço de idade avançada. No exemplo 4, a vida restante demonstra que é urgente equacionar o futuro deste troço.

Manteigas - Troços com 1km de extensão, 20 anos de idade, condutores ACSR de 90 mm², MT, sem anomalias reportadas, a mais de 20km do mar, a uma altitude superior a 1600m, zona de corrosão de nível 1. Pretende-se comparar a influência da altitude sobre linhas aéreas com apoios metálicos e linhas aéreas com apoios de betão, número 13 e 14, respetivamente.

Tabela 29 - Estudo de caso de dois ativos do concelho de Manteigas.

N°	Idade	Tensão	Apoios	Isoladores	Apoio						
					Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável
13	20	MT	20	84	Metal	55	0,85	1,3	0,75	1	42,3
14	20	MT	20	84	Betão	60	1	1	0,9	1	66,7

Apoio		Isoladores								
B1	IS Inicial	Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	IS Inicial
0,0567	1,5533	Cadeia	55	1	1,15	0,95	1	47,8	0,0501	1,3629
0.0360	1.0266	Cadeia	55	1	1.15	0.95	1	47.8	0.0501	1.3629

Condutor									
Material	Secção	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	Inicial IS
ACSR	90	52	1	1,15	0,95	1	45,2	0,05303	1,44406
ACSR	90	52	1	1,15	0,95	1	45,2	0,05303	1,44406

Pré-Reporte		Reporte de Anomalias			Final			
Vida Expectável Troço	IS Inicial Troço	Modificador Apoios	Modificador Isoladores	Modificador Condutor	Vida Restante	IS	PoF (%)	Banda
44,2	1,48652	1	1	1	24,2	1,4865	1,5732	1
56,3	1,22314	1	1	1	36,3	1,2231	0,8254	1

Em Manteigas, pretende-se comparar os efeitos da altitude nos apoios (metal vs. betão), nos isoladores e no condutor. Os apoios metálicos são mais penalizados, por se considerarem mais suscetíveis a falhas, quando instalados em zonas de altitude elevada.

Alhandra, Vila Franca de Xira - Troços com 1km de extensão, 25 anos de idade, condutores, cobre 160 mm², AT, sem anomalias reportadas, a mais de 20km do mar, a uma altitude inferior a 400m, adjacente a uma indústria cimenteira (zona de corrosão de nível 5). Pretende-se comparar a influência da proximidade de agentes que emanam partículas poluentes corrosivas sobre linhas aéreas com apoios metálicos e com apoios de betão, número 15 e 16, respetivamente.

Tabela 30 - Estudo de caso de dois ativos do concelho de Manteigas.

N°	Idade	Tensão	Apoios	Isoladores	Apoio						
					Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável
15	25	MT	20	73,8	Metal	65	0,85	0,9	1,6	0,95	40,6
16	25	MT	20	73,8	Betão	70	1	1	1,1	0,95	63,6

Apoio		Isoladores								
B1	IS Inicial	Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	IS Inicial
0,0590	2,1869	Cadeia	60	1	0,95	1,2	0,95	50,00	0,0480	1,6583
0.0377	1.2826	Cadeia	60	1	0.95	1.2	0.95	50.00	0.0480	1.6583

Condutor									
Material	Secção	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	B1	Inicial IS
Cu	160	62	1	0,95	1,2	0,95	51,67	0,04641	1,5954
Cu	160	62	1	0,95	1,2	0,95	51,67	0,04641	1,5954

Pré-Reporte		Reporte de Anomalias			Final			
Vida Expectável Troço	IS Inicial Troço	Modificador Apoios	Modificador Isoladores	Modificador Condutor	Vida Restante	IS	PoF (%)	Banda
45,9	1,90058	1	1	1	20,9	1,9006	1,5686	1
57,4	1,44843	1	1	1	32,4	1,4484	0,8254	1

À semelhança de outros estudos de caso apresentados, verifica-se que neste parâmetro, zona de corrosão, os apoios metálicos terão pior performance. Tal fator, justifica o porquê dos documentos normativos internos da EDP Distribuição adotarem os apoios em betão-armado como referência no projeto de LAMT e LAAT.

