

**Desenvolvimento de um modelo para  
determinação do índice de saúde e respetiva  
probabilidade de falha para disjuntores AT e MT –  
Estágio na EDP Distribuição**

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em  
Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

**Autora**

**Mónica Vanessa Fernandes Lopes**

**Orientadores**

**Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira**

**José Manuel Fresco Tavares de Pina**

**Supervisor na EDP Distribuição**

**Hugo Duarte Soares Nunes Ferreira**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA**

**Coimbra, setembro, 2014**



## **AGRADECIMENTOS**

Durante este estágio foram inúmeras as pessoas que, quer pelos seus conhecimentos quer pela disponibilidade, tornaram possível a concretização deste trabalho.

De entre todos gostaria de agradecer em primeiro lugar ao meu supervisor da EDP Distribuição, Eng.º Hugo Duarte Soares Nunes Ferreira, pelo tempo disponibilizado e por todo o cuidado demonstrado no acompanhamento da construção do modelo.

Aos meus orientadores do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Professor Doutor Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira e Professor José Manuel Fresco Tavares de Pina, pelo apoio e pelos conselhos e sugestões que generosamente puseram à minha disposição.

À EDP Distribuição pelo apoio prestado nestes nove meses de estágio, nomeadamente aos colaboradores da Direção de Manutenção que contribuíram de forma relevante e essencial para a concretização do modelo desenvolvido.

A todo o Departamento de Manutenção Planeamento e Controlo por toda a motivação e boa disposição que me transmitiu, e que, direta e indiretamente, contribuiu para o sucesso do meu trabalho e, não menos importante, para o meu enriquecimento pessoal e profissional.

Aos colaboradores da EME2 reconheço o contributo prestado na transmissão de toda a sua experiência e conhecimentos técnicos, sempre cedidos com toda a paciência e disponibilidade possível.

A todos os meus amigos e colegas que me incentivaram e me proporcionaram momentos de boa disposição e amizade durante esta fase importante do meu percurso académico.

Ao meu namorado pelo constante apoio, paciência e toda a dedicação que demonstrou durante toda esta etapa. O meu muito obrigado pelas palavras de coragem nos momentos menos bons, bem como a força transmitida.

À minha família, nomeadamente aos meus pais, irmãos, sobrinha e ao Zeca pelo apoio, motivação, inspiração e porque sem eles nada disto seria possível. A eles dedico todo o meu esforço!



## RESUMO

Este trabalho teve como principal motivação o desenvolvimento de um modelo de cálculo do Índice de Saúde e de Probabilidade de Falha dos disjuntores em Alta e Média Tensão.

Tendo como base todas as metodologias já existentes e as em fase de desenvolvimento relativas à gestão de ativos técnicos, foi feita a identificação de todos os fatores mensuráveis que influenciam a função dos disjuntores, bem como a respetiva parametrização de cada indicador, de modo a criar um modelo de fácil e real utilização. Para esta fase foi essencial o estudo do funcionamento do ativo, a análise de modelos existentes para o mesmo efeito já construídos para outros ativos, bem como o acompanhamento de trabalhos no terreno.

Após recolha dos indicadores inerentes ao Índice de Saúde e à Probabilidade de Falha foi determinado, em parceria com colaboradores da empresa, qual o peso de cada um em cada cálculo, e quais os fatores majorantes.

Já na reta final do estágio foi posto à prova o modelo criado, sendo apresentados cenários hipotéticos do estado de disjuntores e demonstrada a veracidade e coerência do modelo na obtenção de resultados relativos ao Índice de Saúde e Probabilidade de Falha. Tais resultados sofreram uma análise de risco que se fez acompanhar de medidas mitigadoras ou corretivas para o mesmo, sempre mantendo elevado grau de criticidade e cooperação por parte de colaboradores da empresa.

Palavras-chave: Gestão de Ativos baseada no Risco, Índice de Saúde, Probabilidade de Falha, Disjuntor



## **ABSTRACT**

The main motivation of this work was the development of a model calculation for the Health Index and Probability of Failure of High and Medium Voltage circuit breakers.

Based on all existing and under development methodologies for the management of technical assets, was made the identification of all measurable factors that influence the function of circuit breakers, as well as the respective parameterization for each indicator in order to create an easy-to-use model with all the consistency and realism. For this phase was essential some research such as the study of how the asset works, the analysis of similar models already built for other assets, as well as monitoring of fieldworks.

After collecting the indicators related to the Health Index and Failure Probability was determined, in partnership with employees of the company, which weight of each indicator in each calculation, and what were the factors assumed as “majorante”.

In the final stretch of the internship the model created was put into test. Hypothetical scenarios for the state of circuit breakers were created and was demonstrated the accuracy and consistency of the model on acquiring results for the Health Index and Failure Probability. Such results were submitted to a risk analysis that was accompanied by mitigating or corrective measures for the risk, always maintaining a high level of criticality and cooperation by company employees.

**Key-words:** Asset Management based in Risk, Health Index, Probability of Failure, Circuit Breaker



## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Considerações gerais.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura.....	2
<b>2</b>	<b>ENQUADRAMENTO GERAL .....</b>	<b>5</b>
2.1	Apresentação do Grupo EDP .....	5
2.1.1	EDP Distribuição.....	5
2.1.1.1	Departamento de Manutenção Planeamento e Controlo .....	6
<b>3</b>	<b>GESTÃO DE ATIVOS .....</b>	<b>7</b>
3.1	Gestão de Ativos Baseada no Risco.....	7
3.2	FMECA – Análise de Modos e Efeitos de Falha .....	9
3.3	Fiabilidade .....	11
3.3.1	Comportamento da Taxa de Falhas – Padrões de Falha .....	13
3.4	Manutenção.....	15
3.4.1	Manutenção Preventiva Sistemática (MPS).....	16
3.4.2	Manutenção Preventiva Condicionada .....	16
3.4.3	Manutenção Preditiva .....	17
3.4.4	Manutenção Extraordinária .....	17
3.4.5	Manutenção Corretiva Paliativa .....	17
3.4.6	Manutenção Corretiva Curativa.....	17
3.5	Conclusão.....	18
<b>4</b>	<b>PREPARAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>19</b>
4.1	Modelos existentes e/ou em desenvolvimento .....	19
4.2	Disjuntores – considerações gerais .....	20
4.2.1	Arco Elétrico .....	20
4.2.2	Características construtivas e princípios de funcionamento do disjuntor .....	21
4.2.2.1	Meio de corte .....	21
4.2.2.1.1	Pequeno Volume de Óleo .....	21
4.2.2.1.2	SF6 – Hexafluoreto de Enxofre .....	22
4.2.2.1.3	Vácuo.....	24
4.2.2.2	Comando.....	25
4.2.2.2.1	Comando Mecânico .....	25
4.2.2.2.2	Comando Óleo-Pneumático (OP) .....	27
4.2.3	Acompanhamento de trabalhos no terreno .....	29
4.2.3.1	Conclusão do acompanhamento técnico .....	37
4.3	Cálculo do Índice de Saúde.....	38
4.3.1	Etapa 1 - Identificação dos indicadores .....	38
4.3.2	Etapa 2 - Ponderações dos indicadores.....	49

4.3.3	Etapa 3 - Cálculo do Índice de Saúde .....	52
4.4	Cálculo da probabilidade de falha .....	55
4.4.1	Etapa 4 - Identificação dos indicadores .....	55
4.4.2	Etapa 5 - Identificação dos modos de falha .....	62
4.4.3	Etapa 6 - Associação dos indicadores aos modos de falha.....	62
4.4.4	Etapa 7 - Ponderações dos indicadores .....	66
4.4.5	Etapa 8 - Cálculo da probabilidade de falha .....	71
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>73</b>
5.1	Análise da Fiabilidade pela Árvore de Fiabilidade .....	73
5.1.1	Análise do risco .....	73
5.2	Estudo de caso.....	74
5.2.1	Cenário 1 .....	75
5.2.2	Cenário 2.....	78
5.2.3	Cenário 3.....	81
5.2.4	Cenário 4.....	84
5.3	Conclusão.....	87
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>89</b>
6.1	Conclusões .....	89
6.2	Sugestões para trabalhos futuros .....	89
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO COMANDO MECÂNICO .....</b>	<b>A-I</b>
	<b>ANEXO B: CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO COMANDO OP ..</b>	<b>A-III</b>
	<b>ANEXO C: FICHA DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA - CLASS C, B E A.....</b>	<b>A-V</b>
	<b>ANEXO D: FICHA DE MEDIÇÃO DE TEMPO DE FECHO E ABERTURA.....</b>	<b>A-IX</b>
	<b>ANEXO E: ÁRVORE DE FIABILIDADE DE SE TIPO E REDUNDANTE .....</b>	<b>A-XI</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - EDP no Mundo (EDP, 2014) .....	5
Figura 3.1 - Eixos base da gestão de ativos (Kema, 2010).....	8
Figura 3.2 - Processo de gestão de risco (DMN - MNPC, 2012).....	9
Figura 3.3 - Distribuição da fiabilidade.....	12
Figura 3.4 - Curva da banheira -modelo típico- (Barbosa, 2013).....	14
Figura 3.5 - Padrões de falha (ENGEMAN, 2013) .....	14
Figura 3.6 - Tipos de manutenção .....	16
Figura 4.1 - Características construtivas dos disjuntores PVO (EFACEC) .....	22
Figura 4.2 - Funcionamento do disjuntor SF6 (EFACEC).....	23
Figura 4.3 - Características construtivas dos disjuntores SF6 (EFACEC).....	24
Figura 4.4 - Características construtivas do disjuntor vácuo (com comando) (EFACEC).....	25
Figura 4.5 - Características construtivas do comando mecânico (EFACEC).....	26
Figura 4.6 - Comando mecânico.....	26
Figura 4.7 - Características construtivas comando OP (Órgão Hidráulico) (DELLE).....	27
Figura 4.8 - Órgão hidráulico do comando OP .....	27
Figura 4.9 - Características construtivas comando OP (órgão elétrico) (DELLE).....	28
Figura 4.10 - Órgão elétrico do comando OP.....	28
Figura 4.11 - Disjuntor SIEMENS e comando mecânico .....	29
Figura 4.12 - Transformador SIEMENS .....	31
Figura 4.13 - Disjuntor SIEMENS e respetivo comando mecânico.....	32
Figura 4.14 - Disjuntor ABB queimado .....	33
Figura 4.15 - Disjuntor EFACEC e Comando OP.....	34
Figura 4.16 - Transformador EFACEC .....	35
Figura 4.17 - Ruptor de transformador EFACEC.....	36
Figura 4.18 - Ficha de inspeção termográfica .....	40
Figura 4.19 - Equipamento de medição das resistências .....	41
Figura 4.20 - Visor de nível de óleo de um disjuntor PVO.....	42
Figura 4.21 - Pressostato do disjuntor SF6.....	43
Figura 4.22 - Disjuntor revestido de SI-COAT 570 nos isoladores .....	44
Figura 4.23 - Ficha de medição de tempo de fecho.....	45
Figura 4.24 - Ficha de medição de tempo de abertura .....	46
Figura 4.25 - Contador de manobras de um disjuntor a óleo com comando OP.....	47
Figura 4.26 - Tubagens de acoplamento do comando OP aos polos.....	47
Figura 4.27 - Acoplamento do comando mecânico aos polos.....	48
Figura 4.28 - Exemplo do produto das ponderações do grupo pelo menor nível.....	50
Figura 4.29 - Carta de risco hidrológico (Autoridade Nacional de Proteção Civil, 2014).....	57
Figura 4.30 - Mapa de distribuição espacial da velocidade do vento (Proteção Civil, 2014) ..	58
Figura 4.31 - Temperatura por zonas geográficas (Autoridade Nacional de Proteção Civil, 2014).....	59
Figura 4.32 - Mapa cerâmico de Portugal continental (IPMA) .....	61
Figura 4.33 - Probabilidade de falha .....	62
Figura 4.34 - Ponderações sem majorante ativo.....	67
Figura 4.35 - Ponderações quando indicador majorante ativo .....	68
Figura 5.1 - Matriz de risco corporativa da EDP.....	73

Figura 5.2 - Árvore de fiabilidade de SE Tipo.....	74
Figura 5.3 - Cenário 1 .....	76
Figura 5.4 - Árvore de fiabilidade Cenário 1 .....	76
Figura 5.5 - Matriz de risco para cenário 1 .....	77
Figura 5.6 - Árvore de fiabilidade Cenário 1 (redundante).....	78
Figura 5.7 - Cenário 2 .....	79
Figura 5.8 - Árvore de fiabilidade Cenário 2 .....	80
Figura 5.9 - Matriz de risco para cenário 2 .....	81
Figura 5.10 - Cenário 3 .....	82
Figura 5.11 - Árvore de fiabilidade Cenário 3 .....	83
Figura 5.12 - Matriz de risco para cenário 3 .....	83
Figura 5.13 - Cenário 4 .....	85
Figura 5.14 - Árvore de fiabilidade Cenário 4 .....	85
Figura 5.15 - Matriz de risco para cenário 4 .....	86
Figura 5.16 - Árvore de fiabilidade Cenário 4 (redundante).....	87

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Descrição dos padrões de falha presentes na figura anterior (IEEE, 2000) .....	15
Tabela 4.1 - Parametização do indicador RLT.....	38
Tabela 4.2 - Parametização do indicador câmara de corte .....	39
Tabela 4.3 - Parametização do indicador resistência de contacto .....	39
Tabela 4.4 - Parametização do indicador termografia.....	40
Tabela 4.5 - Parametização do indicador resistência de isolamento .....	41
Tabela 4.6 - Parametização do indicador Fugas do meio de corte .....	42
Tabela 4.7 - Parametização do indicador estado dos isoladores .....	44
Tabela 4.8 - Parametização do indicador TF.....	45
Tabela 4.9 - Parametização do indicador TA.....	46
Tabela 4.10 - Parametização do indicador número de manobras.....	47
Tabela 4.11 - Parametização do indicador estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas.....	48
Tabela 4.12 - Parametização do indicador estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos .....	49
Tabela 4.13 - Parametização do indicador atraso após a data da manutenção prevista .....	49
Tabela 4.14 - Indicadores usados para o cálculo do IS, respetivos parâmetros e ponderação .	51
Tabela 4.15 - Exemplo de cálculo do IS com todos os parâmetros no Nível 4.....	52
Tabela 4.16 - Exemplo de cálculo do IS, com diferentes níveis nos diversos parâmetros.....	53
Tabela 4.17 - Indicadores usados para o cálculo do IS, respetivos majorantes.....	54
Tabela 4.18 - Cálculo do IS quando resistência de isolamento (um dos majorantes) se encontra no Nível 0 (zero).....	55
Tabela 4.19 - Parametização do indicador tempo sem manobrar .....	56
Tabela 4.20 - Parametização do indicador carga.....	57
Tabela 4.21 - Parametização do indicador Inundações .....	58
Tabela 4.22 - Parametização do indicador zona de eventos atmosféricos extremos.....	58
Tabela 4.23 - Parametização do indicador extremo de temperatura .....	59
Tabela 4.24 - Parametização do indicador existência de objetos acima do disjuntor .....	60
Tabela 4.25 - Parametização do indicador tipo de poluição .....	60
Tabela 4.26 - Parametização do indicador avifauna .....	61
Tabela 4.27 - Parametização do indicador índice cerâmico.....	61
Tabela 4.28 - Causas raiz para falha operação ligar e desligar (EDP Distribuição).....	63
Tabela 4.29 - Causas raiz para rutura de isolamento interno (EDP Distribuição).....	64
Tabela 4.30 - Causas raiz para rutura de isolamento externo (EPD Distribuição).....	64
Tabela 4.31 - Indicadores de falha de operação ligar/desligar .....	65
Tabela 4.32 - Indicadores da rutura do isolamento interno .....	65
Tabela 4.33 - Indicadores da rutura do isolamento externo, instalação exterior .....	66
Tabela 4.34 - Indicadores da rutura do isolamento externo, instalação interior.....	66
Tabela 4.35 - Indicadores usados para o cálculo da PoF do modo falha operação ligar/desligar, respetivos parâmetros e ponderação .....	69
Tabela 4.36 - Indicadores usados para o cálculo da PoF do modo rutura de isolamento interno, respetivos parâmetros e ponderação .....	70
Tabela 4.37 - Indicadores usados para o cálculo da PoF do modo rutura de isolamento externo, respetivos parâmetros e ponderação .....	71
Tabela 4.38 - Exemplo da determinação da PoF do disjuntor.....	72



## ACRÓNIMOS

AT	Alta Tensão
BSI	<i>British Standards Institution</i>
BT	Baixa Tensão
DMN	Direção de Manutenção
EDP	Energias de Portugal
EME2	Engenharia Manutenção e Serviços
ERSE	Entidade Reguladora do Setor Energético
FMECA	<i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IS	Índice de Saúde
MNPC	Departamento de Manutenção Planeamento e Controlo
MPS	Manutenção Preventiva Sistemática
MT	Média Tensão
OP	Óleo-Pneumático
PAS	<i>Publicly Available Specification</i>
PoF	Probabilidade de Falha
PVO	Pequeno Volume de Óleo
R	Fiabilidade
RCA	<i>Root Cause Analysis</i>
RLT	<i>Remaining Life time</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
UTR	Unidade de Transmissão Remota
RTV	<i>Room Temperature Vulcanization</i>
SE	Subestação
SEE	Sistemas Elétricos de Energia
SF6	Hexafluoreto de Enxofre
TA	Tempo de Abertura
TF	Tempo de Fecho



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações gerais

A energia elétrica é absolutamente decisiva e indispensável ao quotidiano das sociedades atuais, sendo um dos fatores estratégicos para o seu desenvolvimento socioeconómico. Ao longo dos anos, a expansão das redes elétricas foi impulsionada pelo surgimento de novas tecnologias que proporcionaram a sua rápida difusão a nível mundial.

A extensão da rede elétrica acarreta dificuldades na sua monitorização e traz consigo situações menos positivas e inevitáveis, tais como defeitos nos Sistemas de Energia Elétrica (SEE). Neste contexto, e considerando que num SEE existe um número avultado de ativos físicos instalados e cada vez mais complexos, é de fácil perceção que a análise da fiabilidade não deve ser descurada, tornando-se num ponto fulcral, ao qual deverá ser prestada especial atenção. Para atingir os objetivos da empresa, a sua sustentabilidade e responsabilidade social, a EDP Distribuição tem sempre em consideração a qualidade do serviço, bem como o estado físico dos seus ativos de modo a reduzir o impacto das avarias e de eventos adversos.

Toda a complexidade e necessidade de controlo, conjugadas com a crise económica atual, instauraram nas empresas de distribuição de energia elétrica uma nova preocupação e rigor com as metodologias usadas na gestão dos seus ativos. Deixou de ser seguido um simples plano pré-estabelecido para o ciclo de vida dos ativos, passando a ser tomada uma posição mais holística de cada ativo, ao ponto de se proceder a análises constantes de indicadores que estabelecem o índice de saúde (IS) e probabilidade de falha (*Probability of Failure* - PoF) dos mesmos, determinando qual o tipo de manutenção a aplicar para cada ativo e quando fazê-lo, procurando assim um equilíbrio entre o desempenho, os custos e os riscos.

Atualmente a EDP Distribuição já usufrui da existência de modelos de gestão de diversos ativos, encontrando-se ainda outros em fase de desenvolvimento. No entanto, modelos que permitam um controlo e monitorização mais eficientes relativamente aos disjuntores não figuram ainda nos recursos da empresa. Sendo os disjuntores imprescindíveis na rede de energia elétrica – devido à sua função protetora – e dada a elevada quantidade destes à responsabilidade da EDP Distribuição torna-se evidente a preocupação da empresa em praticar uma correta gestão deste tipo de ativos.

Motivada pela oportunidade de poder preencher uma necessidade da empresa bem como pelo inevitável desenvolvimento cognitivo e contextualização com os conteúdos intrínsecos ao mestrado onde o presente estágio se insere, ficaram reunidas as condições ideais para o desenrolar de todo o trabalho.

## 1.2 Objetivos

Este estágio, enquadrado no Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, na área de especialização de Sistemas de Energia e Automação, tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo de gestão de ativos e análise de risco através da determinação do índice de saúde de disjuntores AT e MT bem como as respetivas probabilidades de falha por modo de falha. O trabalho integra-se nas atividades da empresa EDP Distribuição para a qual é essencial otimizar o seu modelo de gestão de ativos, suportando um modelo cada vez mais sustentado em políticas, procedimentos e sistemas que permitam uma gestão efetiva dos seus ativos desde o momento da sua instalação até ao seu abate.

O desenvolvimento do modelo exige um estudo meticoloso de todos os conceitos subjacentes à gestão de ativos, assim como uma análise do ponto de vista técnico de fatores que podem levar à falha da função dos disjuntores. Pretende-se que toda esta informação seja trabalhada com o auxílio de ambas as vertentes teórica e prática sendo que, a par com o objetivo primordial – o desenvolvimento do modelo –, considera-se essencial o acompanhamento de trabalhos no terreno durante o decorrer do estágio.

Tendo o objetivo de projetar um modelo acima de tudo útil e credível resta apenas que seja realizada uma correta e exata análise de resultados, comprovando a veracidade de todo o trabalho investido.

## 1.3 Estrutura

A estrutura deste relatório está relacionada com os objetivos apresentados e encontra-se dividida em 6 Capítulos, expondo no início um Resumo e um *Abstract* que sintetizam o alcance do trabalho desenvolvido.

No Capítulo 1 é salientado o interesse do desenvolvimento do modelo de gestão de ativos e análise de risco, apresentando uma justificação da motivação da realização deste por parte das entidades envolvidas.

No Capítulo 2 é feito o enquadramento geral do estágio em todas as estruturas organizativas no qual este decorreu.

O Capítulo 3 comporta algumas metodologias existentes que são indispensáveis à compreensão e desenvolvimento do modelo por serem a base de criação de uma Gestão de Ativos consistente e eficaz.

O Capítulo 4 expõe as etapas da construção do Modelo de Gestão de Ativos e Análise de Risco para Disjuntores desenvolvido no Estágio Curricular adaptado às atividades da EDP Distribuição na Direção de Manutenção.

O Capítulo 5 contém a análise de resultados que engloba alguns cenários aleatórios, com o objetivo de averiguar a validade do modelo construído.

Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões deste relatório bem como propostas relevantes para futuros desenvolvimentos.



## 2 ENQUADRAMENTO GERAL

### 2.1 Apresentação do Grupo EDP

A EDP foi criada em 30 de junho de 1976 e resultou da fusão de treze empresas do setor elétrico português, que atuavam no território de Portugal continental e haviam sido nacionalizadas em 1975. Surgiu com a missão de assegurar o serviço público de produção, distribuição e comercialização de energia elétrica em Portugal continental.

Em 1991, o governo português decidiu alterar o estatuto jurídico da EDP que se tornou numa Sociedade Anónima de capitais exclusivamente públicos.

No ano de 1994, a empresa foi alvo de uma forte reestruturação constituindo-se o Grupo EDP, onde figuram variadas empresas de serviços vocacionados para as determinadas atividades prestadas pelo grupo.

A privatização da EDP iniciou-se em junho de 1997. Em 2000 concretizou-se mais uma fase de privatização, ficando 70% do capital em mãos privadas.

Atualmente está presente em treze países e aposta na inovação sequência da privatização e da estratégia definida que promoveu a internacionalização (Figura 2.1 (EDP, 2014)).



Figura 2.1 - EDP no Mundo (EDP, 2014)

Os órgãos de gestão do Grupo acompanham atentamente os riscos inerentes às diversas atividades do Grupo, com objetivo de manter o risco controlado.

A gestão empresarial do risco, que engloba um conjunto de práticas de identificação, análise, avaliação, tratamento e reporte dos principais riscos, é parte integrante do estilo de gestão requerido pelo Grupo aos seus colaboradores, em linha com as boas práticas internacionais de gestão do risco, em conformidade com os requisitos legais e regulatórios e correspondendo às expectativas e exigências dos *stakeholders* internos e externos do Grupo.

#### 2.1.1 EDP Distribuição

A EDP Distribuição é a empresa do Grupo EDP que fornece energia elétrica em Portugal continental a cerca de 6 milhões de consumidores. Trata-se de uma atividade regulada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), sendo titular da concessão para a

exploração da Rede Nacional de Distribuição de Energia Elétrica em AT e MT, e das concessões municipais de distribuição de energia elétrica em BT.

A empresa visa fornecer serviços aos comercializadores, garantir a expansão, a fiabilidade da rede e o abastecimento de eletricidade. Planear, construir, conduzir e manter são os pilares de ação da empresa, promovendo sempre uma melhoria contínua de desempenho, focada na otimização dos recursos (EDP Distribuição, 2011). Como forma de obter sucesso nestes objetivos, a EDP Distribuição está a desenvolver o Programa de Gestão de Ativos<sup>1</sup> para obter a respetiva certificação com base no atual *PAS 55:2008*<sup>2</sup> e *ISO55000*. Desta forma, existe uma progressão na adoção de boas práticas que levam à sustentabilidade a longo prazo e à melhoria na eficácia do Sistema de Gestão de Ativos Técnicos especialmente em ambientes críticos.