Zonas com altos níveis de poeiras e partículas corrosivas poluentes, diminuem a vida expectável não só dos apoios, como também influenciam este parâmetro no caso dos isoladores e do condutor.

Beja - Troços com 1km de extensão, 60 anos de idade, condutores AA 320 mm², AT, sem anomalias reportadas, a mais de 20km do mar, a uma altitude inferior a 400m, zona de corrosão de nível 3. Pretende-se analisar a ausência de fatores de localização penalizadores em linhas com apoios de betão e de metal.

Tabela 31 - Estudo de caso de dois ativos do concelho de Beja.

N°	Idade	Tensão	Apoios	Isoladores	Apoio						
					Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável
17	60	AT	20	73,8	Metal	65	0,85	0,9	0,75	0,95	86,7
18	60	AT	20	73,8	Betão	70	1	1	0,9	0,95	77,8

Apoio		Isoladores								
$\beta 1$	IS Inicial	Material	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	$\beta 1$	IS Inicial
0,0277	2,6299	Cadeia	60	1	0,95	0,95	0,95	63,2	0,0380	4,8786
0,0308	3,1793	Cadeia	60	1	0,95	0,95	0,95	63,2	0,0380	4,8786

Condutor									
Material	Secção	Vida Normal Expectável	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Vida Expectável	$\beta 1$	Inicial IS
AA	320	57	1	0,95	0,95	0,95	60	0,03996	5,5
AA	320	57	1	0,95	0,95	0,95	60	0,03996	5,5

Pré-Reporte		Reporte de Anomalias			Final			
Vida Expectável Troço	IS Inicial Troço	Modificador Apoios	Modificador Isoladores	Modificador Condutor	Vida Restante	IS	PoF (%)	Banda
73,8	3,97172	1	1	1	13,8	3,9717	1,5779	1
69,4	4,24643	1	1	1	9,4	4,2464	0,8327	2

Como o concelho de Beja não é penalizado pelos fatores de localização, a vida expectável dos sub-ativos é calculada pelo minorante de um dos quatro constituintes. Neste caso específico, é suposto que os elementos que integram a linha conservem as suas propriedades físicas por um período superior ao normal.

8.7.2 -Probabilidade de Falha dos Fatores Externos

A título de exemplo, foram definidas quatro ponderações, estipuladas pela soma dos treze fatores externos, aleatoriamente definidos, expressos na tabela 32.

Tabela 32 - Tabela com a atribuição dada a quatro ponderações dos Fatores Externos de forma aleatória.

Fator Externo	Ponderações / Pesos	Ponderação 1	Ponderação 2	Ponderação 3	Ponderação 4
Cabo de Guarda	10%	0,5	0,5	1	1
Índice Cerâmico	10%	0,25	1	0,25	1
Tipo de Solo	8%	0	1	1	1
Inundação	8%	0,75	1	1	1
Risco Sísmico	2%	0	0	0,75	1
Avifauna	7%	0	0,25	1	1
Eventos Atmosféricos Extremos	3%	0,25	0,25	0,75	1
Arborização - Vegetação na FP	14%	0,25	0,25	0,75	1
Zona de Nemátodo	5%	0	1	1	1
RSFGC	8%	0	0	0	1
Zonas Geográficas	12%	0,75	0,75	0,75	1
Furtos	3%	0	0	1	1
Última Inspeção Visual, Termográfica e Distâncias	10%	0	0,5	0,5	1
	100%	0,2675	0,56	0,7175	1

Utilizando estas ponderações, verifica-se na tabela 33, a influência do seu valor, na PoF previamente calculada para a totalidade dos ativos referenciados e um exemplo de um ativo no pior estado possível.

Tabela 33 - PoF final em função de diferentes ponderações consideradas nos fatores externos.