#### **2.1.1.1 Departamento de Manutenção Planeamento e Controlo**

A estrutura organizativa da EDP Distribuição está dividida em diversas unidades de negócio. O presente estágio está inserido no Departamento de Manutenção Planeamento e Controlo (MNPC) da Direção de Manutenção (DMN) sendo uma das direções da unidade operacional. A DMN é responsável pela manutenção e operação dos ativos da organização de toda a rede de distribuição.

Por sua vez, o MNPC é responsável pela gestão de ativos e possui uma estrutura organizativa direcionada sobretudo para o modelo preconizado pela *PAS 55* para o *Asset Management*. As suas atividades prendem-se sobretudo na implementação, desenvolvimento e controlo do processo de gestão de ativos; na análise do desempenho dos ativos técnicos e ajustamento das políticas e critérios de manutenção e revisão das suas especificações técnicas; análise de risco, identificação e seleção de medidas mitigadoras; na análise e avaliação de propostas de renovação e reabilitação de ativos; na avaliação do desempenho aos vários níveis; na implementação e desenvolvimento do processo de melhoria contínua.

---

<sup>1</sup>Entende-se por ativo o conjunto de bens e direitos necessários à manutenção das atividades da empresa,

<sup>2</sup>Especificação desenvolvida e lançada publicamente pela *British Standard Institution* (BSI) que determina o que é necessário para uma gestão otimizada de ativos físicos. Esta possibilita que as empresas tenham um referencial a partir do qual é possível conhecer o nível de integração da gestão dos seus ativos físicos e ajuda estas a aplicar as noções implícitas ao conceito de *Asset Management*. Embora não seja uma norma internacional (ISO) tem sido adotado como diretriz em muitas empresas. A *PAS 55:2008* pode ser correntemente integrada dentro de outros sistemas de gestão ou normas como a *OHSAS 18001:2007*, *ISO 14001:2004* e *ISO 9001:2000* (BSI, 2008). Esta especificação serviu de base para o desenvolvimento da norma *ISO55000* (Woodhouse Partnership Ltd, 2014).

### 3 GESTÃO DE ATIVOS

A gestão de ativos com diferentes funcionalidades, em grandes quantidades, distintos no que diz respeito a condições ambientais, tipos de geografia, localização de implementação e diferentes condições de exploração, é sempre um desafio preponderante para empresas como a EDP Distribuição, exigindo um controlo preciso para evitar riscos nas diversas áreas a elas diretamente ligadas.

Esta gestão atribui benefícios a vários níveis do negócio, como por exemplo:

- na satisfação do cliente, melhorando o desempenho e o controle na entrega do produto ou serviço;
- capacidade de atingir retorno do investimento mais elevada;
- melhoria nos requisitos de segurança, fiabilidade e ambientais;
- planeamento de longo prazo mais confiável. Melhor sustentabilidade e desempenho;
- melhoria no acompanhamento dos ativos, logo melhoria na gestão de risco empresarial;
- melhoria da imagem corporativa, incluindo maior valor para os acionistas e maior satisfação dos colaboradores da empresa.

#### 3.1 Gestão de Ativos Baseada no Risco

A atividade da EDP Distribuição está dependente do desempenho dos seus ativos instalados no terreno, isto é, o correto funcionamento dos ativos é fundamental para atingir os objetivos da empresa e a sua sustentabilidade. O grande número de ativos instalados e as limitações financeiras impostas pela atual conjuntura económica levam à necessidade de mudança dos paradigmas anteriormente tidos em atenção com vista a garantir a sustentabilidade da empresa.

A implementação de metodologias de análise do risco, como a BSI PAS 55:2008, permite à empresa retardar a substituição dos ativos, assim como melhorar o retorno financeiro de cada ativo.

A gestão de ativos proporciona uma análise mais abrangente da rede de distribuição ajudando a identificar onde se deve reduzir, manter, ou investir, por forma a otimizar atividades e ativos (Palombo, 2005). A otimização no setor elétrico não passa pela redução nos custos de aquisição de ativos, mas pela possibilidade de obter um maior retorno dos investimentos dos mesmos.

A introdução da gestão de ativos reside não só nas áreas financeiras e técnicas mas contribui também para uma maior e mais eficaz participação de todos os departamentos da empresa no uso e partilha de informações sobre os ativos físicos em tempo real (Shahidehpour & Ferrero, 2005).

Do ponto de vista da EDP Distribuição é essencial otimizar o seu modelo de gestão de ativos para um modelo cada vez mais sustentado em políticas, procedimentos e sistemas que permitam uma gestão efetiva dos seus ativos desde o momento da sua instalação até ao seu abate (físico e financeiro).

Na atual gestão de ativos técnicos na empresa assume primazia a análise de históricos de indicadores de qualidade de serviço e avarias, partindo sempre de uma base temporal empírica estipulada, o que acarreta custos intuitivos que por vezes revelam ser desnecessários.

Por conseguinte, a EDP Distribuição nos últimos anos, tem tido como foco principal o desenvolvimento da sua política de gestão de ativos técnicos baseada num conjunto de atividades e práticas estruturadas através das quais a organização gere de forma otimizada e sustentável os seus ativos que, por sua vez, se apoia no equilíbrio entre o desempenho, risco e custos referentes ao ciclo de vida global, tendo como propósito principal cumprir o plano estratégico da organização.



Figura 3.1 - Eixos base da gestão de ativos (Kema, 2010)

Para que o equilíbrio nos eixos da gestão de ativos se verifique, a empresa deverá manter uma harmonização de todos os itens que o constituem. Deve, por isso, procurar traçar objetivos tangíveis e voltados para um desempenho ótimo ao invés de máximo e um risco controlado passando desta forma à obtenção de custos justificados, como se pode verificar na Figura 3.1.

A gestão de ativos idealizada pela EDP Distribuição é baseada no risco. Um risco resulta da probabilidade de um evento ocorrer combinado com a consequência que deste pode advir caso de facto aconteça. Convém, portanto, numa primeira fase, fazer a identificação dos perigos que podem constituir adversidades no funcionamento normal de um ativo. Partindo deste pressuposto é pertinente fazer a análise do impacto dos riscos e fazer avaliações, perante

condições concretas, que orientarão os responsáveis quanto ao modo como se deve proceder fazendo o controlo dos riscos. A gestão do risco contempla as fases apresentadas no diagrama seguinte, Figura 3.2 (DMN - MNPC, 2012).

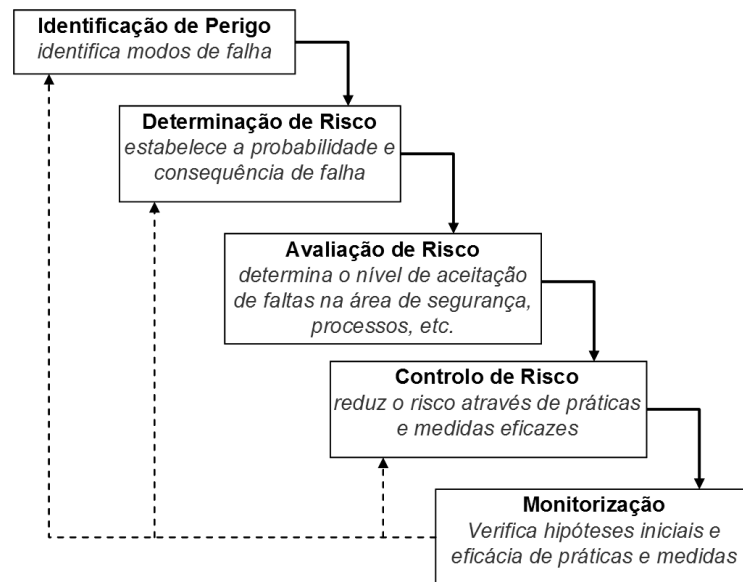


Figura 3.2 - Processo de gestão de risco (DMN - MNPC, 2012)

O modelo de gestão de ativos relativo aos disjuntores – alvo da participação do presente estágio na EDP –, insere-se essencialmente nas primeiras duas etapas do processo de gestão de riscos, isto é, a identificação e determinação dos riscos, sem as quais seria inexecutável a sua criação e desenvolvimento.

### 3.2 FMECA – Análise de Modos e Efeitos de Falha

Com foco na eficácia de gestão de ativos e pretendendo melhorias a nível de fiabilidade, é necessário a implementação de métodos de análise para identificação de potenciais modos e efeitos de falhas (*Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* – FMECA) e de possíveis causas de falhas (*Root-Cause Analysis* – RCA).

A FMECA é um método de definir, identificar, antecipar e eliminar falhas conhecidas e/ou potenciais dos ativos durante o ciclo de vida destes.

Assim sendo, de acordo com as necessidades, definem-se ações a tomar, planeando a manutenção ou ignorando pontualmente as ocorrências com vista a estabelecer prioridades nas ações de manutenção ou reabilitação.

Seguindo a ordem de ideias de (Assis, 2004) e (Choonhapran, 2007) as análises FMECA e RCA processam-se da seguinte forma:

a. Definir o ativo a ser analisado e recolha de todos dados a ele referentes

Organizar todas as informações e fazer um rigoroso planeamento para a implantação do processo.

b. Determinar qual a sua função

A identificação da função consiste numa descrição textual, contendo a finalidade ou objetivo do ativo (que deve ser assegurado) e, se possível, os limites operacionais aceitáveis.

c. Identificar de que forma o ativo pode falhar no cumprimento das suas funções

Esta fase prende-se na descrição do modo específico pelo qual ocorre a falha da função sob investigação (modo de falha), face às condições de operação.

Para a identificação antecipada dos modos de falha pode-se refletir do ponto de vista da perda da função, isto é, o contrário do que seria de esperar da função do ativo.

d. Identificar o que faz o ativo falhar

Uma vez que cada modo de falha foi identificado, o próximo passo é tentar identificar todos os eventos prováveis (causa de falha / causa raiz) que originam cada modo de falha.

e. Descrição do que acontece quando o ativo falha

A descrição do efeito de falha aborda todas as informações necessárias para suportar a avaliação de consequências de falha (no passo posterior). Assim, são determinados nesta fase se a falha é total, isto é, resultante da ultrapassagem de limites mínimos ou máximos previamente especificados, ou se é parcial, que é uma condição física identificável que indica proximidade de uma falha total. Se a falha é parcial, quando detetada a tempo os seus efeitos podem ser evitados ou minimizados.

f. Determinação da probabilidade de ocorrência de falha

Com base em modelos existentes, com dados do fabricante, ensaios de fiabilidade, entre outros, efetua-se o cálculo de probabilidade de falha e da fiabilidade.

g. Avaliação da severidade da falha

Classificação da severidade, com objetivo de distinguir os modos de falha que podem ser catastróficos daqueles que apenas podem causar contrariedades e não tão relevantes ou com perdas económicas moderadas.

A consequência de uma falha de um ativo pode estar inserida em três grandes categorias de consequências:

- segurança e meio-ambiente: uma falha tem impacto na segurança se puder ferir ou vitimar alguém. Tem impacto no meio-ambiente se puder violar qualquer padrão ambiental da empresa ou legislativo;
- operacionais: uma falha tem consequências operacionais se afetar a produção (quantidade, qualidade, serviço aos clientes ou custo operacional, além do custo direto da reparação);
- não operacionais: o tipo de falhas que se enquadra nesta categoria são tipicamente evidentes e não afetam a segurança nem a produção. Deste modo, envolvem apenas o custo direto de reparação.

#### h. Determinar o tipo de manutenção mais apropriado

Descrição de manutenções corretivas ou preventivas possíveis, com finalidade de minimizar os efeitos e ou reduzir a probabilidade de falhas.

### 3.3 Fiabilidade

De acordo com o ponto f) do processo FMECA há necessidade da existência de um conceito que relacione o estado de funcionamento de um ativo com o tempo. Esse conceito é chamado de Fiabilidade ( $R$ ).

Aquando o investimento de um ativo pretende-se que este corresponda às expectativas de quem o adquiriu, isto é, é esperado que o seu funcionamento seja correto qualquer que seja o propósito da sua aquisição. No entanto, é possível que em algumas circunstâncias da sua vida útil ocorram falhas no exercício da sua função.

A fiabilidade diz respeito, de um modo geral, ao grau de confiança ou probabilidade que atribuímos ao funcionamento sem falhas por parte de um sistema ou equipamento, num certo ambiente e durante um determinado período de tempo. Note-se que o ambiente em que opera o sistema ou equipamento é de facto um ponto importante na determinação da sua fiabilidade e diz respeito não só a condições climáticas mas também à forma como o ativo é manuseado e à existência de substâncias nocivas e outros poluentes em contacto com o mesmo (Lindquist, 2005).

Matematicamente a função fiabilidade expressa-se através da probabilidade do ativo não falhar num dado período de tempo – a probabilidade é estimada em função do tempo e representa-se por  $R(t)$ . Dada uma função densidade de probabilidade de uma distribuição contínua  $f(x)$ , tem-se que:

$$f(x) \geq 0 \quad (1)$$

$$\int_0^{+\infty} f(x).dx = 1 \quad (2)$$

e que a fiabilidade para um período de tempo  $t$  é dada pela expressão:

$$R(t) = \int_t^{+\infty} f(x).dx \quad (3)$$

A probabilidade de falha nesse mesmo período  $t$  é expressa pela função  $F(t)$ , com:

$$F(t) = \int_0^t f(x).dx \quad (4)$$

Ou, alternativamente:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (5)$$

O gráfico da Figura 3.3 ilustra a distribuição probabilística de fiabilidade e falhas de um ativo para um determinado período de tempo  $t$ . A região sombreada exprime a fiabilidade e a região não destacada é referente à probabilidade de falha. Entrando em conformidade com a expressão matemática apresentada (Farinha J. M., 2011).

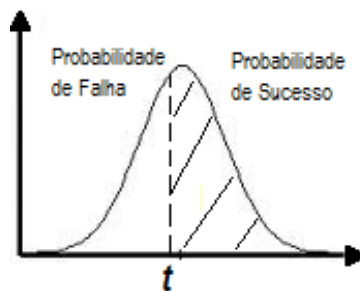


Figura 3.3 - Distribuição da fiabilidade

Deduz-se, aqui, que a estimativa para períodos mais amplos conduz à diminuição da fiabilidade de um ativo e, naturalmente, ao aumento de suscetibilidade a falhas no mesmo.

### 3.3.1 Comportamento da Taxa de Falhas – Padrões de Falha

A ocorrência de falhas causadas por solicitações não especificadas e não consideradas em projeto como, por exemplo, a imposição de uma sobrecarga transitória não esperada, uma falha induzida por uma manutenção inadequada (comportamento humano), ou fenómenos atmosféricos, é aleatória e geralmente é tratada através de modelos probabilísticos exponenciais decrescentes com taxa de ocorrência constante. Esta característica está presente durante todo o ciclo de vida do equipamento. Os complexos sistemas elétricos constituídos por diversos equipamentos e componentes sujeitos a diferentes modelos de falha também são representados através de um modelo probabilístico exponencial decrescente com taxa de falha constante.

Considerando que num sistema a manutenção normalmente atua não para substituir o sistema, mas para o reparar, os equipamentos e seus diversos componentes são tratados sob o ponto de vista da manutenção, por meio de atividades previstas nos planos e programas de manutenções preventivas ou de técnicas preditivas que visam garantir uma previsibilidade adequada para a sua fiabilidade.

Problemas de projeto ou fabricação e outros relacionados com o transporte ou instalação e montagem de equipamentos ou sistemas podem provocar falhas precoces em componentes. Esta fase, conhecida como a de "mortalidade infantil", é composta essencialmente por intervenções por parte de manutenções corretivas, pois deve-se não apenas reparar o equipamento, mas corrigi-lo, para que a falha não se repita. Esta etapa é caracterizada por um decréscimo gradual da taxa de falhas ao longo do tempo alcançado, conforme a reparação dos defeitos elimina componentes frágeis ou à medida que são detetados e reparados erros de projeto ou de instalação.

Instala-se, posteriormente, uma fase com um valor médio constante de taxa de falhas, provocadas basicamente por causas aleatórias externas ao sistema e de difícil controlo. A melhor estratégia para garantir um máximo de aproveitamento de um equipamento nesta fase é o recurso a manutenções preventivas, supervisionando-o e evitando que entre numa fase de desgaste precipitada, que, caso não sejam feitas estas manutenções será inevitável o desgaste.

A fadiga provocada por ciclos de operação de amplitude variável e outros fenómenos físicos e químicos que provocam deterioração de componentes, nomeadamente através de desgastes por erosão ou corrosão, apesar de considerados naturais, provocam ao longo do tempo o crescimento contínuo da probabilidade de falha. Para muitos dos problemas observados, o processo de desgaste é acelerado a partir de determinado momento que, se não identificado atempadamente, levará o componente à falha.

Num equipamento composto por vários componentes, cada um com mecanismos de falha diferentes, a curva de taxa de falha do conjunto será uma combinação destes modelos, ponderados pela participação de cada item, influenciando diretamente a função principal do sistema. O resultado é uma curva conhecida como Curva Banheira Figura 3.4 (Barbosa, 2013).

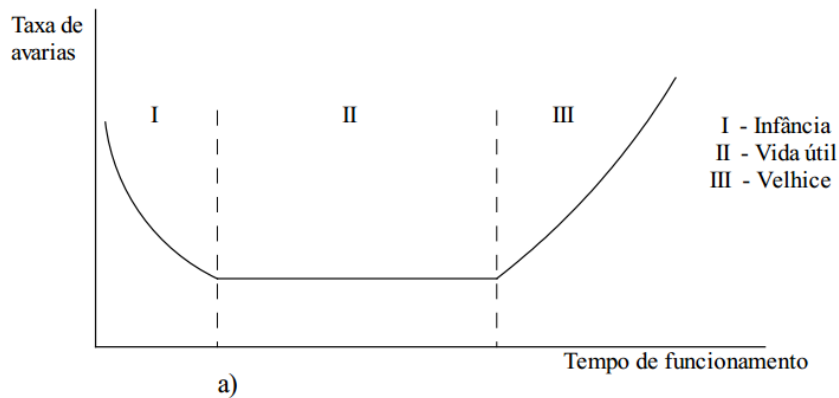


Figura 3.4 - Curva da banheira -modelo típico- (Barbosa, 2013)

No entanto, a curva descrita anteriormente apenas é adequada a um componente simples bem conhecido. Com a evolução da indústria e dos equipamentos, estes vão ficando cada vez mais complexos e apresentam agora padrões de falha diversos, como podem ser vistos na Figura 3.5 retirado de (ENGEMAN, 2013) suportados pela Tabela 3.1 que faz uma breve descrição de cada gráfico (IEEE, 2000).

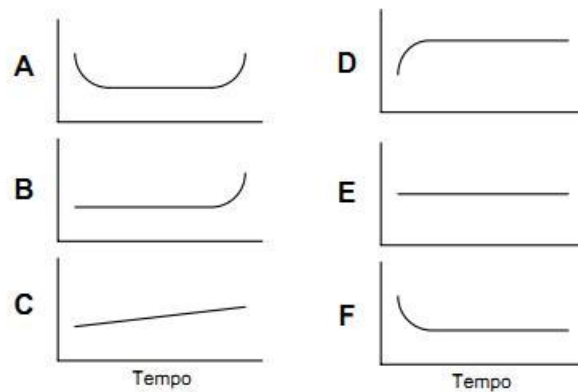


Figura 3.5 - Padrões de falha (ENGEMAN, 2013)

Tabela 3.1 - Descrição dos padrões de falha presentes na figura anterior (IEEE, 2000)

Curvas de padrão de falha	Descrição da probabilidade condicional de falha
Tipo A (Curva da banheira)	Começa com uma alta incidência de falha (mortalidade infantil), seguida de uma probabilidade condicional de falha constante ou gradualmente aumentada com uma zona de desgaste.
Tipo B	Mostra a probabilidade de falha constante ou de aumento lento, terminando em zona de desgaste.
Tipo C	Mostra um aumento da probabilidade de falha gradual, mas não existe uma idade de desgaste identificável.
Tipo D	Mostra baixa probabilidade de falha quando o item é novo ou acaba de sair da oficina, tendo depois um rápido aumento para um nível constante de falha.
Tipo E	Mostra uma probabilidade condicional de falha constante em todas as idades (falha aleatória).
Tipo F	Começa com uma alta mortalidade infantil que cai para uma probabilidade de falha constante ou de aumento praticamente insignificante.

### 3.4 Manutenção

Independentemente do objetivo de conservar e repor a condição técnica dos ativos, a manutenção deve ter sempre em consideração parâmetros como a segurança, qualidade, custo e disponibilidade. A segurança é um fator de cariz não negociável devendo ser assegurado a todos os elementos intervenientes no processo, desde as pessoas aos próprios ativos.

Um ato de manutenção deve focar-se na obtenção de um melhor rendimento dos ativos garantindo a maior operabilidade dos mesmos e minimizando as paragens por avaria, por forma a contribuir para a correta continuidade do serviço. Deve-se procurar não danificar os ativos e ter sempre um máximo de respeito pelas condições de higiene e segurança e pelo meio ambiente.

Qualquer intervenção de manutenção deve verificar o mínimo custo global, resultante da análise dos custos da produção, dos custos originados pela manutenção ou pela não manutenção.

Atualmente, a gestão de ativos na EDP Distribuição é realizada com base numa estratégia de manutenção e substituição de ativos, baseada fundamentalmente na análise de históricos de indicadores de qualidade de serviço e avarias. Todavia, em conformidade com as novas práticas de gestão de ativos baseadas no risco, deve-se concentrar a atenção em metodologias de controlo e monitorização dos ativos, podendo prever quando e como os ativos vão falhar, procurando evitar intervenções desnecessárias e antecipar a ocorrência de falhas, atuando numa fase anterior à sua provável ocorrência.

Esta abordagem permite estabelecer, em qualquer circunstância, o tipo de manutenção mais indicado para o efeito. Os tipos de manutenção considerados estão expostos no diagrama da Figura 3.6 e explicados de seguida segundo a norma NP EN 13306:2007 Terminologia da

Manutenção, (Assis, 2004) e (NASA HQ, 2000) como são vistos na ótica da EDP Distribuição.

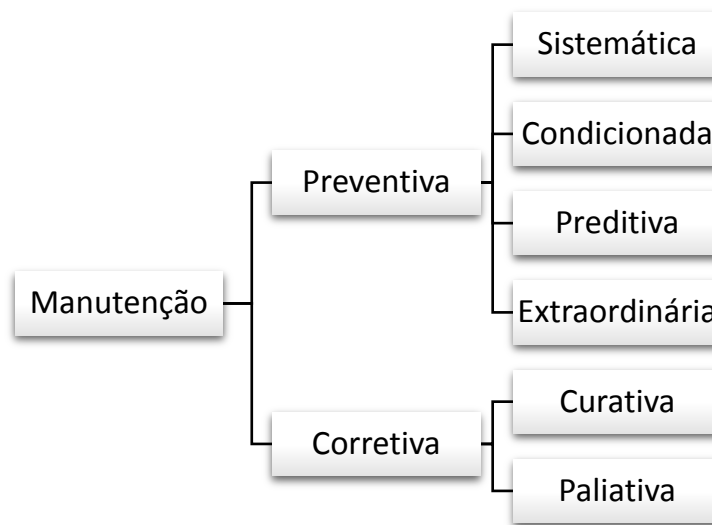


Figura 3.6 - Tipos de manutenção

#### 3.4.1 Manutenção Preventiva Sistemática (MPS)

A manutenção preventiva sistemática baseia-se num conjunto de inspeções e ensaios realizados com base em critérios previamente estabelecidos (intervalos de tempo constantes ou número de manobras atingido), com priorizações que variam consoante o nível de risco determinado para cada um. Este tipo de manutenção visa evitar a ocorrência de avarias, equilibrar a carga de trabalho de manutenção e preparar antecipadamente os recursos para tornar as intervenções mais económicas.

Na execução das intervenções de MPS, é essencial recolher, com máximo rigor, todos os dados técnicos do ativo, para que se possa garantir o correto funcionamento dos ativos, priorizar as ações de correção necessárias e sustentar um controlo e monitorização do mesmo, reduzindo desta forma a taxa de falhas e custos subjacentes.

#### 3.4.2 Manutenção Preventiva Condicionada

A manutenção preventiva condicionada é uma manutenção em que a decisão de intervenção preventiva é tomada no momento em que há evidências de anomalias detetadas na sequência da realização das ações de MPS ou de observações ocasionais. Realiza ações destinadas a eliminarem as não conformidades identificadas antes que degenerem em avaria. A utilidade desta manutenção é tanto maior quanto mais cedo detetarem as anomalias que poderão conduzir à avaria.