N°	IS	PoF	Ponderação 1	Ponderação 2	Ponderação 3	Ponderação 4
1	0,7776	1,5732	1,7135	1,8669	1,9495	2,0976
2	0,7284	0,8254	0,8990	0,9795	1,0228	1,1006
3	0,7076	0,8254	0,8990	0,9795	1,0228	1,1006
4	0,6922	0,8254	0,8990	0,9795	1,0228	1,1006
5	0,8650	1,5732	1,7135	1,8669	1,9495	2,0976
6	5,0434	3,3325	3,5884	3,8683	4,0189	4,2892
7	1,3822	1,5732	1,7135	1,8669	1,9495	2,0976
8	1,4019	1,5732	1,7135	1,8669	1,9495	2,0976
9	0,9526	1,5686	1,7085	1,8614	1,9438	2,0915
10	1,4435	1,5686	1,7085	1,8614	1,9438	2,0915
11	4,2897	1,7241	1,8719	2,0335	2,1206	2,2767
12	6,6067	7,40781	7,7990	8,2260	8,4559	8,8683
13	1,4865	1,5732	1,7135	1,8669	1,9495	2,0976
14	1,2231	0,8254	0,8990	0,9795	1,0228	1,1006
15	1,9006	1,5686	1,7085	1,8614	1,9438	2,0915
16	1,4484	0,8254	0,8990	0,9795	1,0228	1,1006
17	3,9717	1,5779	1,7186	1,8724	1,9552	2,1038
18	4,2464	0,8327	0,9045	0,9831	1,0254	1,1012
IS=10 (Apoios Metálicos)	10	15,6865	15,9691	16,2780	16,4444	16,7428

Analisando a tabela, é possível compreender que a PoF de fatores externos nunca ultrapassará um terço do valor da PoF extrapolado, numa hipotética ponderação de valor 1, para ativos com IS igual ou inferior a 4.

Para ativos de IS superior a 4, a PoF de fatores externos apresentará um rácio cada vez menor.

O ativo número 11 e o último exemplo listado da tabela (ambos com apoios metálicos), são demonstrativos desse rácio. Na quarta ponderação da tabela, o ativo número 11 tem um incremento de sensivelmente 32% ($\approx 1/3$), que corresponde a uma adição de 0,5526% na PoF final. Com a mesma ponderação, o exemplo apresentado, tem um crescimento de apenas 6,7%, porém, este corresponde a um valor quase duas vezes superior ao do ativo número 11, que se traduz numa adição de 1,0563% à PoF final desse mesmo ativo.

Assim, em função destes exemplos e seus resultados é possível afirmar que a metodologia proposta confere uma maior aproximação aos efeitos reais dos fatores externos na PoF final.

Capítulo 9

Conclusões

A dissertação de mestrado que agora se conclui teve como principal objetivo a elaboração de um modelo de cálculo para a determinação de índice de saúde, probabilidade de falha e vida restante de linhas aéreas de alta e média tensão, no contexto da empresa Energias de Portugal - Distribuição, Energia S.A., tentando, por essa via contribuir para a melhoria do modelo de cálculo, atualmente, em uso na empresa.

Como suporte para esse trabalho foi necessário não só conhecer o *modus operandi* da empresa, no que se refere ao assunto em estudo, como as suas políticas de gestão e manutenção dos ativos. Com essa finalidade, foi levada a efeito uma extensa consulta documental, com enfoque em toda a documentação interna pertinente, quer no que se refere ao funcionamento das redes de alta e média tensão e seus diversos ativos e registos de ocorrências de falhas, através das diversas formas como toda a informação é registada e sistematizada.

Foi, também, necessário proceder à consulta da documentação relativa à Metodologia OFGEM - DNO Common Network Asset Indices Methodology, em uso no Reino Unido, para desse modo se identificarem as melhorias possíveis a introduzir no atual metodologia de cálculo da EDP Distribuição.

Para além da consulta documental, para a compreensão do funcionamento das linhas aéreas, foram, também, muito importantes as visitas realizadas ao terreno, por permitirem o conhecimento mais concreto dos ativos e do seu funcionamento, bem como o cruzamento de informação com os técnicos/eletricistas, sobre as causas raiz das falhas dos ativos e a identificação dos tipos de ativo problemáticos e outras especificidades.

Este trabalho constituiu-se num desafio constante não só atendendo à complexidade da organização, EDP Distribuição, com os impactos que daí decorrem para o objeto de estudo, mas por, desde o início, se ter percebido ser possível contribuir para melhorar a metodologia de cálculo.

9.1 - Síntese Conclusiva

O trabalho consistiu em analisar a Metodologia de Cálculo do índice de Criticidade em prática na EDP Distribuição, e a nova metodologia que a empresa se propõe adotar, OFGEM, que vem sendo analisada no seio da empresa e, por fim, a partir dos pontos fortes e constrangimentos observados nas duas metodologias elaborar uma nova proposta, híbrida, capaz de, utilizando o melhor das duas, ajustá-la às especificidades da rede portuguesa, à informação disponível e, sobretudo, aos fatores condicionantes relevantes.

Foi feita uma caracterização genérica da rede elétrica nacional, no que se refere à sua extensão, tecnologia utilizada, principais fatores externos com impacto nas falhas, ou seja, na eficiência da rede.

Procedeu-se à análise e caracterização das falhas observadas e discutiram-se as estratégias de melhoria no modelo de gestão de ativos baseada no risco, mais especificamente na componente da condição do ativo.

A análise do atual modelo de gestão de ativos permitiu concluir que:

- O modelo utilizado não se encontra preparado para a análise do objeto de estudo que se pretende introduzir com o projeto interno *JUMP*, centrado no conceito de *troço de linha*.
- O modelo e seu algoritmo, dependem excessivamente dos recursos humanos/operacionais, do seu conhecimento técnico e da verificação no local das características técnicas do ativo, o que condiciona os esforços de automatização deste processo.
- Existe uma necessidade de um reporte prévio da carteira de ativos identificados com condição técnica e/ou desempenho insatisfatório. Para tal, um ativo para ser avaliado necessita de um historial de falha recorrente, o que de certa forma choca com os valores da empresa que, privilegiam a qualidade de serviço e a segurança. Desta situação decorre a necessidade de, portanto, o enfoque ser colocado antes da verificação da degradação real do ativo, o que implica uma avaliação e intervenção, em momento anterior.

Da análise da metodologia OFGEM, foi possível inferir que:

- Sendo uma metodologia recente, criada e suportada com base nos conhecimentos técnicos de pessoal especializado, desenvolvida com recurso a *software* de gestão de ativos e implementada com vista à automatização da análise dos ativos, a mesma apresenta fragilidades que decorrem da excessiva dependência de fatores genéricos.
- A aplicação integral desta metodologia, seria inexecutável face à ausência de informação no cadastro dos ativos por parte da EDP Distribuição.

A proposta híbrida tem como ponto de partida a metodologia da OFGEM, aproveitando a sua sustentação científica moldada ao atual quadro de informação disponível. Adicionando fatores como a vida restante, que se considerou ser um parâmetro essencial, por tornar possível a quantificação do tempo restante do ciclo de vida útil de um ativo e por utilizar informação valorizada na metodologia atual, recolhida através das ferramentas e de operacionais do terreno, de forma a quantificar o impacto dos fatores externos na performance do troço de linha.

9.2 - Perspetivas de Trabalho Futuro

O presente trabalho teve como principal objetivo analisar, observar e introduzir eventuais propostas de melhoria, na metodologia de cálculo de gestão de ativos da EDP Distribuição, tendo em vista o desenvolvimento de uma política de gestão de ativos, mais atual, mais proactiva e mais eficaz e eficiente, capaz de contribuir para a melhor concretização do ramo de negócio do grupo EDP.

A duração limitada do projeto/trabalho, as dificuldades sentidas no acesso à informação específica, sistematizada, relativa a áreas temáticas do trabalho, limitaram de certa forma o seu desenvolvimento e consequentemente o da presente dissertação.

Do trabalho/proposta produzida espera-se contribuir para:

- Uma gestão de ativos mais eficaz e eficiente, assente numa metodologia atenta a fatores específicos caracterizadores da rede nacional e local com impacto na rede.
- O aprofundamento de uma política de gestão de ativos, sustentado numa maior e melhor informação, mais específica ao objeto de análise, mais sistematizada e integrada no conjunto da empresa.

A implementação da metodologia agora proposta carece de um estudo prévio de aplicabilidade, à semelhança do efetuado, no distrito de Setúbal, aquando da entrada em vigor da metodologia atualmente utilizada. Neste caso, atendendo aos fatores de localização considerados nesta proposta, o estudo de aplicabilidade não poderá ser centrado apenas num distrito. Ao contrário, devem ser considerados várias localizações representativas das características do território de Portugal continental.