### **3.4.3 Manutenção Preditiva**

O controlo periódico dos ativos, baseado na análise de informações retidas através da monitorização ou inspeções, deve reunir dados suficientes para a avaliação da sua condição técnica e prever como o estado dos ativos vai evoluir. Com base no cruzamento de todos estes dados é possível prever o momento ideal para efetuar as intervenções, otimizando as mesmas e minimizando os custos associados.

### **3.4.4 Manutenção Extraordinária**

As ações de manutenção extraordinária são consideradas intervenções de longo prazo, ocorrendo uma ou duas vezes durante a vida útil do ativo, tipo de manutenção exclusivo da EDP.

Os custos associados a ações de manutenção extraordinária podem ser capitalizados desde que:

- sejam necessários para assegurar a vida útil do ativo;
- possuam um custo materialmente relevante;
- estejam previamente definidas e previstas para serem realizadas ao longo do período de vida útil do ativo.

Estas intervenções podem ser recomendadas pelo fabricante, com base no tempo de funcionamento ou na utilização, visando assegurar o bom desempenho do ativo ao longo da sua vida útil, ou pelo gestor de ativos tendo em conta os dados históricos e estatísticos existentes.

### **3.4.5 Manutenção Corretiva Paliativa**

Esta manutenção é executada logo após a constatação de uma anomalia no ativo. Se a anomalia se verificar de forma catastrófica, diz-se que ocorreu uma avaria e a intervenção tem de ser de emergência. Pode ser entendida como uma reparação provisória mas que não garante a reposição da condição técnica do ativo, ficando este limitado ao nível das suas funções.

### **3.4.6 Manutenção Corretiva Curativa**

Este tipo de manutenção, ao contrário da anterior, parte da análise das causas e só depois procede à reparação de modo a eliminar a causa da avaria ou a minimizar as suas consequências. É uma intervenção que permite repor a condição técnica do ativo de forma definitiva.

### **3.5 Conclusão**

Uma correta gestão de ativos passa forçosamente por uma etapa de identificação e análise das falhas a eles inerentes e pelo seu controlo e monitorização rigorosos, com vista a definir qual o tipo de manutenção a aplicar em determinado ativo e quando fazê-lo, procurando assim um equilíbrio entre o desempenho, os custos e os riscos.

Estão assim reunidas todas as noções teóricas que permitem elaborar o modelo que incidirá em conceitos como o IS e PoF dos ativos da empresa, determinando quando e de que forma intervir nos mesmos.

## 4 PREPARAÇÃO E CONSTRUÇÃO DO MODELO

O desenvolvimento do modelo de cálculo do IS e de PoF inicia-se com a pesquisa de modelos já em curso de outros ativos e uma investigação dos fatores fulcrais que influenciam a condição técnica dos disjuntores AT e MT. A análise de modelos já formulados, de manuais de carácter técnico dos disjuntores e de fichas técnicas de manutenção, bem como o acompanhamento de manutenções realizadas a disjuntores em deslocações ao terreno, serviram de suporte à investigação.

Após deliberação destes indicadores existe a necessidade de realizar uma análise crítica sobre a importância que estes refletem na avaliação da condição técnica dos disjuntores, isto é, terão de ser estabelecidas ponderações em cada um deles para que o modelo traduza resultados que se aproximem o mais possível da realidade física existente.

Este modelo, à semelhança dos já existentes na empresa, foi desenvolvido com recurso à ferramenta Excel da Microsoft. Durante uma descrição mais detalhada do processo de evolução do modelo, que se apresenta de seguida, entrar-se-á em alguns detalhes técnicos desta ferramenta permitindo a opção de escolha do mesmo.

### 4.1 Modelos existentes e/ou em desenvolvimento

A gestão de ativos é uma abordagem ao qual as empresas se vêm confrontadas recentemente. Devido a esta circunstância, ainda se encontram poucos modelos de gestão de ativos (simples e complexos) publicados, o que leva a uma dificuldade acrescida sempre que se pretende desenvolver um modelo consistente de gestão de ativos baseado no risco. Contudo, existem algumas publicações acerca de modelos de outros ativos – expostos nos próximos parágrafos – que, juntamente com os modelos já construídos pela EDP Distribuição foram tidos em consideração aquando da preparação e construção do modelo desenvolvido no estágio.

Steenbergen, Bart na *University of Twente* (Steenbergen, 2007), elaborou uma tese sobre o planeamento de investimentos numa empresa operadora da rede de distribuição de energia. No desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada a especificação *PAS 55*, como base da construção de um modelo para a substituição dos ativos instalados no terreno.

*Kinectrics Inc*, empresa de inspeções, consultadoria e auditorias (Naderian A., 2008), desenvolveu um artigo onde descreve o modelo usado pela *Kinectrics* para o cálculo do IS dos transformadores e disjuntores.

*Toronto Hydro e Kinectrics*, respetivamente as empresas de distribuição de energia elétrica e de auditorias no Canadá (Toronto Hydro-Electric System Limited e Kinectrics Inc, 2010), construíram um relatório onde está exposta a metodologia usada na *Toronto Hydro* para o cálculo do IS dos transformadores e disjuntores, com base no modelo da *Kinectrics* (Naderian A., 2008).

Existem modelos desenvolvidos no âmbito de uma gestão de ativos pela EDP Distribuição, nomeadamente das Linhas Aéreas AT e MT, Postos de Transformação e Transformadores de Potência. Paralelamente ao desenvolvimento do modelo dos disjuntores AT e MT, encontram-se em desenvolvimento na empresa também os modelos dos SPCC (Sistemas de Proteção, Comando e Controlo) e dos Sistemas de Alimentação Auxiliar CA e CC.

## **4.2 Disjuntores – considerações gerais**

Para o desenvolvimento mais consolidado do modelo foi realizado um estudo das características gerais dos tipos de disjuntores que se encontram em funcionamento na empresa.

De modo elucidativo, um disjuntor é um equipamento eletromecânico, instalado nas subestações, com poder de corte em carga e destinado à proteção contra sobreintensidades (curto-circuitos ou sobrecargas) numa linha. Para que este consiga interromper o circuito elétrico, é constituído por dois contactos situados numa câmara de corte contendo um isolante elétrico (dielétrico). Este tipo de isolante é caracterizado por possuir excelentes propriedades de extinção do arco elétrico, formado pela abertura do disjuntor em carga, bem como capacidade de arrefecimento – fator importante dado que, durante a operação de corte, o arco elétrico pode atingir temperaturas excessivas.

Não obstante a sua função protetora, um disjuntor deve garantir a condução de corrente em condições normais de carga durante longos períodos de tempo e deve suportar a tensão do circuito em que está instalado quando os seus contactos se encontram abertos.

Durante uma operação de corte, um disjuntor deve realizar o movimento de abertura dentro de um período de tempo pré-estabelecido (pelo fabricante) ainda que o intervalo após a última manobra seja já de vários meses. Por outro lado, o fecho deve ser permitido tanto em condições normais de carga como em curto-circuito imediatamente após abertura para eliminar o defeito.

Nos disjuntores AT e MT existe um armário, vulgarmente designado por comando, que contém os motores que lhes concedem a força motriz para abrir e fechar o circuito e os seus comandos de ordens e sinalizações das manobras.

### **4.2.1 Arco Elétrico**

Quando se estuda as características de um disjuntor AT e MT é imprescindível conhecer o princípio básico do arco elétrico e as suas consequências no sistema.

O arco elétrico, por definição, é uma corrente elétrica visível num meio isolante, como o ar, que ocorre a partir da ionização desta matéria, através de duas superfícies condutoras que apresentem uma diferença de potencial. Quanto mais próximas estiverem, mais facilmente ocorrerá este fenómeno. Desde que a diferença de potencial seja suficiente para mantê-lo

ativo, o arco não se extingue simplesmente com a separação dos condutores. Do arco advém uma temperatura muito alta, capaz de fundir ou vaporizar qualquer substância.

Nos disjuntores, caso o arco não seja extinto rapidamente, a alta temperatura e os efeitos da radiação provocados por este, podem levar a sérios danos no equipamento, comprometendo inclusivamente a sua performance de forma definitiva (Flurschein, 1975).

## **4.2.2 Características construtivas e princípios de funcionamento do disjuntor**

### **4.2.2.1 Meio de corte**

Como já foi referido, a câmara de corte de um disjuntor deve conter um material dielétrico. Um material dielétrico é um isolante elétrico, isto é, uma substância não condutora, que realiza oposição ao campo elétrico. Isto acontece porque são materiais que não possuem eletrões livres, condição necessária à condução elétrica.

Os materiais dielétricos podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. No que diz respeito aos disjuntores, habitualmente são usados o óleo, o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e o vácuo como meios de corte.

#### **4.2.2.1.1 Pequeno Volume de Óleo**

As características construtivas do disjuntor que possui como material dielétrico o óleo, designados como Pequeno Volume de Óleo (PVO) estão representadas na Figura 4.1 (EFACEC) e têm o princípio de funcionamento descrito em seguida.

No momento do fecho, acionado pelo comando, a haste do contacto móvel desloca-se bruscamente para cima ligando as maxilas do contacto inferior às maxilas do contacto superior.

Quando solicitada a abertura, a haste do contacto móvel desce abruptamente, separa-se do contacto superior e o arco estabelece-se entre a ponteira para-faíscas da haste do contacto móvel e o anel para-faíscas do contacto superior. O arco é alongado no óleo fresco através dos compartimentos da câmara e o calor que se liberta vaporiza uma parte do óleo, provocando a sopragem do arco e conseqüentemente a sua extinção. Desta forma, a sopragem do arco é diretamente proporcional à corrente cortada (EFACEC).

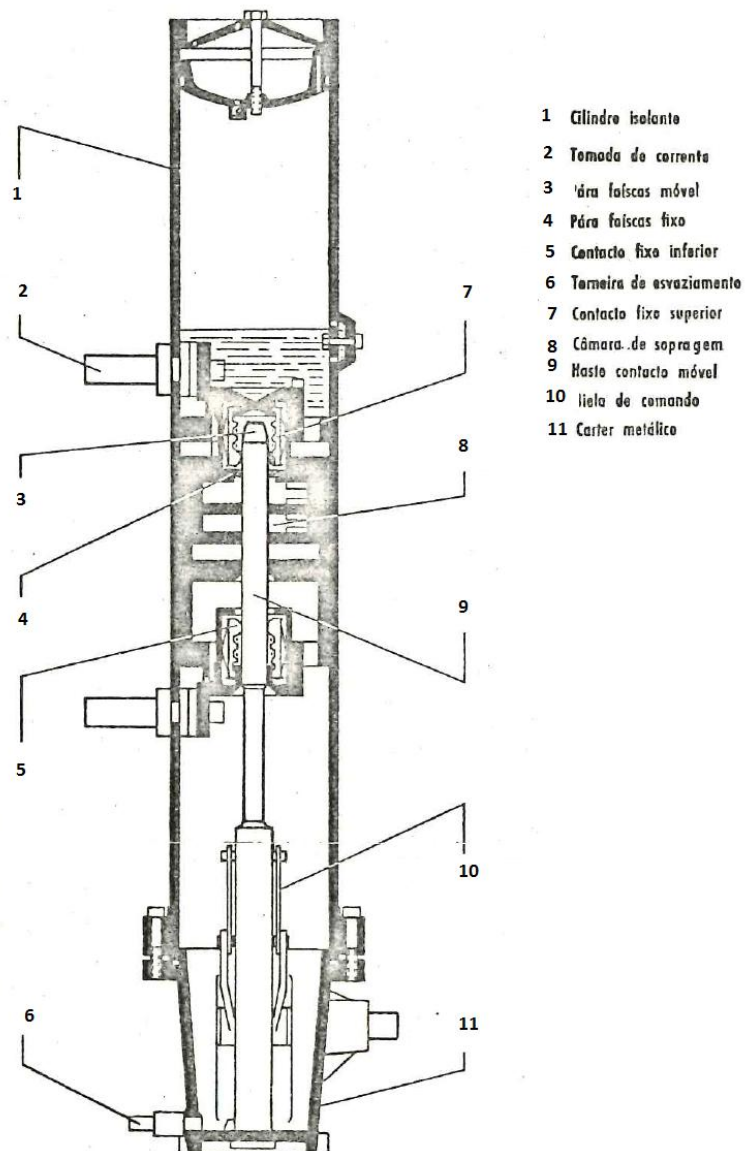


Figura 4.1 - Características construtivas dos disjuntores PVO (EFACEC)

#### 4.2.2.1.2 SF6 – Hexafluoreto de Enxofre

O uso de SF<sub>6</sub> como meio de corte nos disjuntores AT e MT é justificado por este ser um gás que possui inúmeras propriedades físicas e químicas que o torna um excelente meio isolante e extintor do arco elétrico relativamente às restantes substâncias usadas para o mesmo efeito. Neste tipo de interrupção, o corte faz-se por autocompressão do gás e tem o princípio de funcionamento explicado a seguir, com apoio na Figura 4.2.

Enquanto o disjuntor se encontra fechado (a), a corrente passa entre os terminais 1 e 2 do aparelho através do contacto fixo principal 3, dos contactos deslizantes 4 e 5 e da haste móvel 6.

Quando incitada a abertura (b), o circuito principal é inicialmente interrompido ao nível do contacto principal superior e o arco estabelece-se entre os contactos para-faíscas 7 e 8. O SF<sub>6</sub> é comprimido entre o pistão 9, juntamente com a haste móvel, e o fundo do cilindro 10, provocando um jato de gás que sopra o arco em duas direcções diferentes.

Já estando na posição aberto (c), o espaço de corte é ocupado por SF<sub>6</sub> assegurando a rigidez dielétrica entre entrada e saída. O aparelho está pronto para uma manobra de fecho (EFACEC).

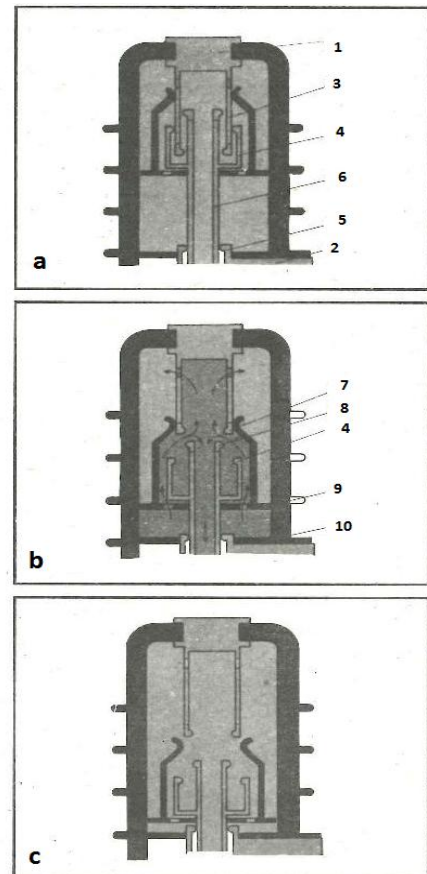


Figura 4.2 - Funcionamento do disjuntor SF<sub>6</sub> (EFACEC)

Este tipo de disjuntor possui as seguintes características construtivas ilustradas, com maior pormenor, na Figura 4.3 (EFACEC).

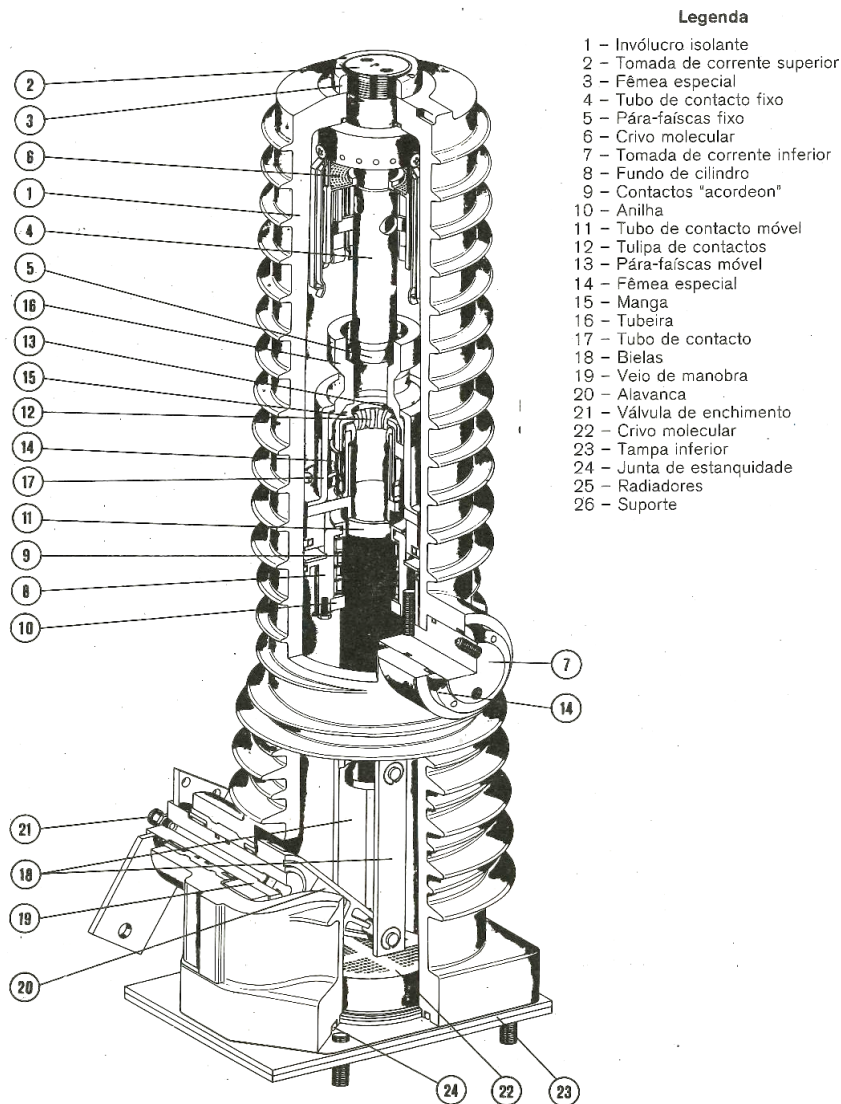


Figura 4.3 - Características construtivas dos disjuntores SF6 (EFACEC)

#### 4.2.2.1.3 Vácuo

Os disjuntores com meio de interrupção a vácuo possuem características construtivas mais simples que as anteriores como se pode verificar na Figura 4.4 (EFACEC).

Nestes disjuntores, que utilizam o vácuo como meio de corte, aquando a separação dos contactos, contidos numa ampola com vácuo (3), ocorre uma descarga em forma de vapor metálico que é estabelecida pela corrente que está a ser interrompida. Este vapor metálico conduz a corrente até próximo do zero. O arco é então extinto em alguns microssegundos, devido à precipitação do vapor. No final do processo é restabelecida rapidamente a rigidez dielétrica entre os contactos (EFACEC).

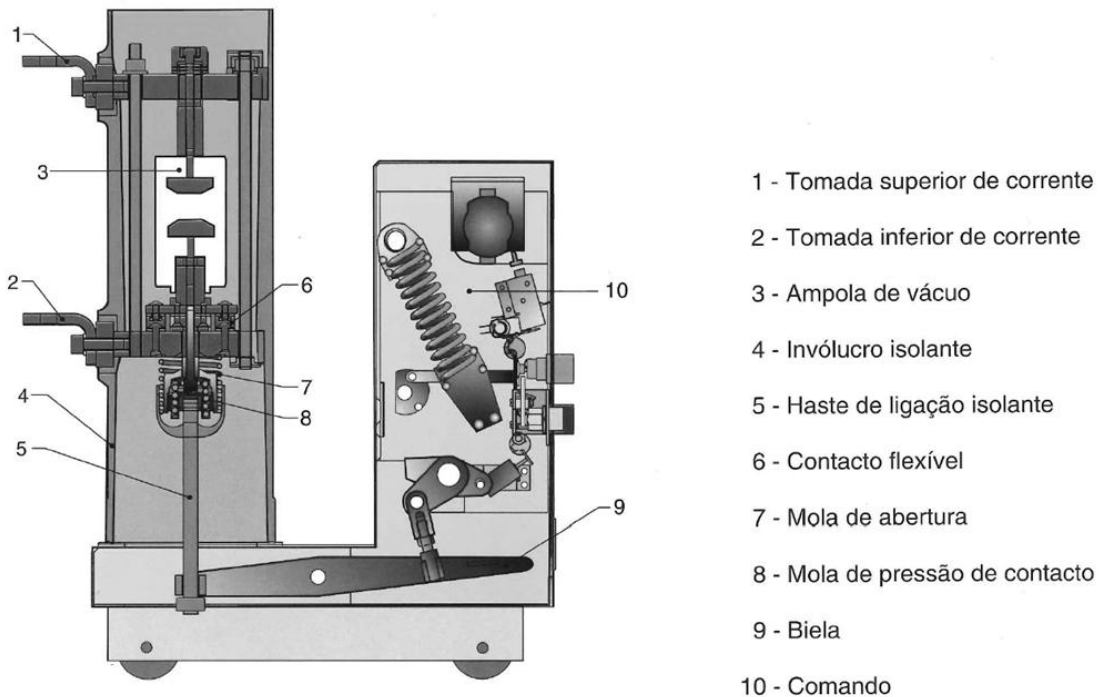


Figura 4.4 - Características construtivas do disjuntor vácuo (com comando) (EFACEC)

#### 4.2.2.2 Comando

Como referido anteriormente, os disjuntores são sempre equipados com armários que contém os comandos, assim como os motores que lhes conferem a força motriz para abrir e fechar o circuito elétrico. Estas operações de abertura e fecho podem ser executadas tanto manual como automaticamente.

##### 4.2.2.2.1 Comando Mecânico

No comando mecânico a ligação e abertura são feitas pela distensão de uma mola (há uma mola para ligação e outra para a abertura). Estas molas estão ligadas mecanicamente a um veio de manobra que aciona o disjuntor. A distensão das molas pode ser feita manual ou eletricamente. O rearme da mola de ligar faz-se manual ou automaticamente com o motor elétrico.

As características construtivas do comando mecânico estão representada na Figura 4.5 (EFACEC) e Figura 4.6.

O seu princípio de funcionamento encontra-se explicado no Anexo A.