A concretização deste aporte à metodologia existente implica, também, um esforço acrescido na recolha, tratamento, sistematização e integração da informação no quadro geral do grupo EDP, sendo certo que, neste, como noutros campos de análise, se verifica sempre inovação e rutura, que exigem uma atenção redobrada sobre o setor onde se inserem de forma a garantir a sua sustentabilidade num mercado aberto e concorrencial.

Referências Bibliográficas

- [1] Direção Geral de Energia, «Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão». Abr-1993.
- [2] EDP Distribuição - Energia, S.A., «DMA—C67—605N - Armações de aço para postes de betão de AT». Set-2004.
- [3] EDP Distribuição - Energia, S.A., «DMA—C67—620N - Armações de aço para postes de betão de MT». Ago-2005.
- [4] J. R. F. Manuel Matos, «Apontamentos de Manuel Matos aos Slides de SEEN1 - 2005-2006». 2006-2005.
- [5] «IEC/TS 60815-1:2008 - Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions. Definitions, information and general principles». Out-2008.
- [6] EDP Distribuição - Energia, S.A., «DRE-C10-001/N JAN 2008 - Guia de Coordenação de Isolamento». .
- [7] M. L. P. Heine, «Voltage sag distributions caused by power system faults», *IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. 2004 Denver*, vol. 1, p. 894, 2004.
- [8] EDP Distribuição - Energia, S.A., «DMA-C34 —110/N - Cabos de Cobre». Jul-2015.
- [9] EDP Distribuição - Energia, S.A., «DMA-C34 —127/N - Cabos de liga de alumínio com alma de aço». Mai-2017.
- [10] EN 50341-3-17, *Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV - Part 1: General requirements - National normative aspects (NNA) for Portugal*. 2001.
- [11] Li Zhina, «The Simulation and Analysis of the Lightning Back-flashover Protection Performance of the Medium Voltage Distribution Network», 2008, pp. 296-300.
- [12] «IEC 60794-4-10, Optical fibre cables - Part 4-10: Sectional specification - Aerial optical cables along electrical power lines - Family specification for OPGW». 2006.
- [13] EDP Distribuição - Energia, S.A., «Gestão de ativos técnicos». 25-Mai-2017.
- [14] Puret C., «MV Public Distribution Networks Throughout the World», vol. Schneider Electric, Cahier Technique, n. 155, Mar. 1992.
- [15] E. D.-E. Direção de Manutenção S. A., «Análise de Incidentes de Longa Duração na Rede MT», Coimbra, Portugal, 22-Fev-2016.
- [16] Universidade EDP, «Escola de Distribuição - Curso de Gestão de Ativos - ISO 55000». 21-Set-2016.
- [17] EDP Distribuição - Energia, S.A., «EDP-Distribuição Relatório e Contas 2016». .
- [18] EDP Distribuição - Energia, S.A., «Metodologia de Cálculo do Índice de Criticidade v1.0». .
- [19] «ISO 55000:2014 Asset management — Management systems — Overview, principles and terminology». 15-Jan-2014.
- [20] International Electrotechnical Commission, «IEC-60300-3-14:2004 Application guide — Maintenance and maintenance support». 2004.
- [21] M. R.P.Y, *Risk-Based Maintenance for Electricity Network Organizations*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017.
- [22] EDP Distribuição - Energia, S.A., «Monitorização da Condição Técnica dos PT». 04-Jun-2015.
- [23] EDP Distribuição - Energia, S.A., «Glossário de termos técnicos de Gestão de Ativos da EDP Distribuição». Out-2016.
- [24] Tse, P.W.T., Mathew, J., Wong, K., Lam, R., e Lam, R., *Engineering Asset Management - Systems, Professional Practices and Certification*. New York: Springer, 2015.
- [25] EDP Distribuição - Energia, S.A., «Manual de Manutenção — Linhas de Média Tensão». Set-2016.
- [26] EDP Distribuição - Energia, S.A., «Manual de Manutenção — Linhas de Alta Tensão». Set-2016.

- [27] «algoritmo in Dicionário infopédia da Língua Portuguesa. Porto Editora, 2003-2018. [consult. 2018-05-30 11:35:36]. Disponível na Internet: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/algoritmo>». .
- [28] Forestis - Associação Florestal de Portugal, «Ficha técnica - Nemátodo da madeira do pinheiro». 2009.
- [29] The Office of Gas and Electricity Markets, «DNO Common Network Asset Indices Methodology - Health & Criticality - Version 1.1». 30-Jan-2017.
- [30] Y. Tsimberg, K. Lotho, C. Dimnik, N. Wrathall, A. Mogilevsky, «Determining Transmission Line Conductor Condition and Remaining Life - Montreal, CEATI Report No. T093700-3221/3222».
- [31] EDP Distribuição - Energia, S.A., «DMA-C34 —120/N - Cabos de alumínio com alma de aço». Set-2010.
- [32] Luís Correia Antunes, «*Google Earth na Sala de Aula*». 2014.
- [33] International Electrotechnical Commission, «IEC 62305-2:2010 - Protection against lightning - Part 2: Risk management». 09-Dez-2010.

Anexos

De modo a cumprir com os pressupostos estabelecidos no acordo de confidencialidade firmado com a EDP -Distribuição, Energia, S.A., os anexos da presente dissertação foram removidos.

Anexo A - Algoritmo de Cálculo do Índice de Saúde, Vida Restante e Probabilidade de Falha Proposto

Este anexo expõe o algoritmo de cálculo proposto, na ferramenta original, o Microsoft Office Excel. Desta forma é possível ver a evolução dos inputs até aos outputs e perceber a influência dos mesmos no parâmetros caracterizadores dos sub-ativos (apoio, isolador e condutor).

Os restantes anexos do documento são: um exemplo de um relatório de inspeção aérea a uma raiz de circuito aleatória, utilizado na obtenção do Health Score Modifier (Modificador de IS), e as ponderações respeitantes ao índice cerâmico, ao índice de risco sísmico e a eventos atmosféricos extremos, por concelho, bem como o valor global para esses parâmetros.

O algoritmo estende-se por duas folhas Excel: a primeira folha respeitante à vida restante do troço, ao índice de saúde e à probabilidade de falha, sem contabilização dos fatores externos. A segunda folha aborda exclusivamente a adição dos 13 fatores externos, considerados na designada Probabilidade de Falha de Fatores Externos à probabilidade de falha extrapolada do IS da primeira folha.

À primeira folha de Excel são referentes as primeiras 4 páginas do presente anexo, e a restante, referente à segunda folha.

Os dezasseis troços apresentados (15 + exemplo) são os mesmos abordados na demonstração do capítulo 8.

Anexo B - Exemplo de uma inspeção termográfica visual aérea

Anexo C - Índice Ceráunico

Dividido por concelhos através do mapa ceráunico cedido pelo IPMA. Utilizado como um de quatro Fatores de Localização e utilizado, também, no cálculo da Probabilidade de Falha dos Fatores Externos.

Anexo D - Índice Sísmico

Dividido por concelhos, definido através do estudo realizado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e a Associação para o Desenvolvimento da Engenharia Civil a pedido da EDP Distribuição, em julho de 2012. As valorizações aplicadas seguem as indicações das normas IEEE693 e da IEC68-3-3 e do relatório técnico IEC-TR62271-300, para as acelerações sísmicas máximas no solo num determinado local.

Note-se que, a valorização 100 não é conferida em território nacional continental, pois a aceleração máxima do solo (Aljezur - $4,88\text{m/s}^2$) não ultrapassa, segundo as normas referidas anteriormente, o nível de qualificação de risco elevado, que se estabelece para valores superiores a 5m/s^2 . (Índice Sísmico - empregue no cálculo da PoF de Fatores Externos)

Anexo E - Índice Eventos Atmosféricos Extremos

Dividido por concelhos e valorizado em função dos mapas executados num estudo elaborado pelo IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera) em conjunto com o ICAT (Instituto de Ciência Aplicada e Tecnologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa), em que é calculada a correlação entre o histórico de ocorrências e as suas consequências em termos de indicadores de continuidade de serviço. Utilizado no cálculo da Probabilidade de Falha dos Fatores Externos.