## Preparação e Construção do Modelo

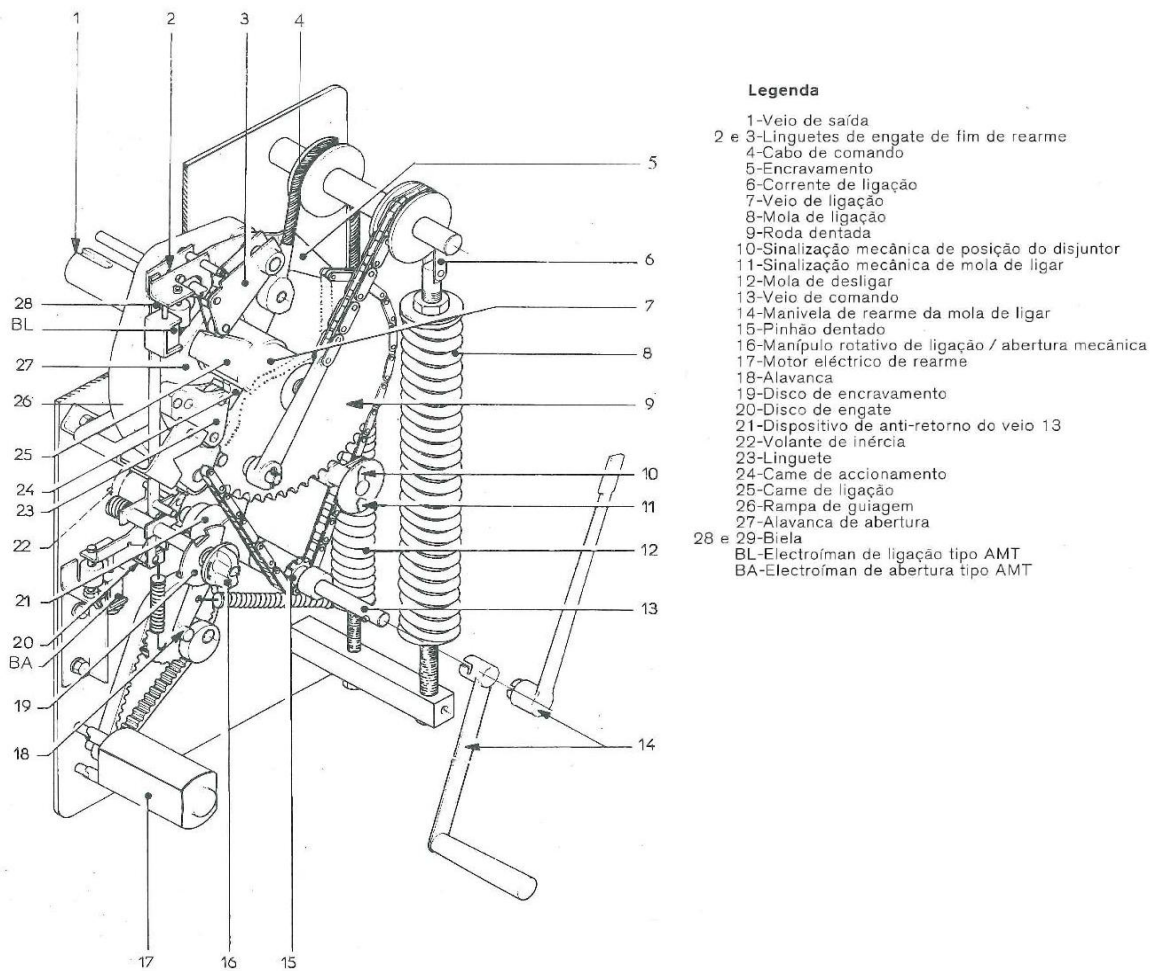


Figura 4.5 - Características construtivas do comando mecânico (EFACEC)

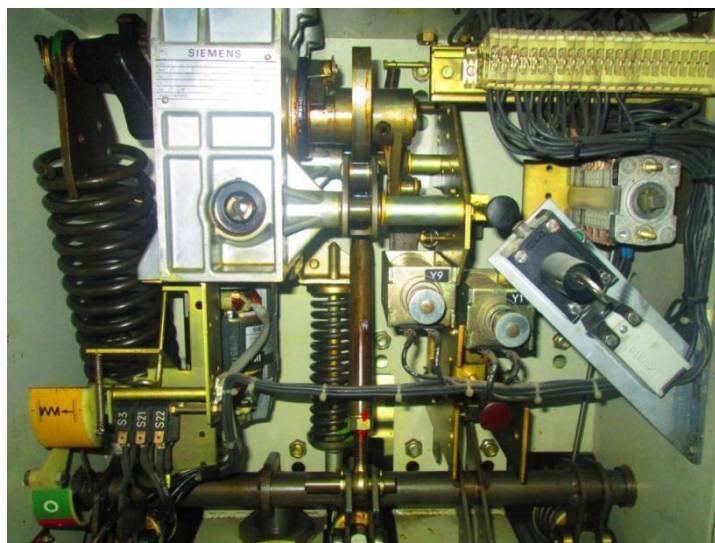


Figura 4.6 - Comando mecânico

#### 4.2.2.2 Comando Óleo-Pneumático (OP)

Os comandos OP são uma tecnologia mais antiga e com uma iminente previsão de extinção, visto já não serem fabricados. Os comandos OP são constituídos por dois órgãos: hidráulico (Figura 4.7 (DELLE) e Figura 4.8) e elétrico (Figura 4.9 (DELLE) e Figura 4.10).

Quanto ao princípio de funcionamento do comando OP encontra-se meticulosamente explicado no Anexo B.

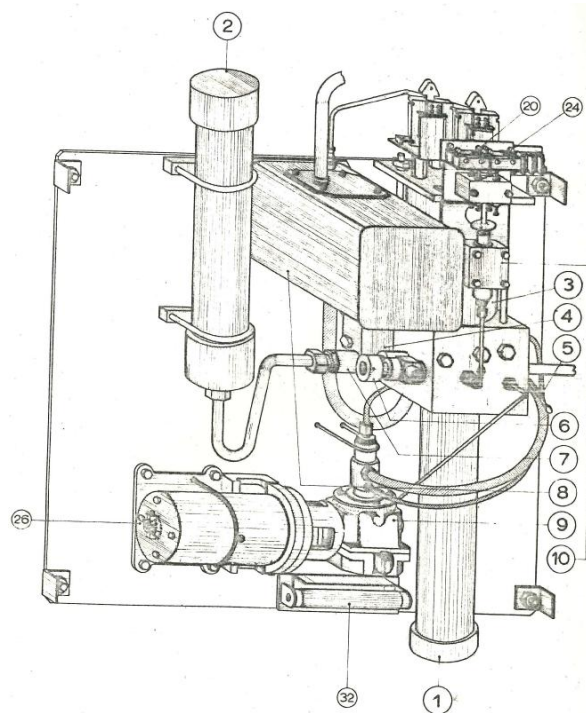


Figura 4.7 - Características construtivas comando OP (Órgão Hidráulico) (DELLE)

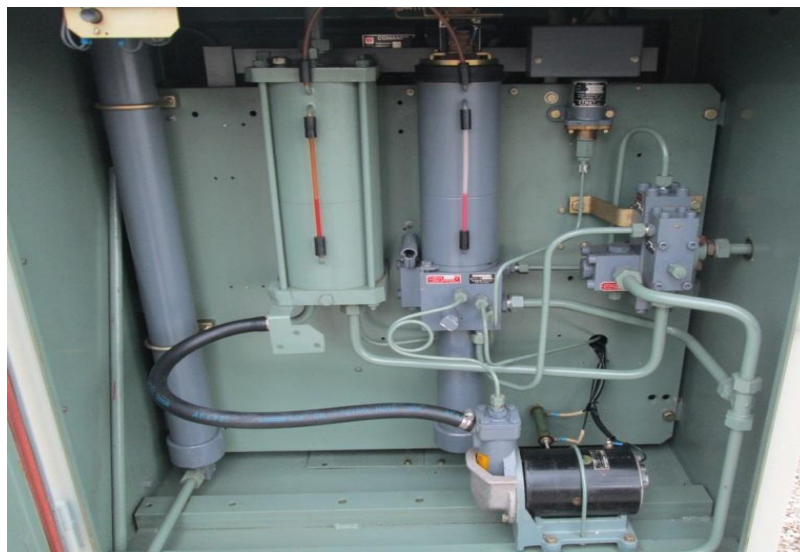


Figura 4.8 - Órgão hidráulico do comando OP

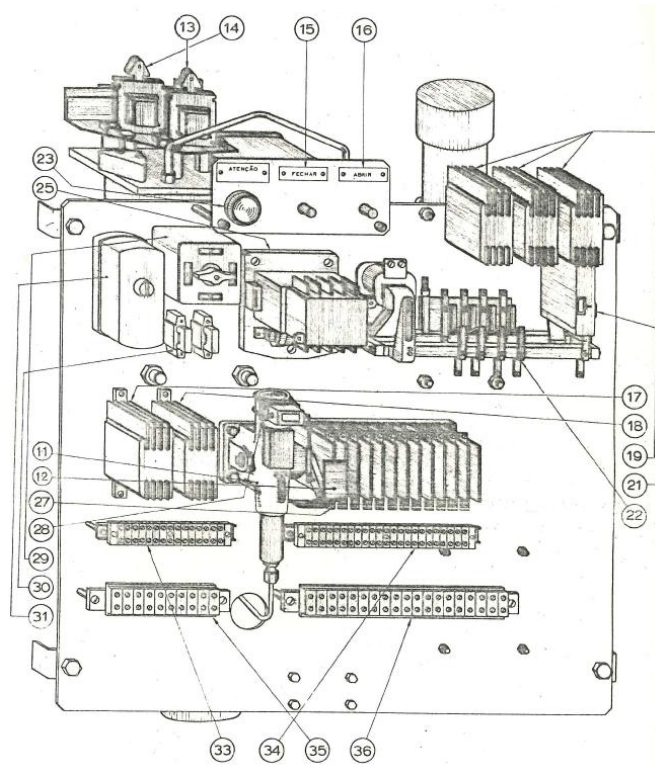


Figura 4.9 - Características construtivas comando OP (órgão elétrico) (DELLE)

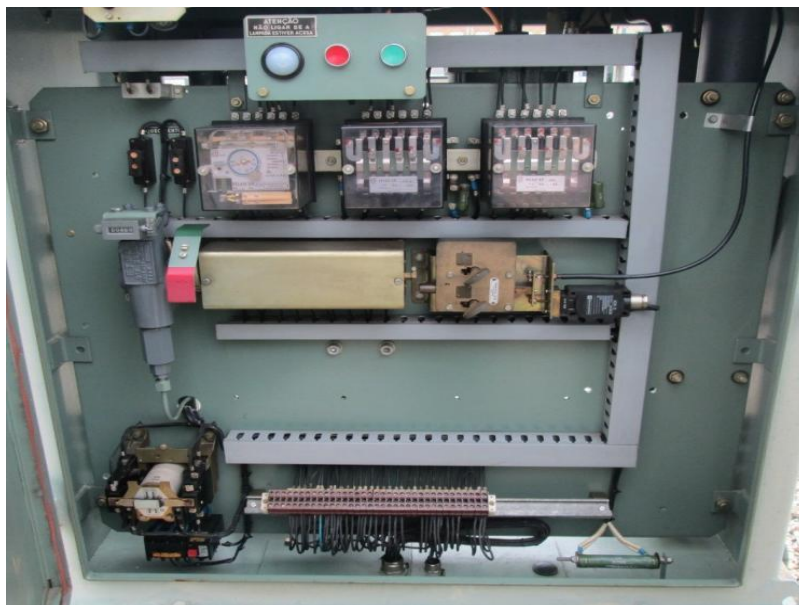


Figura 4.10 - Órgão elétrico do comando OP

### 4.2.3 Acompanhamento de trabalhos no terreno

Durante o estágio na EDP Distribuição, com objetivo de um acompanhamento mais próximo desta vertente técnica da Direção de Manutenção, houve necessidade do destacamento no período de um mês para a EME2, empresa criada pela EDP Distribuição em parceria com a EFACEC. A estratégia da EME2 passa por assegurar a manutenção das subestações e postos de corte da zona centro, equivalente a aproximadamente 20% do parque nacional da EDP Distribuição. Aqui, o contacto com o pessoal, de cariz mais técnico, foi uma experiência diferente e que estimulou a minha aprendizagem e assimilação de todo o conhecimento adquirido ao longo do tempo constituinte do estágio.

Com o objetivo de consolidar alguma informação teórica foi feito o acompanhamento de alguns trabalhos, durante o tempo útil do estágio, dos quais se salientam os seguintes:

#### Subestação Alegria 60/15 kV

Nos dias 17 e 18 de dezembro de 2013, efetuou-se uma visita à SE Alegria para se proceder ao acompanhamento de trabalhos de manutenção preventiva sistemática de dois disjuntores a vácuo MT (Figura 4.11) na SE Alegria, feita por uma equipa da EME2. O trabalho foi realizado com o objetivo de manter a condição técnica dos ativos, sendo por este motivo realizados uma limpeza geral, lubrificação dos componentes e os ensaios destinados a este tipo de ativos, com propósito de detetar eventuais desvios nos valores exigidos para os parâmetros de funcionamento.



Figura 4.11 - Disjuntor SIEMENS e comando mecânico

Ações realizadas durante a intervenção:

- manobras de consignação com o intuito de garantir a segurança no desempenho dos restantes trabalhos da intervenção;
- medição dos tempos de abertura e fecho para se poder retificar se o disjuntor abre e fecha nos tempos regularizados;
- para melhoria de tempos fez-se a lubrificação do comando e limpeza geral;
- medição da resistência de contacto e resistência de isolamento para verificar o estado dos contactos e do isolador;
- teste de ordens de sinalização, para certificação do bom funcionamento do telecomando;
- manobras de desconsignação para reter os elementos de segurança.

### **Subestação Alfarelos 60/15 kV**

Foram também acompanhados trabalhos referentes aos transformadores, mesmo não sendo o objeto de estudo deste estágio, com objetivo de conhecer outros ativos existentes na rede.

No dia 8 de janeiro de 2014 foi efetuada uma revisão ao transformador (Figura 4.12) na SE Alfarelos e contou com a presença de colaboradores da DMN, LABELEC, EME2 e EFACEC, por se tratar de uma ação de análise do óleo e planeamento de intervenções.



Figura 4.12 - Transformador SIEMENS

Ações realizadas durante a intervenção:

- análise ao estado do óleo isolante, por parte da LABELEC, para futuros trabalhos de manutenção, concretamente regeneração do óleo (recuperação de óleos degradados).

### **Subestação Cantanhede 60/15 kV**

O acompanhamento à SE de Cantanhede no dia 24 de janeiro de 2014 contou com a intervenção de uma equipa da EME2 que realizou trabalhos com o intuito de manter a condição técnica de um disjuntor a vácuo MT (Figura 4.13), à semelhança do que foi praticado na intervenção à SE da Alegria.

O trabalho contemplou a limpeza geral dos ativos, a lubrificação dos componentes e a realização de testes de forma a identificar eventuais desvios nos valores dados como referência para o exercício das diversas funções dos ativos.



Figura 4.13 - Disjuntor SIEMENS e respetivo comando mecânico

Ações realizadas durante a intervenção:

- manobras de consignação, para proceder aos trabalhos em segurança;
- medição dos tempos de abertura e fecho para se poder retificar se o disjuntor abre e fecha nos tempos regularizados;
- lubrificação do comando e limpeza geral com vista a melhoria de tempos.
- medição das resistências de contacto e de isolamento para verificar o estado dos contactos e do isolador;
- teste de ordens de sinalização de forma a certificar o bom funcionamento do telecomando;
- manobras de desconsignação para reter os elementos de segurança.

### Subestação Várzea 60/15 kV

Após a ocorrência de uma avaria de um disjuntor SF6 MT como se pode verificar na Figura 4.14, foi contactada a marca para proceder à verificação do estado do ativo. No dia 10 de fevereiro de 2014 concretizou-se essa análise com a presença de dois colaboradores da ABB e um da EME2.



Figura 4.14 - Disjuntor ABB queimado

Ações realizadas durante a intervenção:

- verificação do estado do disjuntor queimado por parte da ABB, para decidir qual a intervenção mais conveniente a ser feita;
- verificação das possíveis causas da avaria.

### **Subestação Celorico 60/15 kV**

Quando foi feito o acompanhamento de trabalhos de uma manutenção preventiva sistemática de disjuntor de PVO AT (Figura 4.15) foram necessários dois dias de intervenção – 15 e 16 de abril de 2014 – justificados pela complexidade de toda a construção deste tipo de disjuntores e pela exigência e duração de todo o processo.



Figura 4.15 - Disjuntor EFACEC e Comando OP

Ações realizadas durante a intervenção:

- manobras de consignação, para proceder aos trabalhos em segurança;
- remoção do óleo e limpeza dos polos do disjuntor;
- limpeza do visor do nível de óleo;
- reposição do óleo;
- medição da resistência de contacto e resistência de isolamento para verificar o estado dos contactos e do isolador;
- medição da pressão;
- teste de ordens de sinalização para certificação do bom funcionamento do telecomando;
- manobras de desconsignação para reter os elementos de segurança.

**Subestação Vila Robim 60/15 kV**

No dia 29 de julho de 2014 acompanhou-se a intervenção de uma equipa da EFACEC na eliminação de fugas de um transformador representado na Figura 4.16.



Figura 4.16 - Transformador EFACEC

Ações realizadas durante a intervenção:

- manobras de consignação, para proceder aos trabalhos em segurança;
- eliminação de fugas na porta de visita:
  - esvaziamento parcial do óleo do transformador para os depósitos fornecidos pela EFACEC;
  - substituição da junta da porta de visita;
  - enchimento do transformador com óleo retirado;
  - purga geral do transformador;
- manobras de desconsignação para reter os elementos de segurança.

### **Subestação Senhora da Graça 60/15 kV**

Outro dos acompanhamentos de intervenções realizadas a transformadores de potência verificou-se na SE da Senhora da Graça, no dia 31 de julho de 2014, onde se procedeu à limpeza do ruptor (Figura 4.17) por parte de uma equipa da EME2.



Figura 4.17 - Ruptor de transformador EFACEC

Ações realizadas durante a intervenção:

- manobras de consignação, para proceder aos trabalhos em segurança;
- limpeza do ruptor do transformador;
- mudança do óleo da cuba do ruptor e do conversor do transformador;
- manobras de desconsignação para reter os elementos de segurança.

À parte dos trabalhos acompanhados registados anteriormente, foram feitas também visitas a instalações da EDP Distribuição para identificar e compreender a função dos diversos equipamentos instalados nas subestações. Nomeadamente:

- Subestação Alegria 60/15 kV;
- Subestação Alfarelos 60/15 kV;
- Subestação de Rio Meão 60/15 kV;
- Subestação Esgueira 60/15 kV;
- Subestação São Julião 60/15 kV;
- Subestação Seia 60/15 kV;
- Subestação Antanol 60/15 kV;
- Subestação Oliveira do Hospital 60/15 kV;
- Subestação de Gumieira 60/15 kV.

#### **4.2.3.1 Conclusão do acompanhamento técnico**

O acompanhamento dos trabalhos no terreno consolidou toda a informação retida no estudo teórico das características e princípio de funcionamento dos disjuntores anteriormente realizado. Foi o procedimento necessário para a preparação da identificação dos indicadores que influenciam o IS e a PoF. Com o contacto direto das condições reais de operação do disjuntor foi possível detetar quais os fatores que condicionam o IS dos disjuntores e o que pode influenciar na falha da sua função. De modo geral, todos esses fatores preponderantes referentes à condição técnica do ativo já são tidos em consideração na realização das MPS e inspeções, onde são feitas medições dos tempos de abertura, tempos de fecho, da resistência de contacto e de isolamento, registo do número de manobras, verificação do estado exterior dos polos, dos acoplamentos, da existência de fugas do material isolante e de pontos quentes. Para além destes fatores monitorizados que evidenciam diretamente o estado de saúde dos disjuntores e que influenciam na falha do disjuntor, tornaram-se também evidentes, a partir destas experiências, alguns agentes externos, mencionados posteriormente, que provocam defeito na função do ativo em estudo.

Desta forma iniciou-se a construção do modelo de cálculo do IS e da PoF dos disjuntores AT e MT.

### 4.3 Cálculo do Índice de Saúde

Os Índices de Saúde são auferidos pelas características técnicas dos equipamentos que indicam qual o estado físico dos mesmos. São uma base para avaliar numericamente a saúde geral de um ativo (Hjartarson T., 2004) (Hughes, 2003).

O IS dos disjuntores é influenciado por fatores relativos à sua condição geral, câmara de corte e comando.

#### 4.3.1 Etapa 1 - Identificação dos indicadores

A primeira etapa do processo prende-se com a identificação dos fatores (designados no modelo por indicadores) que terão de ser monitorizados para o cálculo do IS.

#### Remaining Life Time (RLT)

É o tempo de vida restante estimado para o disjuntor, expresso em anos. O tempo de vida máximo estimado é de 30 anos.

Tabela 4.1 - Parametrização do indicador RLT

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Remaining Life time	30 Anos ≥ RLT > 20 Anos	20 Anos ≥ RLT > 10 Anos	10 Anos ≥ RLT > 5 Anos	5 Anos ≥ RLT > 0 Anos	RLT ≤ 0 Anos

Os níveis que entram diretamente para o cálculo do IS são os representados na Tabela 4.1. A seleção do nível adequado é feita automaticamente após inserção do ano de fabrico do disjuntor por parte do utilizador. Para isso é efetuado o cálculo do RLT, segundo a expressão:

$$RLT = 30 - (Ano_{fabrico} - Ano_{actual}) \quad (6)$$

Durante o ciclo de vida do disjuntor, poderá ser necessário proceder a um conjunto de intervenções como a substituição dos polos, motor de comando, entre outros componentes, que permitem repor a condição técnica do disjuntor aumentando assim a sua vida útil. Quando isto acontece, deve ser considerada uma nova data – data de reabilitação – que surgirá no modelo ao invés da data de fabrico. Assim, em caso de reabilitação, o tempo estimado para vida restante do disjuntor é dada por:

$$RLT = 30 - (Ano_{reabilitação} - Ano_{actual}) \quad (7)$$

### Câmara de corte

Existem valores de referência fornecidos pelos fabricantes para o limite máximo de potência cortada por um disjuntor. Quando o somatório proveniente de todos os cortes em defeito ultrapassa este limite, a situação torna-se crítica e o nível do indicador terá de ser assumido como 0 (zero). Caso contrário será assumido o nível 4, sendo a única opção restante, como se pode confirmar na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Parametrização do indicador câmara de corte

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Câmara de Corte</b>	Ok				Somatório Potências Cortadas $\geq$ limite máximo

### Resistência de contacto

A manobra repetida dos disjuntores provoca o desgaste dos contactos eléctricos devido ao atrito entre os mesmos e à existência de arcos eléctricos estabelecidos entre estes, causando o aumento da resistência eléctrica de contacto. A passagem da corrente através da resistência acrescida produz calor que implica um aumento da pressão interior do disjuntor. Se nada for feito, o aumento da pressão pode resultar na destruição do polo.

Para se medir a resistência dos contactos de um disjuntor, utilizam-se equipamentos que trabalham com o princípio da *Lei de Ohm*, onde é injetada uma corrente eléctrica conhecida e se mede a queda de tensão no contacto do disjuntor. A resistência pode então ser determinada através de um cálculo simples,  $R = V/I$ .

Quanto maior for o valor deste indicador maior será a probabilidade de se dar um contornamento interno.

Tabela 4.3 - Parametrização do indicador resistência de contacto

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Resistência Contacto</b>	$RC \leq 100 \mu\Omega$	$100 \mu\Omega < RC \leq 250 \mu\Omega$	$250 \mu\Omega < RC \leq 400 \mu\Omega$	$400 \mu\Omega < RC \leq 550 \mu\Omega$	$RC > 550 \mu\Omega$

A distribuição dos limites pelos diferentes níveis do modelo (Tabela 4.3) baseia-se em valores empíricos da empresa, obtidos por experiências passadas.

### Termografia

Os ensaios de termografia possibilitam uma inspeção dos equipamentos a uma distância segura, sem haver necessidade de contacto com o equipamento. Estes ensaios permitem detetar, sem a necessidade de retirar o equipamento de serviço, pontos quentes nos equipamentos que, se nada for feito, irão originar falhas na SE. Após estes ensaios a empresa responsável por estes ensaios – LABELEC – disponibiliza as respetivas fichas de inspeção termográfica, que têm a seguinte constituição representada na Figura 4.18, mais pormenorizada no Anexo C.

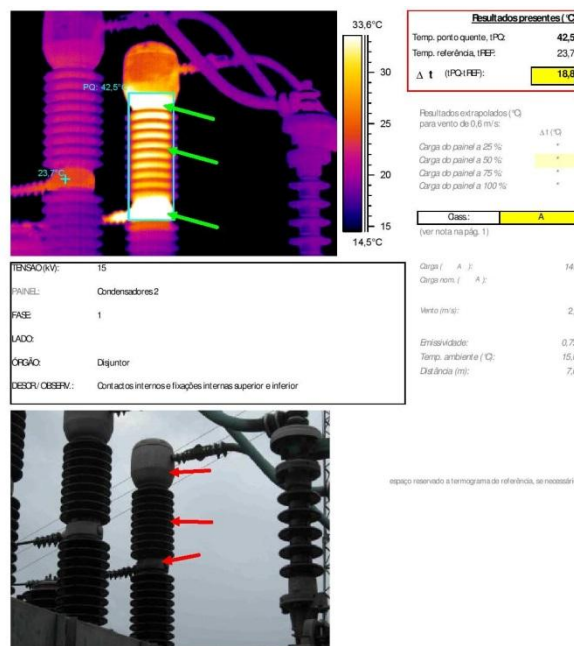


Figura 4.18 - Ficha de inspeção termográfica

Tabela 4.4 - Parametrização do indicador termografia

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Termografia	PQ = 0	Class(C) = 1	$2 \leq \text{Class}(C) \leq 3$	Class(B) $\geq$ 1 ou Class(C) $\geq$ 4	Class(A) $\geq$ 1

Seguindo as designações da LABELEC a CLASS é a classificação ou grau de gravidade do defeito que é relevante. Quando é de CLASS C entende-se que é de reparação a médio prazo, até 6 meses; quando B é de reparação a curto prazo, até 3 meses; já a CLASS A subentende que a reparação terá de ser imediata. E a parametrização estabelecida para o modelo é a exposta na Tabela 4.4.

### Resistência de isolamento

A existência de arcos elétricos durante a manobra repetida de disjuntores dá origem à carbonização dos contactos, resultando no aumento da resistência de contacto e no consequente aquecimento acrescido dos mesmos, podendo levar à sua destruição. Adicionalmente, a carbonização dos contactos dá origem à deposição de detritos condutores nas paredes da câmara de corte, diminuindo a capacidade isolante desta. Se nada for feito a capacidade de isolamento pode não ser suficiente, permitindo a passagem de corrente pelo interior do polo levando à destruição deste.

O equipamento que faz as medições das resistências encontra-se exibido na Figura 4.19.



Figura 4.19 - Equipamento de medição das resistências

Do ponto de vista da MPS o valor mínimo admissível para a resistência de isolamento é de  $1\text{G}\Omega$  – valor também confirmado nos manuais dos fabricantes durante a pesquisa para a construção do modelo. Assim, este indicador é explícito em dois níveis: inferioridade e superioridade ou igualdade perante o valor de referência, como se pode verificar na Tabela 4.5.

Ao contrário do que acontecia com a resistência de contacto, aqui espera-se que esta resistência assuma valores elevados, nomeadamente acima do limite estabelecido como crítico.

Tabela 4.5 - Parametrização do indicador resistência de isolamento

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Resistência Isolamento</b>	$RI \geq 1\text{ G}\Omega$				$RI < 1\text{ G}\Omega$

### Fugas no meio de corte

As fugas no meio de corte são analisadas para as tecnologias PVO e SF6 uma vez que nos disjuntores a vácuo este indicador não é mensurável.

A ausência de fugas garante que o corte nos disjuntores seja feito nas condições normais, caso contrário poderá ocorrer alguma falha na função do disjuntor. Os níveis existentes para a definição deste indicador são ilustrados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Parametrização do indicador Fugas do meio de corte

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Fugas do meio de corte -PVO e SF6	Nenhuma			Alarme	Abaixo do nível mínimo

No entanto, as duas tecnologias são avaliadas por componentes diferentes sendo que diferem na existência de alarme, que apenas se verifica nos disjuntores de SF6.

### - PVO

O nível de óleo pode ser controlado por um visor, com ecrã transparente, instalado no topo dos polos do disjuntor. Este nível só pode ser analisado no próprio local (Figura 4.20).

No modelo, a análise de fugas neste tipo de disjuntores só está parametrizado com dois dos três padrões em cima representados: “Nenhuma” e “Abaixo do nível mínimo”.



Figura 4.20 - Visor de nível de óleo de um disjuntor PVO

- SF6

Os disjuntores de SF<sub>6</sub> são, por norma, equipados com um pressostato de baixa pressão que aponta para os seguintes patamares: normal, alarme (sinal que dá imediatamente antes de se ter de intervir com urgência) e bloqueio (quando atinge determinados valores abaixo do normal, bloqueia de modo a proteger o disjuntor de situações intempestivas). Estes três níveis assinalados pelo pressostato têm relação direta com os níveis da tabela de avaliação de fugas (Figura 4.21).

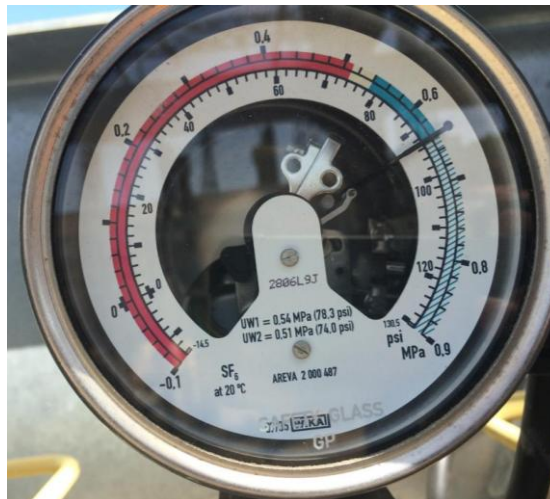


Figura 4.21 - Pressostato do disjuntor SF<sub>6</sub>

Estado dos isoladores

Nas redes de distribuição de energia elétrica, os isoladores possuem um dos papéis principais, sendo imprescindíveis para que qualquer sistema de energia elétrica possa funcionar corretamente e em segurança. Os isoladores assumem a função de isolamento entre os condutores e entre estes e a terra.

Um dos principais problemas dos isoladores prende-se com a degradação da sua camada protetora, a qual se vai tornando porosa, com rugosidades e fissuras, facilitando a acumulação de agentes externos como impurezas, sais, poeiras e humidade, que ao se depositarem ao longo dos isoladores encurtam as linhas de fuga e criam condições favoráveis ao aparecimento de contornamentos. A redução destes efeitos pode ser conseguida com lavagens periódicas. Para minimizar este problema também se encontra no mercado um revestimento à base de silicone RTV (*Room Temperature Vulcanization*) que confere aos isoladores características acrescidas ao nível da hidrofobicidade, impedindo a acumulação dos agentes externos. Na Figura 4.22, pode-se verificar um disjuntor já revestido com um silicone RTV.

Deste modo, na parametrização deste equipamento considerou-se os seguintes casos: isoladores com “muitas fissuras”, “algumas fissuras” e “nenhuma ou aplicado o Si-COAT” (Tabela 4.7).



Figura 4.22 - Disjuntor revestido de SI-COAT 570 nos isoladores

Tabela 4.7 - Parametrização do indicador estado dos isoladores

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)</b>	Nenhumas/ Aplicado o Silicone RTV		Algumas Fissuras		Muitas Fissuras

### Tempos de fecho e abertura

Entre os ensaios realizados periodicamente para garantir uma operação confiável destes equipamentos estão os ensaios de medição dos tempos de abertura e fecho dos seus contactos. Este ensaio visa verificar se o disjuntor está a abrir e a fechar dentro do tempo estipulado pelo fabricante e se os componentes associados à proteção do disjuntor (bobinas de abertura, fecho e relés de proteção) estão a funcionar corretamente. As fichas que indicam os tempos medidos têm a seguinte configuração da Figura 4.23 e Figura 4.24, mais pormenorizadas no Anexo D.

Na rede estão ao serviço vários tipos de disjuntores, com fabricantes e modelos diferentes. Assim sendo, há diferenças nas características operacionais de cada modelo. Esse facto é tido em conta nos parâmetros dos tempos de fecho e abertura, onde os  $TF_{ref}^a$  e  $TA_{ref}^a$  são os valores de referência fornecidos pela marca para cada modelo. Quando o TA de um disjuntor atinge os 200ms a Unidade de Transmissão Remota (UTR) transmite um alerta para abrirem o circuito a montante. Neste cenário, é inteligível a escolha para o  $TA_{max}$  usado no modelo desenvolvido (Tabela 4.9). Perante a ausência de supervisionamento, por parte da UTR no TF foi considerado como valor crítico 1,8% (percentagem empírica da EDP) do tempo de referência de cada disjuntor (Tabela 4.8).

### Tempo de fecho

A fadiga do material e falta de lubrificação dos mecanismos de falha podem levar à perda de elasticidade da mola aumentando o tempo necessário para a operação de fecho. O movimento pode ser suficiente para fechar os contactos do disjuntor mas não para completar o movimento do mecanismo, impossibilitando a abertura. O arranque do motor de rearme da mola começa a rearmar a mola de fecho e simultaneamente leva a mola de abertura para a sua posição de utilização normal, completando o movimento do mecanismo, deixando o disjuntor em condições de abrir. O processo de abertura fica, contudo, sujeito ao tempo que o motor levar a normalizar a mola de abertura.

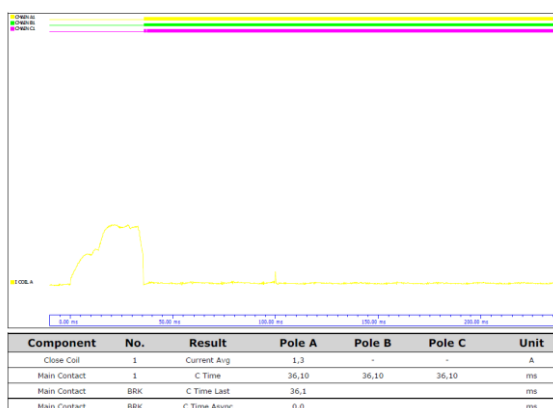


Figura 4.23 - Ficha de medição de tempo de fecho

Tabela 4.8 - Parametrização do indicador TF

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Tempo Fecho</b>	$TF\ ref^a \geq TF$	$TF\ ref^a < TF$ $\leq TF\ ref^a$ $*1,3$	$TF\ ref^a *1,3$ $< TF \leq TF$ $ref^a *1,6$	$TF\ ref^a *1,6$ $< TF \leq TF$ $ref^a *1,8$	$TF > TF\ ref^a$ $*1,8$

### Tempo de abertura

O aumento do tempo de abertura é particularmente gravoso podendo levar ao desgaste exacerbado dos contactos eléctricos dos polos. Caso o tempo de extinção do arco eléctrico interno seja mais elevado do que é tolerado, provoca uma maior dissipação de energia no interior dos polos que pode levar à destruição do disjuntor. Similarmente, este aumento do tempo de corte de um possível defeito permite o agravamento dos seus efeitos em todo o circuito atingido, podendo resultar na destruição de outros equipamentos.

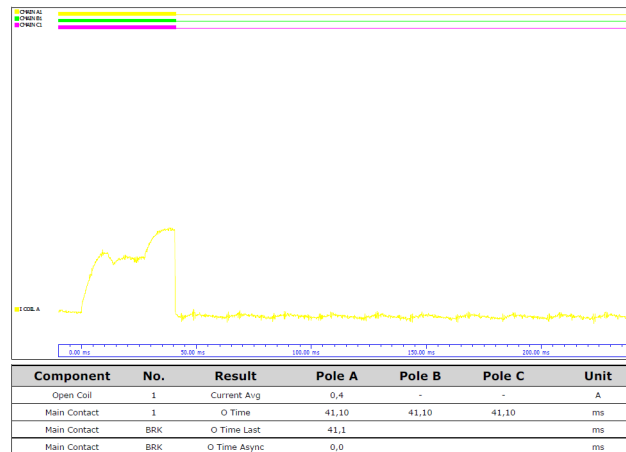


Figura 4.24 - Ficha de medição de tempo de abertura

Tabela 4.9 - Parametrização do indicador TA

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Tempo Abertura</b>	$TA_{ref} \geq TA$	$TA_{ref} < TA \leq TA_{ref} * 1,3$	$TA_{ref} * 1,3 < TA \leq TA_{ref} * 1,6$	$TA_{ref} * 1,6 \leq TA \leq 180ms$	$180ms < TA \leq 200ms$

O valor de 180ms foi estabelecido com o objetivo de criar uma margem de alarme para este indicador.

### Número de manobras

Indicador que caracteriza o número de vezes que o disjuntor é chamado a manobrar e que é registado num contador que está presente no próprio equipamento, Figura 4.25.

Assim como nos tempos de abertura e fecho, também o número de manobras tem valores de referência fornecidos pelos fabricantes, variando, no entanto, consoante o meio de corte e não com o modelo do disjuntor como acontecia com os primeiros. Esta referência é o valor máximo de manobras que um disjuntor pode executar durante a sua vida útil. A composição dos diferentes disjuntores implica a diferença nestes valores de referência sendo que para as tecnologias a vácuo, SF6 e PVO, as referências para os números de manobras (NM ref na figura) são, respetivamente, 30000, 10000 e 2000, Tabela 4.10.



Figura 4.25 - Contador de manobras de um disjuntor a óleo com comando OP

Tabela 4.10 - Parametrização do indicador número de manobras

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Nº Manobras	$NM \leq NM_{ref} * 0,25$	$NM_{ref} * 0,25 < NM \leq NM_{ref} * 0,5$	$NM_{ref} * 0,5 < NM \leq NM_{ref} * 0,75$	$NM_{ref} * 0,75 < NM \leq NM_{ref}$	$NM > NM_{ref}$

#### Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas – comando OP

Os ciclos de funcionamento repetidos, com transmissão de movimentos bruscos aos polos esforçam as fixações da regulação do acoplamento permitindo a desregulação do mecanismo. A desregulação provoca o movimento dessincronizado dos polos. Para os comandos OP, por circular óleo nas tubagens de acoplamento (assinaladas na Figura 4.26), existe a possibilidade de ocorrência de fugas.



Figura 4.26 - Tubagens de acoplamento do comando OP aos polos

A parametrização deste indicador segue a seguinte forma da Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Parametrização do indicador estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas	Bom Estado		Razoável ou Algumas Fugas		Mau Estado ou Com Fugas

Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos – comando mecânico

Similarmente ao que acontece nos comandos OP, nos comandos mecânicos os ciclos de funcionamento repetidos, com transmissão de movimentos bruscos aos polos esforçam as fixações da regulação do acoplamento permitindo a desregulação do mecanismo. Assim esta desregulação também provoca o movimento dessincronizado dos polos. Os acoplamentos do comando mecânico aos polos encontram-se assinaladas na Figura 4.27.



Figura 4.27 - Acoplamento do comando mecânico aos polos

Para este indicador a parametrização é caracterizada pela Tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Parametrização do indicador estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos</b>	Bom estado		Razoável		Mau Estado

#### Atraso após a data da manutenção prevista

Considera-se que o tempo de atraso após a data de manutenção prevista tem uma relação direta com o IS, pois este indicador pode influenciar de uma forma significativa os outros indicadores, como é de esperar pela falta de controlo e conservação.

Os tempos de atraso foram estabelecidos empiricamente pela empresa e são os representados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Parametrização do indicador atraso após a data da manutenção prevista

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Atraso após a data da manutenção prevista</b>	Sem atraso	1 Mês < Atraso ≤ 6 Meses	6 Meses < Atraso ≤ 1 Ano	1 Ano < Atraso ≤ 3 Anos	Atraso > 3 Anos

#### **4.3.2 Etapa 2 - Ponderações dos indicadores**

Os indicadores considerados não exercem a mesma influência sobre o IS. Para além disso nem todas as ponderações são aplicadas individualmente, existindo grupos de indicadores que têm, por sua vez, uma única ponderação. A necessidade da criação de grupos deve-se ao facto de alguns indicadores revelarem paralelamente o estado de determinada condição do disjuntor.

Na Tabela 4.14 verifica-se a existência de três grupos. Dois deles dividem a secção relativa à câmara de corte e o outro engloba alguns indicadores pertencentes ao comando.

Na câmara os indicadores “câmara de corte”, “resistência de contacto” e “termografia” constituem um grupo relacionado com o estado dos contactos e os restantes, “resistência de

isolamento”, “fugas do meio de corte” e “estado dos isoladores”, formam, por sua vez, um grupo referente ao estado do isolamento da câmara de corte.

Relativamente ao comando, o grupo existente é composto pelo “número de manobras”, “estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas” – verificado apenas nos comando OP – e “estado das tubagens de acoplamento aos polos” – exclusivo dos comandos mecânicos. Os restantes indicadores, “tempo de abertura” e “tempo de fecho”, são fatores independentes, contribuindo isolada e diretamente no cálculo do IS.

Nas condições gerais do disjuntor estão patentes o “RLT” e o “atraso após a data da manutenção prevista”, aos quais foram também atribuídas ponderações independentes para cada um.

No cálculo do IS, os indicadores que não pertencem a qualquer grupo entram de forma direta no cálculo, enquanto que, para o resultado parcelar obtido num grupo será tido em consideração o indicador que for parametrizado com o nível mais crítico.

Por exemplo, no primeiro grupo enumerado no modelo, referente aos contactos do disjuntor:

- Câmara de corte: Ok (**Nível 4**);
- Resistência de contacto:  $250 \mu\Omega > RC > 400\mu\Omega$  (**Nível 2**);
- Termografia:  $Class(C) = 1$  (**Nível 3**).

Neste caso concreto, o indicador “resistência de contacto”, juntamente com a ponderação atribuída ao grupo, define o resultado parcelar do grupo por ser aquele cujo nível é o mais crítico e, portanto, seguramente mais influente na determinação do estado dos contactos do disjuntor como se pode averiguar na Figura 4.28.

	Níveis IS	Ponderações	Produtos
Câmara de Corte	4	22,5%	45,0
Resistência Contacto	2		
Termografia (PQ Interno)	3		

Figura 4.28 - Exemplo do produto das ponderações do grupo pelo menor nível

Estas ponderações foram obtidas com recurso a questionários, onde era pedida a atribuição de percentagens para este efeito, a vários colaboradores da EDP Distribuição após a devida contextualização de todo o trabalho já anteriormente feito. Importa mencionar que estes colaboradores são de diferentes áreas geográficas, diversas áreas operacionais e que têm um papel ativo nesta área. Desta forma conseguiu-se chegar à conclusão de quais os pesos a aplicar a cada indicador no cálculo do IS, expressos na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Indicadores usados para o cálculo do IS, respetivos parâmetros e ponderação

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0	Ponderações	
Remaining Life time	30 Anos $\geq$ RLT > 20 Anos	20 Anos $\geq$ RLT > 10 Anos	10 Anos $\geq$ RLT > 5 Anos	5 Anos $\geq$ RLT > 0 Anos	RLT $\leq$ 0 Anos	10,0%	
Câmara	Câmara de Corte	Ok			Somatório Potências Cortadas $\geq$ limite máximo	22,5%	
	Resistência Contacto	RC $\leq$ 100 $\mu\Omega$	100 $\mu\Omega$ < RC $\leq$ 250 $\mu\Omega$	250 $\mu\Omega$ < RC $\leq$ 400 $\mu\Omega$	400 $\mu\Omega$ < RC $\leq$ 550 $\mu\Omega$		RC > 550 $\mu\Omega$
	Termografia	PQ = 0	Class(C) = 1	2 $\leq$ Class (C) $\leq$ 3	Class(B) $\geq$ 1 ou Class(C) $\geq$ 4		Class(A) $\geq$ 1
	Resistência Isolamento	RI $\geq$ 1 G $\Omega$				RI < 1 G $\Omega$	22,5%
	Fugas do melo de corte -PVO e SF6	Nenhuma			Alarme	Abaixo do nível mínimo	
	Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)	Nenhumas /Aplicado o Si-COAT		Algumas Fissuras		Muitas Fissuras	
Comando	Tempo Fecho	TF ref <sup>2</sup> $\geq$ TF	TF ref <sup>2</sup> < TF $\leq$ TF ref <sup>2</sup> $\ast 1,3$	TF ref <sup>2</sup> $\ast 1,3$ < TF $\leq$ TF ref <sup>2</sup> $\ast 1,6$	TF ref <sup>2</sup> $\ast 1,6$ < TF $\leq$ TF ref <sup>2</sup> $\ast 1,8$	TF > TF ref <sup>2</sup> $\ast 1,8$	5,0%
	Tempo Abertura	TA ref <sup>2</sup> $\geq$ TA	TA ref <sup>2</sup> < TA $\leq$ TA ref <sup>2</sup> $\ast 1,3$	TA ref <sup>2</sup> $\ast 1,3$ < TA $\leq$ TA ref <sup>2</sup> $\ast 1,6$	TA ref <sup>2</sup> $\ast 1,6$ $\leq$ TA $\leq$ 180ms	180 ms < TA $\leq$ 200 ms	15,0%
	Nº Manobras	NM $\leq$ NM ref <sup>2</sup> $\ast 0,25$	NM ref <sup>2</sup> $\ast 0,25$ < NM $\leq$ NM ref <sup>2</sup> $\ast 0,5$	NM ref <sup>2</sup> $\ast 0,5$ < NM $\leq$ NM ref <sup>2</sup> $\ast 0,75$	NM ref <sup>2</sup> $\ast 0,75$ < NM $\leq$ NM ref <sup>2</sup>	NM > NM ref <sup>2</sup>	15,0%
	Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas	Bom Estado		Razoável ou Algumas Fugas		Mau Estado ou Com Fugas	
	Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos	Bom estado		Razoável		Mau Estado	
	Atraso após a data da manutenção prevista	Sem atraso	1 Mês < Atraso $\leq$ 6 Meses	6 Meses < Atraso $\leq$ 1 Ano	1 Ano < Atraso $\leq$ 3 Anos	Atraso > 3 Anos	10,0%

### 4.3.3 Etapa 3 - Cálculo do Índice de Saúde

Após a identificação dos indicadores significativos e a respetiva atribuição das ponderações, passou-se à elaboração do modelo para o cálculo do IS.

O IS é calculado pelo quociente do somatório do produto dos níveis com as ponderações pelo valor máximo dos níveis (que é 4) multiplicado com o somatório das ponderações, isto é:

$$IS = \frac{\sum_i (Nível_i \times Ponderação_i)}{4 \times \sum_i (Ponderação_i)} \quad (8)$$

Nas Tabela 4.15 e Tabela 4.16 apresentam-se exemplos de cálculo do IS. A primeira ilustra uma situação em que o IS é de 100% e a segunda uma condição aleatória para efeito de demonstração.

Tabela 4.15 - Exemplo de cálculo do IS com todos os parâmetros no Nível 4

	Níveis IS	Ponderações	Produtos
Remaining Life Time	4	10,0%	40,0
Câmara de Corte	4	22,5%	90,0
Resistência Contacto	4		
Termografia (PQ Interno)	4		
Resistência Isolamento	4	22,5%	90,0
Fugas do meio de corte -PVO e SF6	4		
Estado dos isoladores (fisuras e contornamentos)	4		
Tempo Fecho	4	5,0%	20,0
Tempo Abertura	4	15,0%	60,0
Nº Manobras	4	15,0%	60,0
Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas	4		
Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos	4		
Atraso após a data da manutenção prevista	4	10,0%	40,0

Índice de Saúde	100,00%
-----------------	---------

Tabela 4.16 - Exemplo de cálculo do IS, com diferentes níveis nos diversos parâmetros

	Níveis IS	Ponderações	Produtos
Remaining Life Time	2	10,0%	20,0
Câmara de Corte	1	22,5%	22,5
Resistência Contacto	3		
Termografia (PQ Interno)	2	22,5%	67,5
Resistência Isolamento	3		
Fugas do meio de corte -PVO e SF6	4		
Estado dos isoladores (fissuras e contornos)	4	5,0%	15,0
Tempo Fecho	3		
Tempo Abertura	3	15,0%	45,0
Nº Manobras	4	15,0%	60,0
Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas	4		
Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos	4	10,0%	0,0
Atraso após a data da manutenção prevista	0		

Índice de Saúde	57,50%
-----------------	--------

Se um dos indicadores da câmara de corte ou o tempo de abertura estiver com valores considerados críticos significa, na realidade, que o disjuntor em causa não pode ser reintegrado na rede, pois a sua condição física não garante a segurança de pessoas nem de exploração da rede. Assim, todos estes indicadores são considerados majorantes (Tabela 4.17).

Para o modelo, se um indicador sinalizado como majorante estiver parametrizado no Nível 0 (zero), o IS do disjuntor é assumido automaticamente como nulo sendo desprezada a influência dos outros indicadores, como se pode verificar na Tabela 4.18.

Tabela 4.17 - Indicadores usados para o cálculo do IS, respetivos majorantes

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0	Ponderações	Majorante	
Remaining Life time	30 Anos $\geq$ RLT > 20 Anos	20 Anos $\geq$ RLT > 10 Anos	10 Anos $\geq$ RLT > 5 Anos	5 Anos $\geq$ RLT > 0 Anos	RLT $\leq$ 0 Anos	10,0%		
Câmara	Câmara de Corte	Ok			Somatório Potências Cortadas $\geq$ limite máximo	22,5%	x	
	Resistência Contacto	RC $\leq$ 100 $\mu\Omega$	100 $\mu\Omega$ < RC $\leq$ 250 $\mu\Omega$	250 $\mu\Omega$ < RC $\leq$ 400 $\mu\Omega$	400 $\mu\Omega$ < RC $\leq$ 550 $\mu\Omega$			RC > 550 $\mu\Omega$
	Termografia	PQ = 0	Class(C) = 1	2 $\leq$ Class (C) $\leq$ 3	Class(B) $\geq$ 1 ou Class(C) $\geq$ 4			Class(A) $\geq$ 1
Câmara	Resistência Isolamento	RI $\geq$ 1 G $\Omega$				RI < 1 G $\Omega$	22,5%	x
	Fugas do meio de corte -PVO e SF6	Nenhuma			Alarme	Abaixo do nível mínimo		
	Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)	Nenhuma s /Aplicado o Si-COAT		Algumas Fissuras		Muitas Fissuras		
Comando	Tempo Fecho	TF ref <sup>a</sup> $\geq$ TF	TF ref <sup>a</sup> < TF $\leq$ TF ref <sup>a</sup> *1,3	TF ref <sup>a</sup> *1,3 < TF $\leq$ TF ref <sup>a</sup> *1,6	TF ref <sup>a</sup> *1,6 < TF $\leq$ TF ref <sup>a</sup> *1,8	TF > TF ref <sup>a</sup> *1,8	5,0%	
	Tempo Abertura	TA ref <sup>a</sup> $\geq$ TA	TA ref <sup>a</sup> < TA $\leq$ TA ref <sup>a</sup> *1,3	TA ref <sup>a</sup> *1,3 < TA $\leq$ TA ref <sup>a</sup> *1,6	TA ref <sup>a</sup> *1,6 < TA $\leq$ 180ms	180 ms < TA $\leq$ 200 ms	15,0%	x
	Nº Manobras	NM $\leq$ NM ref <sup>a</sup> *0,25	NM ref <sup>a</sup> *0,25 < NM $\leq$ NM ref <sup>a</sup> *0,5	NM ref <sup>a</sup> *0,5 < NM $\leq$ NM ref <sup>a</sup> *0,75	NM ref <sup>a</sup> *0,75 < NM $\leq$ NM ref <sup>a</sup>	NM > NM ref <sup>a</sup>	15,0%	
	Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas	Bom Estado		Razoável ou Algumas Fugas		Mau Estado ou Com Fugas		
	Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos	Bom estado		Razoável		Mau Estado		
	Atraso após a data da manutenção prevista	Sem atraso	1 Mês < Atraso $\leq$ 6 Meses	6 Meses < Atraso $\leq$ 1 Ano	1 Ano < Atraso $\leq$ 3 Anos	Atraso > 3 Anos	10,0%	

Tabela 4.18 - Cálculo do IS quando resistência de isolamento (um dos majorantes) se encontra no Nível 0 (zero)

	Níveis IS	Ponderações	Produtos
Remaining Life Time	4	10,0%	40,0
Câmara de Corte	4	22,5%	90,0
Resistência Contacto	4		
Termografia (PQ Interno)	4		
Resistência Isolamento	0		
Fugas do meio de corte -PVO e SF6	4	22,5%	0,0
Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)	4		
Tempo Fecho	4	5,0%	20,0
Tempo Abertura	4	15,0%	60,0
Nº Manobras	4	15,0%	60,0
Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas	4		
Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos	4	10,0%	40,0
Atraso após a data da manutenção prevista	4		

Índice de Saúde	0,00%
-----------------	-------

#### 4.4 Cálculo da probabilidade de falha

A PoF é a probabilidade do ativo falhar a execução da sua função, sob condições de operação normais. Pode servir para prever a necessidade de substituir o ativo ou repor a sua condição antes da ocorrência de falhas.

A probabilidade, neste modelo, não é vista de um ponto de vista estatístico, em que a probabilidade é obtida a partir de amostras de históricos de falhas. É, no entanto, calculada com base em fatores que estão diretamente ligados à condição do disjuntor e que o podem levar à falha da sua função. Com a identificação destes indicadores e a respetiva parametrização, é atribuído um peso à sua influência na falha para os possíveis modos de falha dos disjuntores. Após a obtenção de todos os dados é construído o modo de cálculo para este efeito.

##### 4.4.1 Etapa 4 - Identificação dos indicadores

Para este cálculo consideraram-se alguns indicadores em avanço nomeadamente os que têm maior impacto na fiabilidade dos disjuntores. O cálculo da probabilidade de falha conta com os indicadores do índice de saúde e fatores externos, como a condição de exploração, fatores externos impactantes e características ambientais e geográficas.

Os fatores externos que causam impacto na função de um disjuntor e, como consequência, são úteis na inferência da probabilidade de falha do mesmo, encontram-se seguidamente identificados e descritos.

Tempo sem manobrar

Um fator relevante na condição dos disjuntores é o facto de estes permanecerem meses no estado ligado, conduzindo a corrente nominal sob condições climáticas variáveis. Após esse tempo de inatividade operacional, o disjuntor deve estar pronto para interromper correntes de curto-circuito, sem o menor desvio das características operacionais mas, no entanto, a ausência de manobras num disjuntor poderá revelar-se prejudicial. Com efeito, quando um disjuntor não executa a função para a qual está destinado durante um elevado período de tempo pode, quando o tiver que fazer, não estar nas condições perfeitas para a execução da manobra, dada a forte possibilidade de ocorrência de prisão de mecanismos, por exemplo. Como tal, a probabilidade de falha de um disjuntor é proporcional ao tempo que este se encontra sem manobrar.

Tabela 4.19 - Parametrização do indicador tempo sem manobrar

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Tempo s/ Manobrar</b>	Tsm ≤ 4 Meses	4 Meses < Tsm ≤ 8 Meses	8 Meses < Tsm ≤ 12 Meses	12 Meses < Tsm ≤ 16 Meses	Tsm > 16 Meses

Mais uma vez os valores admitidos para a delimitação dos níveis tiveram por base a deliberação e dados empíricos da empresa e são os anteriormente assinalados na Tabela 4.19.

Carga

Os registos de carga máxima mensais são um dos indicadores utilizados para o cálculo da probabilidade de falha pois demonstram as condições de exploração a que os ativos estão sujeitos, como por exemplo, regimes mais próximos da corrente nominal, temperatura nos contactos e desgaste. O valor da carga é dado por:

$$Carga = \frac{Si}{Sn} \tag{9}$$

onde  $Si$  é a carga máxima mensal e  $Sn$  é a carga nominal do disjuntor.

A Tabela 4.20 apresenta a parametrização deste indicador.

Tabela 4.20 - Parametrização do indicador carga

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Carga</b>	$Si/Sn \leq 0,6$	$0,6 < Si/Sn \leq 0,8$	$0,8 < Si/Sn \leq 1$	$1 < Si/Sn \leq 1,2$	$Si/Sn > 1,2$

### Zona de inundações

Este indicador condiciona a probabilidade de falha no que diz respeito a condicionamentos relativos à humidade proveniente de possíveis inundações. A humidade, ao depositar-se ao longo dos isoladores, encurta as linhas de fuga e cria condições favoráveis ao aparecimento de contornamentos. Também em SEs subterrâneas ou de interior, as inundações podem trazer problemas em termos de eletrificação, isto é, não manobra, disparos intempestivos e problemas com as proteções.

A parametrização (Tabela 4.21) foi concluída com base na avaliação feita pela Proteção Civil, Figura 4.29 retirada de (Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2014).

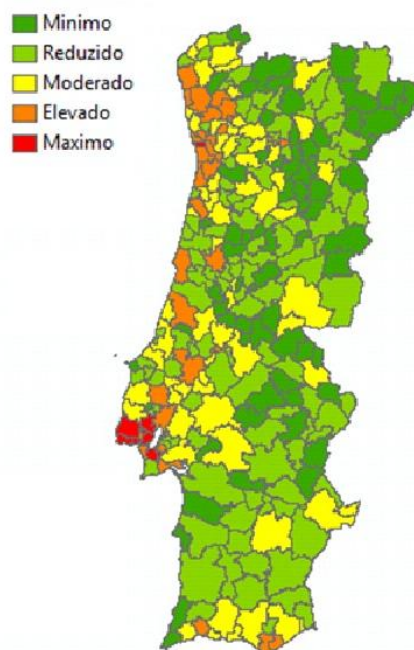


Figura 4.29 - Carta de risco hidrológico (Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2014)

Tabela 4.21 - Parametrização do indicador Inundações

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Inundações	Mínimo	Reduzido	Moderado	Elevado	Máximo

Zona de eventos atmosféricos extremos

Considera-se como eventos atmosféricos extremos os ventos fortes – agente externo admitido no cálculo da probabilidade de falha dadas as vibrações que dele podem ocorrer e os objetos que poderão, sob a sua influência, provocar contactos e/ou danificar o ativo.

Este indicador é nivelado tendo em conta o mapa representado na Figura 4.30 (Protecção Civil, 2014), como demonstra a Tabela 4.22.

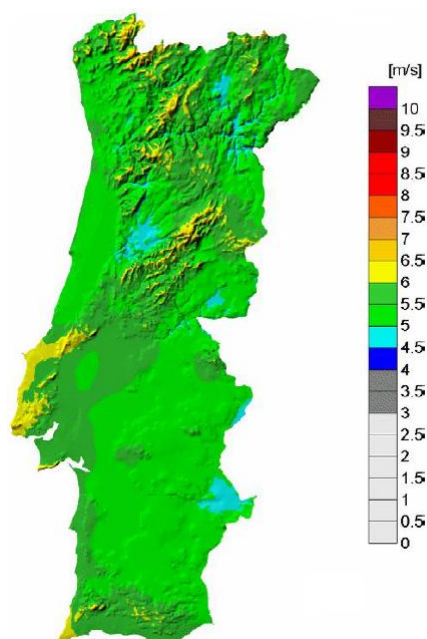


Figura 4.30 - Mapa de distribuição espacial da velocidade do vento (Protecção Civil, 2014)

Tabela 4.22 - Parametrização do indicador zona de eventos atmosféricos extremos

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Eventos atmosféricos extremos (Velocidade do vento)	3 m/s < Velocidade ≤ 5 m/s	5 m/s < Velocidade ≤ 6 m/s	6 m/s < Velocidade ≤ 7 m/s	7 m/s < Velocidade ≤ 8 m/s	Velocidade > 8 m/s

### Temperatura por zonas geográficas

Os extremos de temperatura levam à solidificação dos lubrificantes usados no comando.

Este indicador é analisado do ponto de vista do pior caso de extremos de temperatura, isto é, se uma zona geográfica tem risco moderado para as ondas de calor mas risco elevado para as vagas de frio é considerado o nível elevado (Tabela 4.23).

Estes parâmetros são avaliados em conformidade com os níveis considerados pela Proteção Civil na Figura 4.31, retiradas de (Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2014).

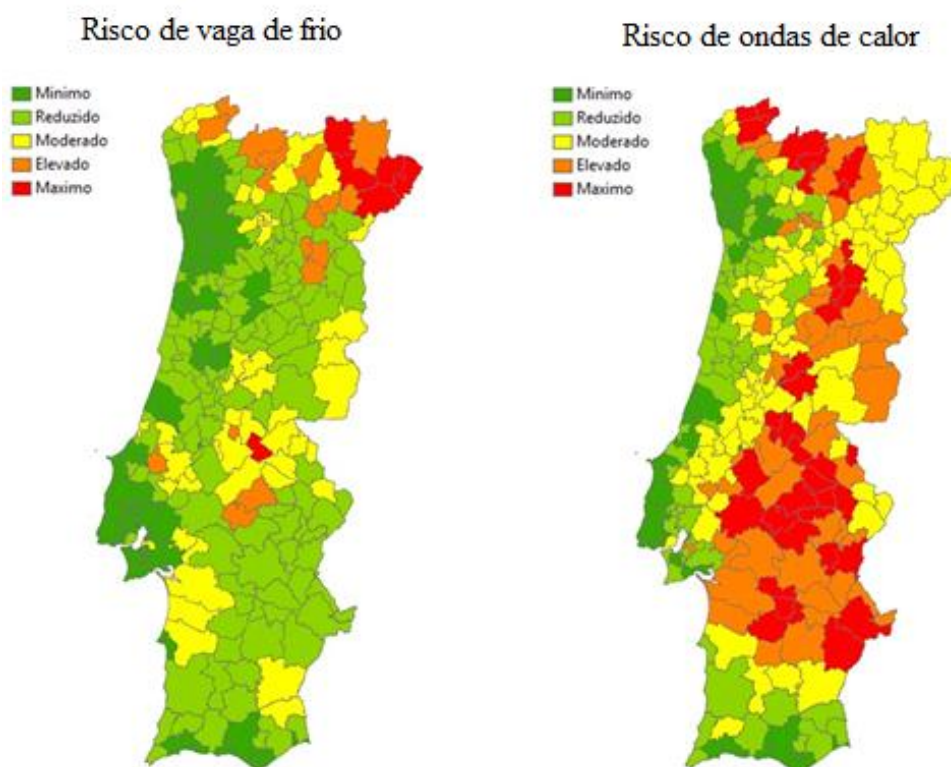


Figura 4.31 - Temperatura por zonas geográficas (Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2014)

Tabela 4.23 - Parametrização do indicador extremo de temperatura

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
<b>Extremos de Temperatura</b>	Mínimo	Reduzido	Moderado	Elevado	Máximo

Existência de objetos acima do disjuntor

A presença destes objetos, como por exemplo um barramento ou um cabo de guarda, dada a sua posição relativamente ao ativo, podem vir a danificar o mesmo em caso de queda originada pela ocorrência de vento ou algum outro fator. A sua caracterização prende-se na existência ou não de objetos acima do ativo (Tabela 4.24).

Tabela 4.24 - Parametrização do indicador existência de objetos acima do disjuntor

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Existência de objectos acima	Não existe				Existe

Poluição

A localização em termos de zona marítima ou com poluição industrial ou combinação de ambas condiciona fortemente a probabilidade de falha, por consequência da deterioração dos isoladores do disjuntor. Considerou-se que a combinação de ambas é a pior situação em termos de probabilidade de falha, seguida da proximidade marítima e por último, mas ainda com influência, se se tratar de uma zona industrial, considerações expostas na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 - Parametrização do indicador tipo de poluição

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Tipo de poluição	Sem poluição	Poluição Industrial	Poluição Marítima - 1 km ≤ dist. marítima ≤ 5 km	Poluição Marítima - < 1 km dist. marítima	Poluição Marítima+Poluição Industrial

Avifauna

A existência de aves na zona geográfica em questão influencia também a probabilidade de falha do disjuntor, por razões semelhantes à poluição. Por sua vez, a sua caracterização é feita pela existência ou não de aves na zona de instalação do disjuntor (Tabela 4.26).

Tabela 4.26 - Parametrização do indicador avifauna

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Avifauna	Sem Aves				Tem aves

### Índice ceráunico

Considerou-se que o índice ceráunico tem influência na probabilidade de falha dos disjuntores, devido à possibilidade de ocorrência de descargas atmosféricas diretas ou devido ao efeito nocivo das sobretensões geradas após a ocorrência de uma descarga atmosférica numa linha da vizinhança das subestações bem como a elevação do potencial de terra. O índice ceráunico surge assim associado ao número de manobras a que o disjuntor pode estar sujeito sob defeito. Quanto mais trovoadas na zona, mais disparos poderão existir.

O índice ceráunico (número de trovoadas por ano) em Portugal continental é parametrizado com os níveis representados na Tabela 4.27, que pode ser caracterizado na realidade pelo mapa da Figura 4.32, utilizado na empresa por cedência do Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

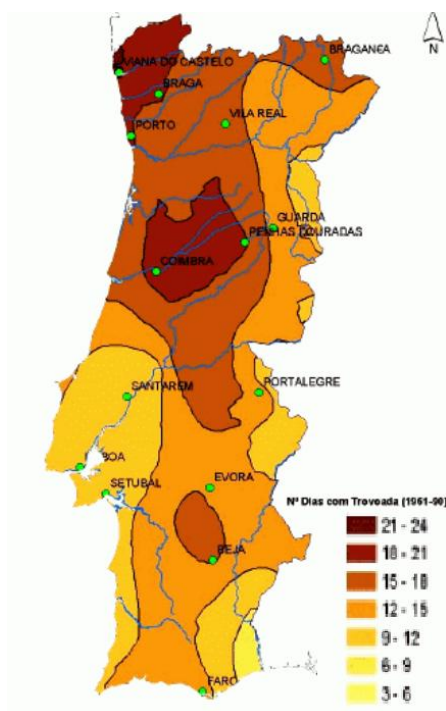


Figura 4.32 - Mapa ceráunico de Portugal continental (IPMA)

Tabela 4.27 - Parametrização do indicador índice ceráunico

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0
Índice Ceráunico	$3 < IC \leq 9$	$9 < IC \leq 15$	$15 < IC \leq 18$	$18 < IC \leq 21$	$21 < IC \leq 24$

Desta forma, como conclusão, a probabilidade de falha de um disjuntor é influenciada por todos os indicadores usados no IS, assim como por alguns agentes externos à sua condição técnica. Isto torna-se claro na Figura 4.33.

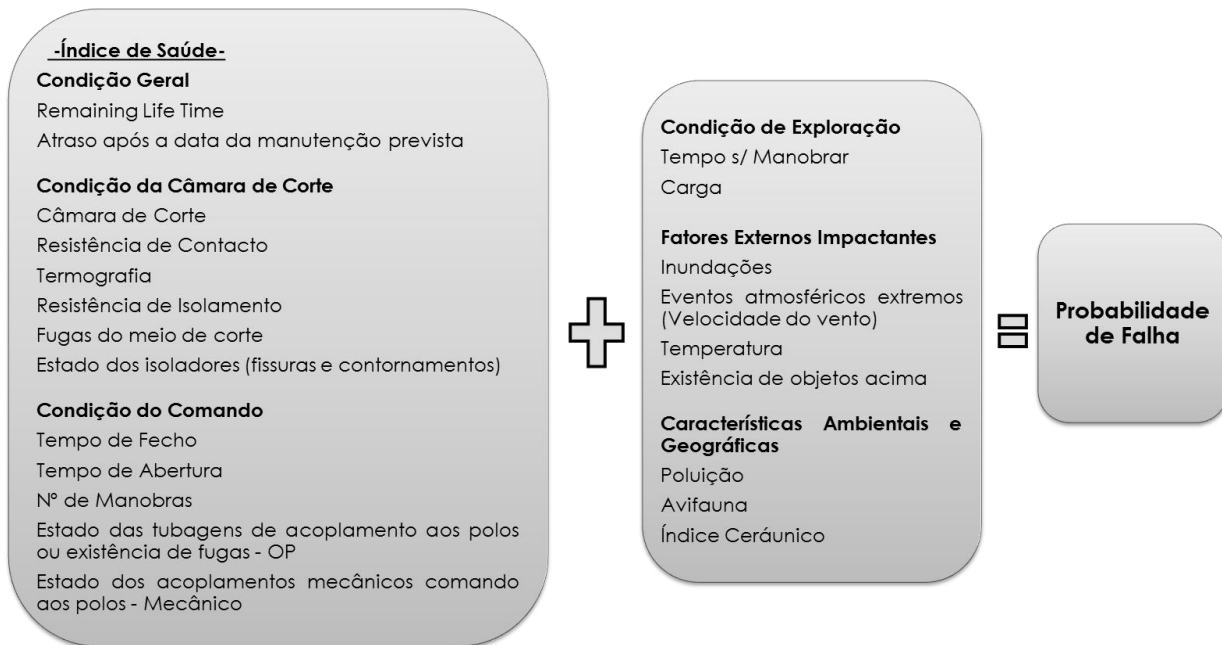


Figura 4.33 - Probabilidade de falha

#### 4.4.2 Etapa 5 - Identificação dos modos de falha

A análise de risco foi realizada com base na metodologia FMECA, sendo feita a análise dos diferentes modos de falha dos disjuntores e dos seus efeitos sobre o sistema.

Partindo do modelo FMECA dos disjuntores desenvolvido pela EDP Distribuição e de documentos do IEEE, identificaram-se três modos de falha cuja abordagem é relevante para o modelo:

- Falha de operação ligar ou/e desligar;
- Rutura do isolamento interno;
- Rutura do isolamento externo.

#### 4.4.3 Etapa 6 - Associação dos indicadores aos modos de falha

A probabilidade de falha está diretamente relacionada com o modo de falha.

Esta etapa do desenvolvimento do modelo prende-se na análise RCA (*Root Cause Analysis*) onde, para cada modo de falha, foram analisadas as causas raiz, isto é, fatores que afetam as

características do ativo e podem levar a uma falha que, por sua vez, levam a cada um dos modos de falha anteriormente identificados.

Tendo acesso ao modelo FMECA dos disjuntores desenvolvido pela EDP Distribuição, analisaram-se as causas raiz relativas a cada modo de falha, ajudando desta forma a identificar quais os indicadores gerais pertencentes ao modelo que têm maior influência para o cálculo final da PoF. Essas causas raiz estão enumeradas nas três tabelas seguintes (Tabela 4.28, Tabela 4.29 e Tabela 4.30), divididas por modo de falha.

A falha de operação ligar e desligar é um modo de falha cujas causas residem essencialmente no comando, tanto a nível mecânico como elétrico. Na Tabela 4.28 pode confirmar-se esse facto.

Tabela 4.28 - Causas raiz para falha operação ligar e desligar (EDP Distribuição)

Modo Falha	Causa Raiz nível 1 (C1)	Causa Raiz nível 2 (C2)
Falha operação ligar/desligar	Anomalia mecânica	Anomalia veios de comando
		Mecanismo manobra danificado / desafinado
		Bielas /manivelas de comando com anomalia
		Mecanismo com fuga de óleo ou com pressão óleo baixa
		Mola comando danificada / desafinada
		Lubrificação comando deficiente (seca ou em excesso)
		Fuga ar comprimido comando
		Fuga óleo comando
		Anomalia nas tubagens de acoplamento
		Defeito fabrico
	Anomalia elétrica	Bloco extraível - microcontactos danificados, desafinados ou avariados
		Bloco extraível - ficha multiterminal danificada /contomada /oxidada
		Bobina ligar queimada /desafinada
		Bobina desligar queimada /desafinada
		Anomalia eletrificação
		Borne deteriorado
		Defeito fabrico

Para o modo de falha rutura do isolamento interno verifica-se que as causas advêm sobretudo da câmara de corte como se confirma na Tabela 4.29.

Tabela 4.29 - Causas raiz para rutura de isolamento interno (EDP Distribuição)

Modo Falha	Causa Raiz nível 1 (C1)	Causa Raiz nível 2 (C2)
Rutura de isolamento interno	Perda de estanqueidade	Fuga ar comprimido polo
		Fuga ar comprimido tubagens
		Fuga óleo polo
		Fuga óleo tubagens
		Fuga SF6 polo
		Fuga SF6 tubagens
		Fuga SF6 pressóstato
		Sobreaquecimento
		Manutenção inadequada
	Defeito fabrico	
	Sobreaquecimento	Defeito interno
		Manutenção inadequada
		Perda características meio isolante
		Resistência contacto elevada
	Curto-circuito	Polos com curto-circuito interno
Anomalia âmpola vácuo		
Polos com circuito interno interrompido		
Resistência de isolamento inadequada		

Já no modo de falha rutura do isolamento externo são consideradas essencialmente causas externas, como seria de presumir.

Tabela 4.30 - Causas raiz para rutura de isolamento externo (EPD Distribuição)

Modo Falha	Causa Raiz nível 1 (C1)	Causa Raiz nível 2 (C2)
Rutura de isolamento externo	Isoladores contornados	Vandalismo
		Perda de características isoladores
		Poluição
	Isoladores partidos	Vandalismo
	Eventos atmosféricos extremos	Ventos fortes
		Inundações
	Hastes descarga deterioradas	Afinação inadequada
		Corrosão
	Poluição	Marítima
		Industrial
		Avifauna

Feita esta análise geral das causas, segue-se a adaptação destes dados nos indicadores considerados no modelo em desenvolvimento para que seja possível fazer o cálculo da PoF.

No contexto do modelo, os indicadores considerados são considerados causas raiz. Desta forma, fez-se a associação dos indicadores de PoF identificados na 4ª Etapa a cada modo de falha identificado na 5ª Etapa.

Para **falha de operação ligar/desligar** os indicadores identificados como relevantes para o cálculo da PoF são os presentes Tabela 4.31.

Tabela 4.31 - Indicadores de falha de operação ligar/desligar

Índice de Saúde	Comando	Remaining Life Time
		Tempo Fecho
		Tempo Abertura
		Nº Manobras
		Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas - OP
		Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos - M
		Atraso após a data da manutenção prevista
	Tempo s/ Manobrar	
	Temperatura	
	Índice Ceráunico	

Indicadores de probabilidade reconhecidos para o modo de falha **rutura do isolamento interno** são os que se seguem (Tabela 4.32):

Tabela 4.32 - Indicadores da rutura do isolamento interno

Índice de Saúde	Câmara	Remaining Life Time
		Câmara de Corte
		Resistência Contacto
		Termografia
		Resistência Isolamento
		Fugas do meio de corte -PVO e SF6
	Comando	Tempo Abertura
		Nº Manobras
		Atraso após a data da manutenção prevista
	Índice Ceráunico	
	Carga	
	Tempo s/ Manobrar	

A **rutura do isolamento externo** relaciona-se com os indicadores das tabelas Tabela 4.33 e Tabela 4.34, caso a instalação seja exterior ou interior:

Tabela 4.33 - Indicadores da rutura do isolamento externo, instalação exterior

Índice de Saúde	Câmara	Remaining Life Time
		Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)
		Atraso após a data da manutenção prevista
	Inundações	
	Eventos atmosféricos extremos (chuva, ventos fortes)	
	Existência de objectos acima	
	Poluição	
	Avifauna	
	Índice Ceráunico	

Tabela 4.34 - Indicadores da rutura do isolamento externo, instalação interior

Índice de Saúde	Câmara	Remaining Life Time
		Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)
		Atraso após a data da manutenção prevista
	Inundações	
	Existência de objectos acima	
	Poluição	
	Índice Ceráunico	

**Nota:** Foi inicialmente idealizada a entrada direta do IS para os modos cujo número de indicadores em comum entre o IS e a PoF fosse elevado. No entanto concluiu-se que, se assim fosse, o valor calculado da PoF seria menos rigoroso do que entrando com todos os fatores individualmente.

#### 4.4.4 Etapa 7 - Ponderações dos indicadores

Considera-se que a influência de cada um destes indicadores na PoF não é igual entre si, nem entre cada modo de falha.

Para espelhar a sua influência relativamente ao cálculo da PoF têm que se obter pesos para os indicadores que servirão para esse efeito, à semelhança do que foi feito na 2ª Etapa, para o IS. Também analogamente ao IS, as ponderações da PoF foram obtidas recorrendo à experiência

dos diversos colaboradores da empresa que foram solicitados a dar o seu contributo nesta decisão.

Para o cálculo das probabilidades de falha consideram-se igualmente indicadores majorantes (fatores com sinalização crítica) em cada modo de falha. Caso algum se encontre parametrizado no nível mais crítico a PoF assume automaticamente um valor percentual bastante elevado, dado pela expressão:

$$1 - Ponderação_{majorante} \quad (10)$$

Vejam, a título de exemplo, o caso do modo de falha rutura de isolamento interno quando um dos indicadores da câmara (que são indicadores majorantes) estiver parametrizado no nível mais crítico. Em caso normal tem um peso de 20% (Figura 4.34) no cálculo da PoF. Quando assinalado com o nível mais crítico, traduz automática e irrevogavelmente uma PoF de, no mínimo, 80% (Figura 4.34 e Figura 4.35).

As ponderações dos outros indicadores, posto isto, são convertidas individualmente de forma proporcional relativamente à sua percentagem normal, garantindo que a soma de todas estas ponderações coincida com a percentagem normal do indicador majorante, como se pode verificar na Figura 4.34 e Figura 4.35.

No final obtém-se uma nova distribuição de pesos mas verifica-se que o seu somatório prevalece com um total de 100%.

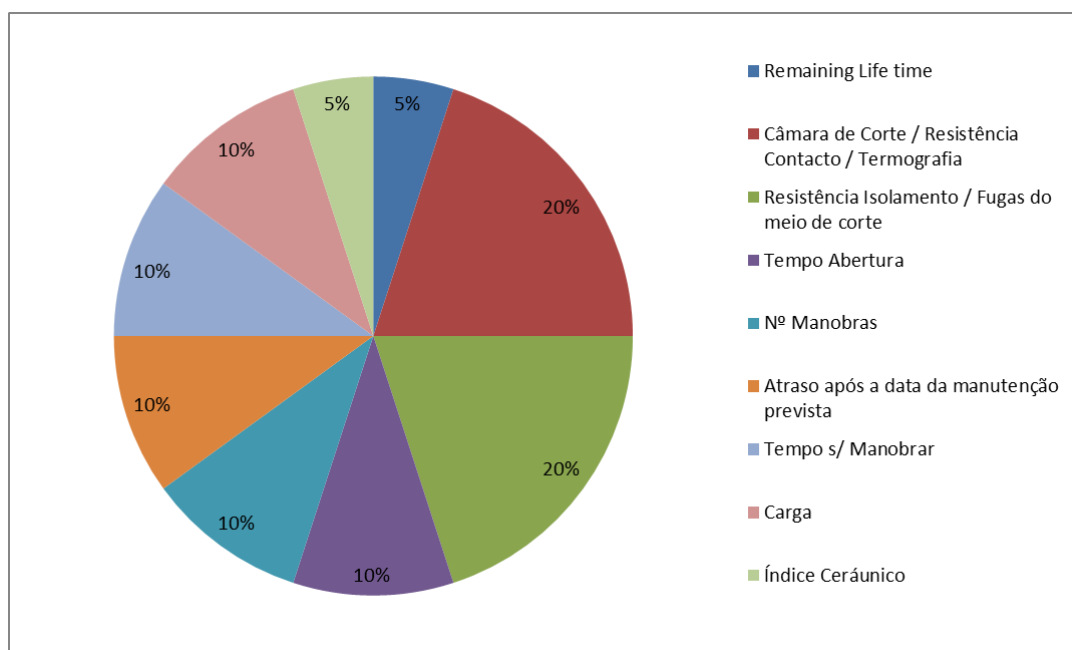


Figura 4.34 - Ponderações sem majorante ativo

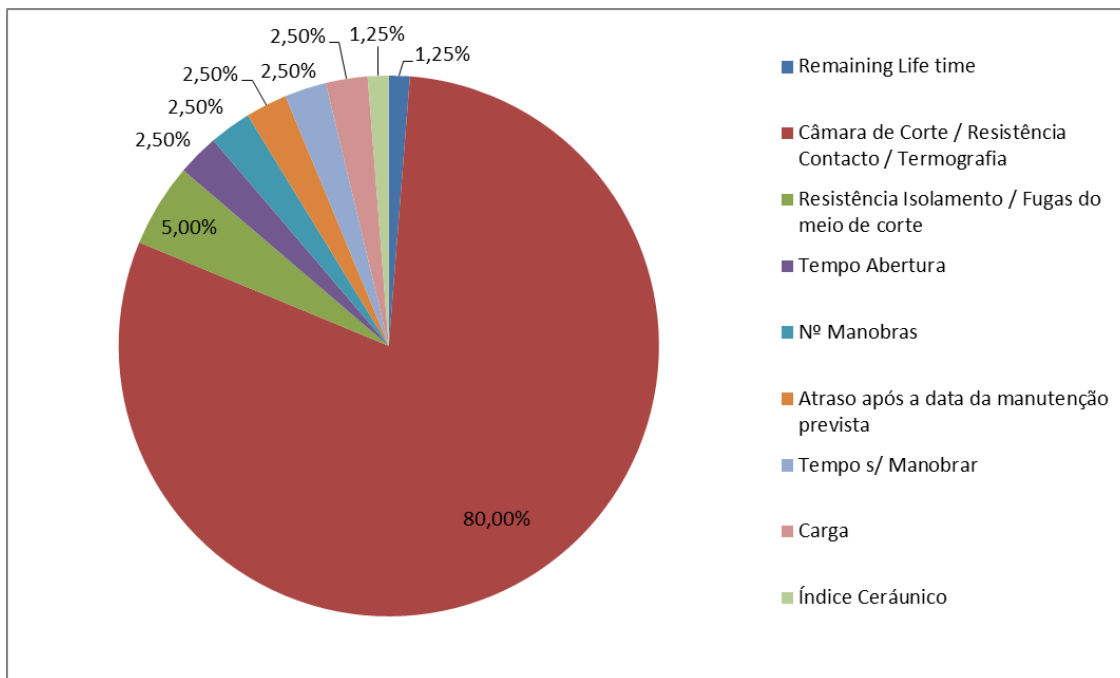


Figura 4.35 - Ponderações quando indicador majorante ativo

#### Falha operação ligar/desligar

Este modo é influenciado por indicadores referentes ao comando. Consideram-se como majorantes, o tempo de fecho, o tempo de abertura, o atraso após a data da manutenção prevista e o tempo sem manobrar (todos com uma ponderação individual de 17,5%). Para este modo, quando um dos indicadores identificados com fator majorante se encontrar em nível crítico, a PoF passa automaticamente para 82,5%, reduzindo os outros indicadores proporcionalmente a percentagens que fará um total de 17,5%, como se pode observar na Tabela 4.35.

Tabela 4.35 - Indicadores usados para o cálculo da PoF do modo falha operação ligar/desligar, respetivos parâmetros e ponderação

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0	Ponderações	
Comando	Remaining Life Time	20 Anos < RLT ≤ 30 Anos	10 Anos < RLT ≤ 20 Anos	5 Anos < RLT ≤ 10 Anos	0 Anos < RLT ≤ 5 Anos	RLT ≤ 0 Anos	10,0%
	Tempo Fecho	TF ref <sup>a</sup> ≥ TF	TF ref <sup>a</sup> < TF ≤ TF ref <sup>a</sup> × 1,3	TF ref <sup>a</sup> × 1,3 < TF ≤ TF ref <sup>a</sup> × 1,6	TF ref <sup>a</sup> × 1,6 < TF ≤ TF ref <sup>a</sup> × 1,8	TF > TF ref <sup>a</sup> × 1,8	17,5%
	Tempo Abertura	TA ref <sup>a</sup> ≥ TA	TA ref <sup>a</sup> < TA ≤ TA ref <sup>a</sup> × 1,3	TA ref <sup>a</sup> × 1,3 < TA ≤ TA ref <sup>a</sup> × 1,6	TA ref <sup>a</sup> × 1,6 ≤ TA ≤ 180ms	180 ms < TA ≤ 200 ms	17,5%
	Nº Manobras	NM ≤ NM ref <sup>a</sup> × 0,25	NM ref <sup>a</sup> × 0,25 < NM ≤ NM ref <sup>a</sup> × 0,5	NM ref <sup>a</sup> × 0,5 < NM ≤ NM ref <sup>a</sup> × 0,75	NM ref <sup>a</sup> × 0,75 < NM ≤ NM ref <sup>a</sup>	NM > NM ref <sup>a</sup>	5,0%
	Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas - OP	Bom Estado		Razoável ou algumas fugas		Mau Estado ou com fugas	10,0%
	Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos - M	Bom Estado		Razoável		Mau Estado	
	Atraso após a data da manutenção prevista	Sem atraso	1 Mês < Atraso ≤ 6 Meses	6 Meses < Atraso ≤ 1 Ano	1 Ano < Atraso ≤ 3 Anos	Atraso > 3 Anos	17,5%
	Tempo s/ Manobrar	Tsm ≤ 4 Meses	4 Meses < Tsm ≤ 8 Meses	8 Meses < Tsm ≤ 12 Meses	12 Meses < Tsm ≤ 16 Meses	Tsm > 16 Meses	17,5%
	Temperatura	Mínimo	Reduzido	Moderado	Elevado	Máximo	2,5%
	Índice Cerâmico	< 6	Entre 6 e 11	Entre 11 e 16	Entre 16 e 21	> 21	2,5%

Índice de Saúde

### Rutura do isolamento interno

Aos indicadores de probabilidade listados neste modo de falha, foi dado maior peso (sendo estes identificados com o fator majorante) a todos os fatores ligados à câmara de corte com 40% (cada grupo com 20%). A Tabela 4.36 mostra com detalhe todas as ponderações atribuídas para este modo. Quando o majorante se encontrar ativo, a PoF atinge automaticamente 80% à qual se juntam os resultados da influência dos outros fatores.

Tabela 4.36 - Indicadores usados para o cálculo da PoF do modo rutura de isolamento interno, respetivos parâmetros e ponderação

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0	Ponderações	
Remaining Life Time	20 Anos < RLT ≤ 30 Anos	10 Anos < RLT ≤ 20 Anos	5 Anos < RLT ≤ 10 Anos	0 Anos < RLT ≤ 5 Anos	RLT ≤ 0 Anos	5,0%	
Câmara	Câmara de Corte	Ok			Somatório Potências Cortadas ≥ limite máximo	20,0%	
	Resistência Contacto	RC ≤ 100 μΩ	100μΩ < RC ≤ 250 μΩ	250μΩ < RC ≤ 400 μΩ	400μΩ < RC ≤ 550 μΩ		RC > 550 μΩ
	Termografia	PQ=0	Class(C) = 1	2 ≤ Class(C) ≤ 3	Class(B) ≥ 1 ou Class(C) ≥ 4		Class(A) ≥ 1
	Resistência Isolamento	RI ≥ 1 G Ω				RI < 1 G Ω	20,0%
Fugas do meio de corte -PVO e SF6	Nenhuma			Alarme	Abaixo do nível mínimo		
Convento	Tempo Abertura	TA ref <sup>a</sup> ≥ TA	TA ref <sup>a</sup> < TA ≤ TA ref <sup>a</sup> * 1,3	TA ref <sup>a</sup> * 1,3 < TA ≤ TA ref <sup>a</sup> * 1,6	TA ref <sup>a</sup> * 1,6 ≤ TA ≤ 180ms	180 ms < TA ≤ 200 ms	10,0%
	Nº Manobras	NM ≤ NM ref <sup>a</sup> * 0,25	NM ref <sup>a</sup> * 0,25 < NM ≤ NM ref <sup>a</sup> * 0,5	NM ref <sup>a</sup> * 0,5 < NM ≤ NM ref <sup>a</sup> * 0,75	NM ref <sup>a</sup> * 0,75 < NM ≤ NM ref <sup>a</sup>	NM > NM ref <sup>a</sup>	10,0%
	Atraso após a data da manutenção prevista	Sem atraso	1 Mês < Atraso ≤ 6 Meses	6 Meses < Atraso ≤ 1 Ano	1 Ano < Atraso ≤ 3 Anos	Atraso > 3 Anos	10,0%
	Carga	Si/Sn ≤ 0,6	0,6 < Si/Sn ≤ 0,8	0,8 > Si/Sn ≤ 1	1 > Si/Sn ≤ 1,2	Si/Sn > 1,2	10,0%
	Tempo s/ Manobrar	Tsm ≤ 4 Meses	4 Meses < Tsm ≤ 8 Meses	8 Meses < Tsm ≤ 12 Meses	12 Meses < Tsm ≤ 16 Meses	Tsm > 16 Meses	5,0%
	Índice Cerâmico	< 6	Entre 6 e 11	Entre 11 e 16	Entre 16 e 21	>21	10,0%

### Rutura do isolamento externo

Para a rutura do isolamento externo tem de ser feita uma análise paralela relativamente à instalação seleccionada, sendo que quando um disjuntor está acomodado no interior não sofre influência de alguns agentes externos como aconteceria se estivesse instalado no exterior. Para ambas as instalações existem três majorantes, avaliados com o mesmo valor. No entanto, os indicadores “eventos atmosféricos extremos” e a “avifauna” são fatores que não podem entrar para o modelo caso o disjuntor em análise esteja alojado no interior. Por este efeito a distribuição de pesos é diferente para os dois casos.

A distribuição para as duas situações é a demonstrada na Tabela 4.37.

Tabela 4.37 - Indicadores usados para o cálculo da PoF do modo rutura de isolamento externo, respetivos parâmetros e ponderação

	Nível 4	Nível 3	Nível 2	Nível 1	Nível 0	Exterior	Interior
Remaining Life Time	20 Anos < RLT ≤ 30 Anos	10 Anos < RLT ≤ 20 Anos	5 Anos < RLT ≤ 10 Anos	0 Anos < RLT ≤ 5 Anos	RLT ≤ 0 Anos	10,0%	12,5%
Câmara	Estado dos Isoladores (fissuras e contornamentos)	Nenhumas /Aplicado o SI-COAT	Algumas Fissuras		Multas Fissuras	20,0%	20,0%
	Atraso após a data da manutenção prevista	Sem atraso	1 Mês < Atraso ≤ 6 Meses	6 Meses < Atraso ≤ 1 Ano	1 Ano < Atraso ≤ 3 Anos	Atraso > 3 Anos	20,0%
Inundações	Mínimo	Reduzido	Moderado	Elevado	Máximo	5,0%	7,5%
Eventos atmosféricos extremos	3 m/s < Velocidade ≤ 5 m/s	5 m/s < Velocidade ≤ 6 m/s	6 m/s < Velocidade ≤ 7 m/s	7 m/s < Velocidade ≤ 8 m/s	Velocidade > 8 m/s	10,0%	
Existência de objectos adma	Não existe				Existe	5,0%	7,5%
Poluição	Sem poluição	Poluição Industrial	Poluição Marítima - 1 km ≤ dist. marítima ≤ 5 km	Poluição Marítima - < 1 km dist. marítima	Poluição Marítima+ Poluição Industrial	20,0%	20,0%
Avifauna	Sem Aves				Tem aves		
Índice Ceráunico	3 < IC ≤ 9	9 < IC ≤ 15	15 < IC ≤ 18	18 < IC ≤ 21	21 < IC ≤ 24	10,0%	12,5%

#### 4.4.5 Etapa 8 - Cálculo da probabilidade de falha

Após a identificação dos indicadores significativos e a respetiva atribuição das ponderações, passou-se à elaboração do modelo para o cálculo da PoF de um disjuntor.

A PoF de cada modo é calculada de forma similar com o IS, isto é:

$$PoF_{modo\ de\ falha} = \frac{\sum_f (Nível_f \times Ponderação_f)}{4 \times \sum_f (Ponderação_f)} \quad (11)$$

Para efeitos de análise de risco tem que se avaliar individualmente os resultados da PoF de cada modo de falha, pois cada uma terá consequências diferentes. Todavia, para o cálculo da fiabilidade a probabilidade de falha do disjuntor é a probabilidade maior dos três modos de falha, Como está representado na Tabela 4.38.

Tabela 4.38 - Exemplo da determinação da PoF do disjuntor

Modos Falha	Probabilidade de Falha
Falha operação ligar/desligar	42,50%
Rutura de isolamento interno	35,00%
Rutura de isolamento externo	23,75%

Probabilidade de Falha	42,50%
Fiabilidade	57,50%

Sendo a fiabilidade,  $R$ , o complementar da PoF, a partir da equação (5) o seu cálculo é feito da seguinte forma:

$$R = 1 - PoF \quad (12)$$

A fiabilidade será desta forma sempre decrescente com o tempo, pois a probabilidade do disjuntor não falhar tende a diminuir de acordo com a taxa de utilização.

## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 5.1 Análise da Fiabilidade pela Árvore de Fiabilidade

O Método de Análise da Árvore de Fiabilidade foi o método escolhido para a análise de resultados. Permite além de facilitar a análise da fiabilidade de sistemas, fazer o relacionamento causa-efeito (weibull.com). É um modelo gráfico que possibilita fazer previsões de eventos indesejáveis, baseado em árvores de fiabilidade, através de um sistema de caminhos. A metodologia vale-se de um conjunto de portas lógicas que reproduz a resposta dos ativos em função do comportamento das entradas. São relacionadas fiabilidades numéricas que se difundem ao longo da árvore.

O valor final traduzido por uma árvore será devidamente ajustado a uma escala de 1 a 5 que permitirá que seja efetuada uma análise do risco e se proceda a intervenções mitigadoras do mesmo.

#### 5.1.1 Análise do risco

A análise de risco é o processo de avaliar em que medida é que um certo evento é ou não aceitável para uma organização, e determinar qual o impacto ou consequência, caso se assuma ou não o risco do evento vir a acontecer. Para esse efeito, surgiu a matriz de risco, que é a representação gráfica desse processo. A matriz de risco corporativa desenvolvida pela EDP encontra-se estruturada com a configuração representada na Figura 5.1.

A principal função da matriz de risco é permitir caracterizar o nível de risco a partir da probabilidade de falha e da severidade das consequências provenientes dessas falhas.

Com um indicador de risco proveniente da matriz, pode-se hierarquizar as intervenções a efetuar nos disjuntores e otimizar os recursos.

Valores do Negócio	Impactos					Frequência				
	Indicadores					Período Médio entre Ocorrências (em anos)				
						muito elevados (1 ≤ P ≤ 5)	elevados (1 ≤ P ≤ 5)	médios (2 ≤ P ≤ 1)	baixos (5 ≤ P ≤ 2)	muito baixos (5 ≤ P)
					5	4	3	2	1	
Nível de Severidade	5 muito crítico					I1	I2	I4	M5	M1
	4 crítico					I3	I5	M6	M2	A10
	3 significado alto					I6	M7	M3	A9	A6
	2 significado médio					M8	M4	A8	A5	A3
	1 significado baixo					A11	A7	A4	A2	A1

Figura 5.1 - Matriz de risco corporativa da EDP

Esta matriz encontra-se dividida em três zonas de risco: admissível, moderada e inadmissível. Como o nome indica, na zona de risco admissível aparecem os riscos que podem ser tolerados pela empresa. Na zona de risco inadmissível os riscos são intoleráveis e têm, obrigatoriamente, de ser mitigados de forma imediata. Já a zona de risco moderado, é a zona intermédia da matriz, onde tem sempre de ser feita uma análise custo-benefício da implementação de medidas atenuadoras.

## 5.2 Estudo de caso

A análise de resultados é o culminar de todo o processo e visa averiguar a veracidade e coesão do modelo, mostrando a sua utilidade perante casos práticos. O modelo desenvolvido foi testado com casos reais da empresa mas, por uma questão de confidencialidade, estes não podem ser expostos. Desta forma, as análises que se seguem foram executadas recorrendo a dados criados hipoteticamente.

O estudo efetuado engloba quatro cenários distintos que relatam possíveis condições do estado de um disjuntor. A recolha das suas informações (físicas e geográficas), quando aplicadas ao modelo desenvolvido, permite que este devolva resultados que, aplicados a uma árvore de fiabilidade, irão demonstrar a influência do estado atual do disjuntor na fiabilidade total de uma SE. O esquema da Figura 5.2 (com maior definição no Anexo E) representa a árvore de fiabilidade com a configuração de uma SE Tipo que foi construída com o intuito de servir de suporte ao estudo de caso.

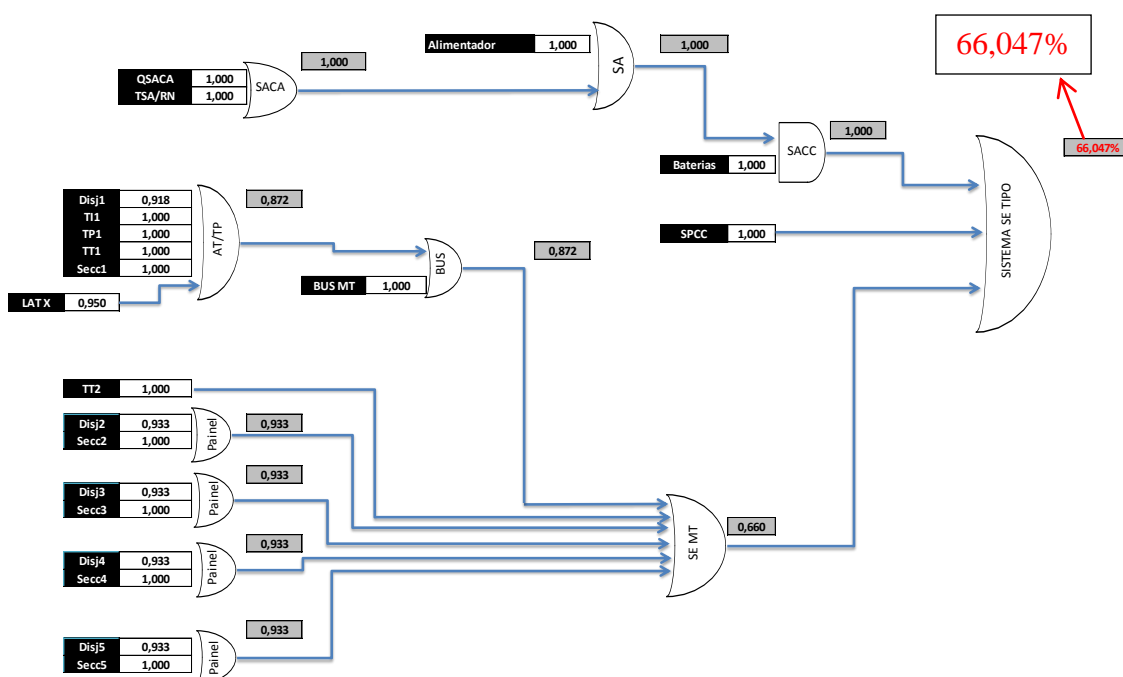


Figura 5.2 - Árvore de fiabilidade de SE Tipo

Os valores representados na árvore servirão de base de análise para inferir os efeitos que a alteração na fiabilidade de apenas um disjuntor provoca na totalidade do sistema. Assumiu-se para todos os ativos constituintes da SE, à exceção dos disjuntores, o valor ótimo de fiabilidade (100%). Aos disjuntores, por representarem o ativo alvo do modelo, foram atribuídas fiabilidades mais próximas da realidade física aquando da sua instalação (disjuntores AT com 91,8% e disjuntores MT com 93,3% de fiabilidade), esperando demonstrar também a influência destes ativos na fiabilidade de uma SE.

### 5.2.1 Cenário 1

Este cenário, representado pela Figura 5.3, incide sobre um disjuntor AT, Disj1, que apresenta sinais de desgaste físico provavelmente resultantes do seu extenso tempo de vida útil sem que tenha sido efetuada qualquer intervenção de reabilitação.

Os indicadores mais críticos que condicionam o estado deste disjuntor são o RLT e a resistência de contacto.

Características Técnicas	Seleção
Marca	SIEMENS
Modelo	3AP1FI-72,5kV
Comando	Mecânico
Tipo de Disjuntor	SF6
Tipo de Instalação	Exterior

Condição Geral	Seleção
Ano de Fabrico	1985
Ano de Reabilitação (caso exista)	
Atraso após a data da manutenção prevista	1 Mês < Atraso ≤ 6 Meses

Condição da Câmara de Corte	Seleção
Câmara de Corte	Ok
Resistência Contato	RC > 550 μΩ
Termografia	Class(C) = 1
Resistência Isolamento	RI ≥ 1 G Ω
Fugas do meio de corte	Nenhuma
Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)	Nenhumas/Aplicado o Si-COAT

Condição do Comando	Seleção
Tempo Fecho	75ms < TF ≤ 97,5ms
Tempo Abertura	37ms ≥ TA
Nº Manobras	NM ≤ 2500
Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos	Bom estado

Condição de Exploração	Seleção
Tempo s/ Manobrar	4 Meses < Tsm ≤ 8 Meses
Carga	Si/Sn ≤ 0,6

Fatores Externos Impactantes	Seleção
Inundações	Elevado
Eventos atmosféricos extremos (Velocidade do vento)	5 m/s < Velocidade ≤ 6 m/s
Temperatura	Reduzido
Existência de objetos acima	Não existe

## Análise de Resultados

Características Ambientais e Geográficas	Seleção
Tipo de poluição	Sem poluição
Avifauna	Sem Aves
Índice Cerâmico	21 < IC ≤ 24

### Cálculo Índice de Saúde e Probabilidade de Falha

Índice de Saúde	0,00%
-----------------	-------

Modos Falha	Probabilidade de Falha
Falha operação ligar/desligar	26,25%
Rutura de isolamento interno	83,75%
Rutura de isolamento externo	31,25%
Probabilidade de Falha	83,75%
Fiabilidade	16,25%

Figura 5.3 - Cenário 1

Visto a resistência de contacto se encontrar no último nível, o IS é automaticamente nulo e a sua probabilidade de falha maior dá-se na rutura de isolamento interno (justificado pela resistência de contacto ser majorante neste modo de falha) com um resultado de 83,75% e que se traduz numa fiabilidade do ativo de 16,25%.

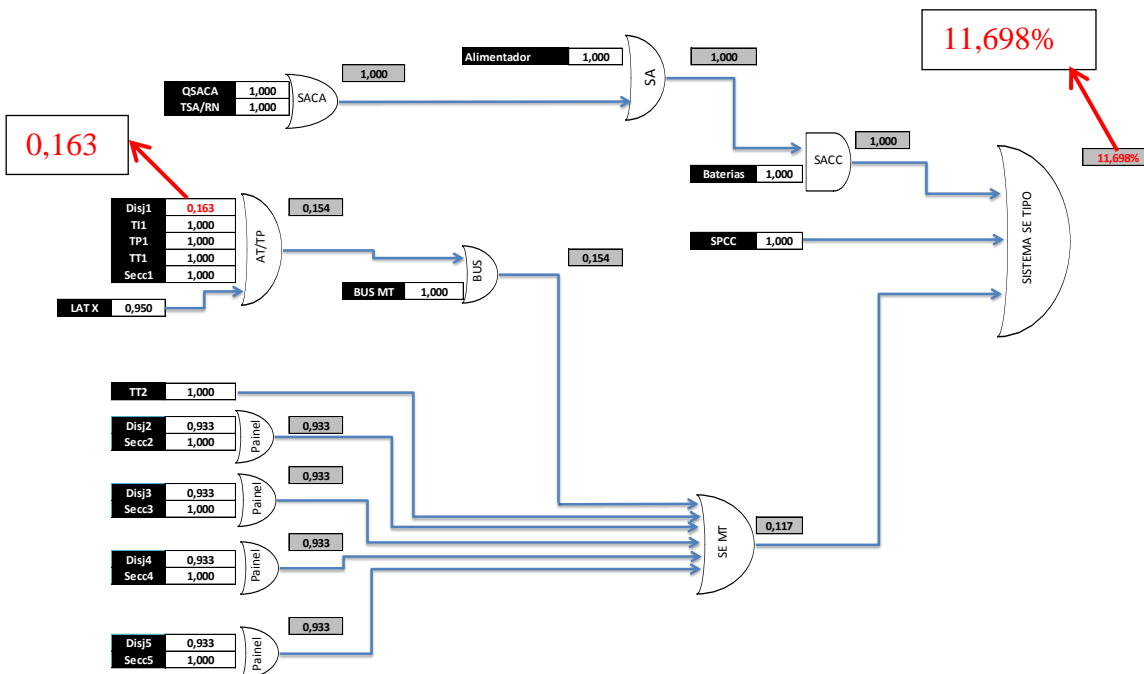


Figura 5.4 - Árvore de fiabilidade Cenário 1

A fiabilidade do sistema, como se pode verificar na Figura 5.4, assume um valor excessivamente baixo, perfeitamente justificado pelo estado crítico do disjuntor, isto é, a sua falha iminente traduz automaticamente a falha de toda a SE.

Após a obtenção do valor da fiabilidade da SE, pode-se proceder à análise do risco recorrendo à matriz de risco da EDP.

Nível de Severidade	Valores do Negócio	Impactos				Frequência				
		Indicadores				Período Médio entre Ocorrências (em anos)				
						ótimo	ótimo	médio	baixo	baixo
						(10+10)	(10+10)	(20+10)	(10+10)	(10)
					5	4	3	2	1	
5 muito crítico						I1	I2	I4	M5	M1
4 crítico						I3	I5	M6	M2	A10
3 significativo alto						I6	M7	M3	A9	A6
2 significativo médio						M8	M4	A8	A5	A3
1 significativo baixo						A11	A7	A4	A2	A1

Figura 5.5 - Matriz de risco para cenário 1

Por motivos de confidencialidade da empresa, no que diz respeito aos impactos, terá de ser omitido todo o processo de determinação da consequência.

Confrontando a probabilidade calculada anteriormente com as potenciais consequências que podem advir em caso de falha, obtém-se um risco no nível I3, considerado inadmissível (Figura 5.5).

Como forma de mitigar o risco e com vista o aumento da fiabilidade de todo o sistema, pode recorrer-se a medidas de redução da probabilidade de falha, atuando antes de esta acontecer, realizando:

- ação de reabilitação do ativo dado o seu tempo de vida restante estimado ser de apenas 1 ano, calculado recorrendo à equação (6);
- substituição do ativo, caso a ação de reabilitação não traduza uma boa relação de custo-benefício;
- plano de contingência, que permite atuar rapidamente quando o evento de risco atinge dimensões fora do habitual.

Pode também atuar-se do ponto de vista da consequência, de forma a reduzir o impacto de uma falha depois de esta ocorrer. A medida prevista para este caso passa por:

- alteração do sistema (criação de redundância), através da instalação de um novo barramento aliado a um novo Transformador de Potência como se pode verificar na Figura 5.6.



Características Técnicas	Seleção
Marca	EFACEC
Modelo	DIVAC1716B
Comando	Mecânico
Tipo de Disjuntor	Vácuo
Tipo de Instalação	Interior

Condição Geral	Seleção
Ano de Fabrico	2009
Ano de Reabilitação (caso exista)	
Atraso após a data da manutenção prevista	6 Meses < Atraso ≤ 1 Ano

Condição da Câmara de Corte	Seleção
Câmara de Corte	Ok
Resistência Contato	$100 \mu\Omega < RC \leq 250 \mu\Omega$
Termografia	PQ = 0
Resistência Isolamento	$RI \geq 1 G \Omega$
Fugas do meio de corte	
Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)	Nenhumas/Aplicado o Si-COAT

Condição do Comando	Seleção
Tempo Fecho	$30ms < TF \leq 39ms$
Tempo Abertura	$55ms \geq TA$
Nº Manobras	$NM \leq 7500$
Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos	Bom Estado

Condição de Exploração	Seleção
Tempo s/ Manobrar	$Tsm \leq 4 \text{ Meses}$
Carga	$Si/Sn \leq 0,6$

Fatores Externos Impactantes	Seleção
Inundações	Elevado
Eventos atmosféricos extremos (Velocidade do vento)	
Temperatura	Reduzido
Existência de objetos acima	Não existe

Características Ambientais e Geográficas	Seleção
Tipo de poluição	Sem poluição
Avifauna	
Índice Cerâmico	$21 < IC \leq 24$

#### Cálculo Índice de Saúde e Probabilidade de Falha

Índice de Saúde	88,13%
-----------------	--------

Modos Falha	Probabilidade de Falha
Falha operação ligar/desligar	16,25%
Rutura de isolamento interno	15,00%
Rutura de isolamento externo	15,63%
Probabilidade de Falha	16,25%
Fiabilidade	83,75%

Figura 5.7 - Cenário 2

O modelo revela uma fiabilidade de 83,75% para o Disj3 o que se prevê que, introduzido na SE Tipo, resulte numa fiabilidade total do sistema próxima do valor base, como se pode analisar na Figura 5.8.

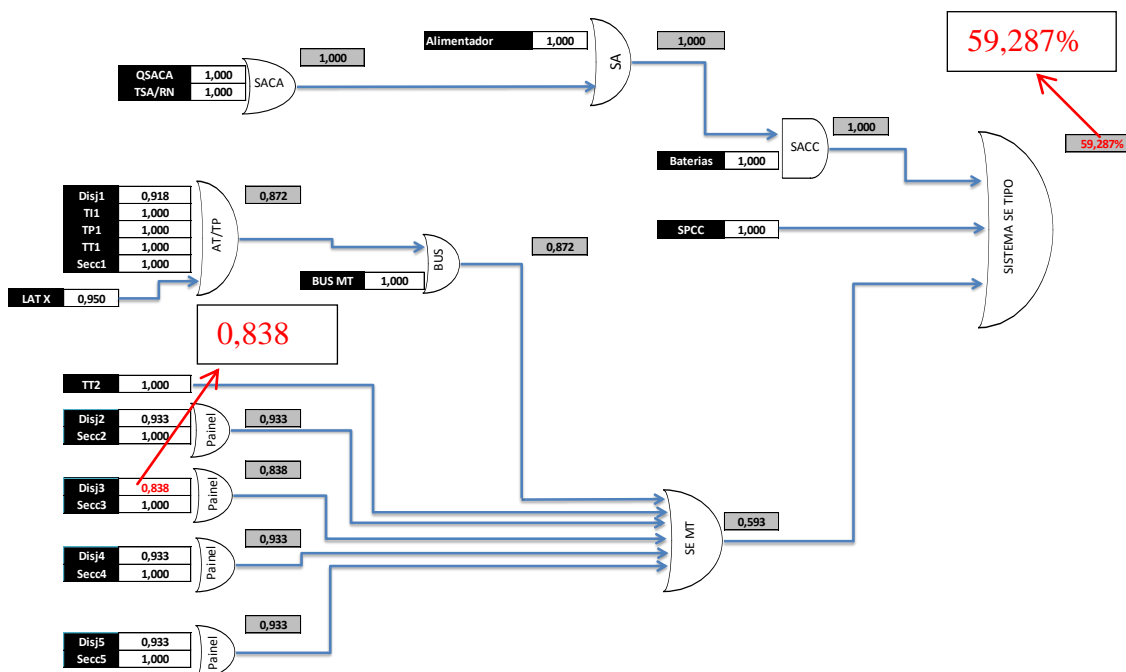


Figura 5.8 - Árvore de fiabilidade Cenário 2

Em comparação com o valor de fiabilidade nas condições bases admitidas para o caso de estudo (Figura 5.2), pode constatar-se que este cenário apresenta uma leve quebra na fiabilidade total do sistema, explicado pela também ligeira queda na fiabilidade do Disj3 relativamente ao valor de base. No entanto, este valor de 59,287% representa um valor de fiabilidade bastante aceitável.

Sendo impossível atingir uma fiabilidade muito alta numa SE devido à tipologia do esquema unifilar (Painel Linha - TP), vista a quantidade de ativos que a constituem estarem todos interligados entre si bem como as suas fiabilidades, deve haver uma preocupação contínua para alcançar a máxima fiabilidade exequível. Tendo em conta a limitação de recursos económicos disponíveis, os investimentos na segurança e diminuição do risco têm de ser analisados considerando sempre as outras necessidades, e fazer um estudo de prioridades.

Valores do Negócio	Impactos					Frequência				
	Indicadores					Período Médio entre Ocorrências (em anos)				
						Muito elevada (0,1-0,5)	elevada (0,6-1,0)	mEdm (1,1-1,5)	baixa (1,6-2,0)	Muito baixa (2,1-5)
					5	4	3	2	1	
Nível de Severidade	5 muito crítica					I1	I2	I4	M5	M1
	4 crítica					I3	I5	M6	M2	A10
	3 significativa alta					I6	M7	M3	A9	A6
	2 significativa média					M8	M4	<b>A8</b>	A5	A3
	1 significativa baixa					A11	A7	A4	A2	A1

Figura 5.9 - Matriz de risco para cenário 2

Visto o índice de risco ser considerado admissível, A8 (Figura 5.9), as únicas medidas de mitigação de risco propostas seriam ações de manutenção preventiva sistemática, mantendo a mesma periodicidade, monitorizando a evolução da condição do ativo, com ciclo de melhoria contínua para efetuar novos cálculos dos IS.

### 5.2.3 Cenário 3

Mais uma vez se estuda a condição do Disj3 que apresenta, desta vez, valores que exigem alguma preocupação do ponto de vista do comando, Figura 5.10.

Os fatores mais críticos da condição deste disjuntor são o tempo de fecho, o tempo de abertura e o tempo sem manobrar.

## Análise de Resultados

Características Técnicas	Seleção
Marca	ABB
Modelo	SFE 17.08.25
Comando	Mecânico
Tipo de Disjuntor	Vácuo
Tipo de Instalação	Interior

Condição Geral	Seleção
Ano de Fabrico	1981
Ano de Reabilitação (caso exista)	2002
Atraso após a data da manutenção prevista	1 Mês < Atraso ≤ 6 Meses

Condição da Câmara de Corte	Seleção
Câmara de Corte	Ok
Resistência Contato	RC ≤ 100 μΩ
Termografia	PQ = 0
Resistência Isolamento	RI ≥ 1 G Ω
Fugas do meio de corte	
Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)	Nenhumas/Aplicado o Si-COAT

Condição do Comando	Seleção
Tempo Fecho	80ms < TF ≤ 90ms
Tempo Abertura	112ms < TA ≤ 180ms
Nº Manobras	NM ≤ 7500
Estado dos acoplamentos mecânicos comando aos polos	Bom Estado

Condição de Exploração	Seleção
Tempo s/ Manobrar	8 Meses < Tsm ≤ 12 Meses
Carga	Si/Sn ≤ 0,6

Fatores Externos Impactantes	Seleção
Inundações	Elevado
Eventos atmosféricos extremos (Velocidade do vento)	
Temperatura	Reduzido
Existência de objetos acima	Não existe

Características Ambientais e Geográficas	Seleção
Tipo de poluição	Sem poluição
Avifauna	
Índice Cerâmico	21 < IC ≤ 24

### Cálculo Índice de Saúde e Probabilidade de Falha

Índice de Saúde	80,00%
-----------------	--------

Modos Falha	Probabilidade de Falha
Falha operação ligar/desligar	45,00%
Rutura de isolamento interno	21,25%
Rutura de isolamento externo	13,75%
Probabilidade de Falha	45,00%
Fiabilidade	55,00%

Figura 5.10 - Cenário 3

Muito tempo sem manobrar pode agravar os encraves no comando e isso pode levar a que os tempos de fecho e abertura se aproximem do nível crítico. A coligação destes fatores resulta numa PoF do ativo de 45 pontos percentuais pelo modo de falha da operação ligar/desligar. Este valor exprime, por sua vez, uma fiabilidade do ativo de 55%.

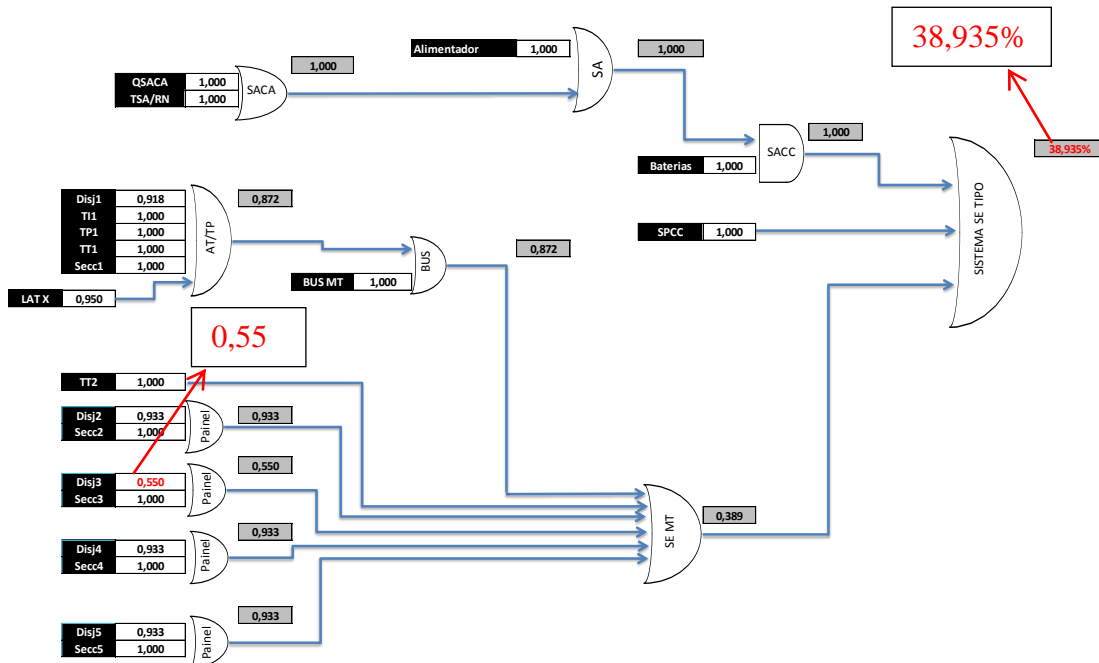


Figura 5.11 - Árvore de fiabilidade Cenário 3

Como seria de esperar a fiabilidade do sistema desce para quase metade do seu valor base, 38,935%, como se pode verificar na Figura 5.11.

Após a recolha de toda a informação e confronto com a matriz de risco, verifica-se pela análise da Figura 5.12, que a SE Tipo, com o Disj3 no estado previamente exposto, se encontra num nível de risco moderado, M7.

Valores do Negócio	Impactos				Frequência				
	Indicadores	I1	I2	I3	Período Médio entre Ocorrências (em anos)				
					alto (1-3)	interm. (3-5)	baixo (5-10)	baixo (10-20)	alto (20-50)
				5	4	3	2	1	
Nível de Severidade	5 muito crítica				I1	I2	I4	M5	M1
	4 crítica				I3	I5	M6	M2	A10
	3 significante alta				I6	<b>M7</b>	M3	A9	A6
	2 significante média				M8	M4	A8	A5	A3
	1 significante baixa				A11	A7	A4	A2	A1

Figura 5.12 - Matriz de risco para cenário 3

Neste nível de risco é necessário ser feita uma análise custo-benefício da implementação de medidas atenuadoras e escolher a solução com menor risco por importância investida. Para isso é importante saber quais são as medidas que podem ser realizadas para o efeito. Pode-se recorrer então a medidas de redução da probabilidade de falha, realizando:

- substituição do ativo, visto já ter sido feito anteriormente uma ação de reabilitação;
- ação de beneficiação, garantindo que o disjuntor possa executar a sua função de forma correta ao longo do resto da sua vida útil.

#### 5.2.4 Cenário 4

Neste cenário representado pela Figura 5.13, o foco situa-se no disjuntor AT, Disj1, que utiliza óleo como meio de corte e que se encontra no exterior, estando exposto a condições externas severas.

Naturalmente os fatores mais decisivos da condição do disjuntor são de ordem ambiental podendo, desta forma, interferir na condição física do ativo.

Características Técnicas	Seleção
Marca	EFACEC
Modelo	HPGE9-12E
Comando	Óleo- Pneumático
Tipo de Disjuntor	PVO
Tipo de Instalação	Exterior

Condição Geral	Seleção
Ano de Fabrico	1997
Ano de Reabilitação (caso exista)	
Atraso após a data da manutenção prevista	6 Meses < Atraso ≤ 1 Ano

Condição da Câmara de Corte	Seleção
Câmara de Corte	Ok
Resistência Contato	$100 \mu\Omega < RC \leq 250 \mu\Omega$
Termografia	PQ = 0
Resistência Isolamento	$RI \geq 1 G \Omega$
Fugas do meio de corte	Nenhuma
Estado dos isoladores (fissuras e contornamentos)	Algumas Fissuras

Condição do Comando	Seleção
Tempo Fecho	$180ms < TF \leq 234ms$
Tempo Abertura	$50ms \geq TA$
Nº Manobras	$NM \leq 500$
Estado das tubagens de acoplamento aos polos ou existência de fugas	Bom Estado

Condição de Exploração	Seleção
Tempo s/ Manobrar	$4 Meses < Tsm \leq 8 Meses$
Carga	$SI/Sn \leq 0,6$

Fatores Externos Impactantes	Seleção
Inundações	Máximo
Eventos atmosféricos extremos (Velocidade do vento)	$6 m/s < Velocidade \leq 7 m/s$
Temperatura	Mínimo
Existência de objetos acima	Não existe

Características Ambientais e Geográficas	Seleção
Tipo de poluição	Poluição Marítima - 1 km ≤ dist. marítima ≤ 5 km
Avifauna	Sem Aves
Índice Cerâmico	9 < IC ≤ 15

**Cálculo Índice de Saúde e Probabilidade de Falha**

Índice de Saúde	74,38%
-----------------	--------

Modos Falha	Probabilidade de Falha
Falha operação ligar/desligar	20,63%
Rutura de isolamento interno	15,00%
Rutura de isolamento externo	45,00%
Probabilidade de Falha	45,00%
Fiabilidade	55,00%

Figura 5.13 - Cenário 4

As adversidades a que o disjuntor em causa se encontra exposto revelam problemas no que toca ao isolamento externo, sendo a rutura deste o modo de falha com maior potencialidade de ocorrer, com uma probabilidade de 45%.

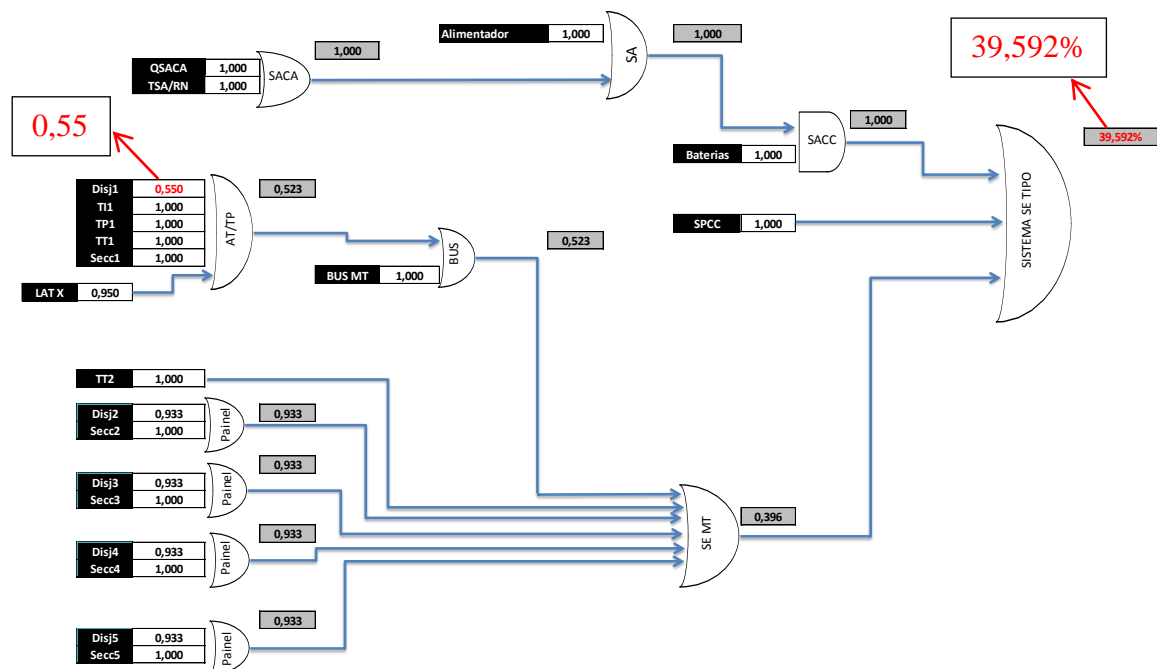


Figura 5.14 - Árvore de fiabilidade Cenário 4

Embora o valor calculado para o ativo seja igual ao do cenário anterior, a fiabilidade total não assume o mesmo valor pois são disjuntores instalados em localizações diferentes da SE. Neste caso a fiabilidade da SE é de 39,592%, obtido na árvore da Figura 5.14.

Expostos os fatores que contribuem para a baixa fiabilidade do sistema, é de prever que esta apresente grande potencial para diminuir ainda mais o seu valor com o tempo.

Feita a análise de risco, pela matriz obteve-se um risco inadmissível, I5 (Figura 5.15). Desta forma, assume primazia a necessidade especial de atenção relativamente às medidas de mitigação para o aumento dos riscos já existentes ou o aparecimento de outros novos.

Valores do Megaleto	Impactos					Frequência				
	Indicadores					Período Médio entre Ocorrências (em anos)				
						alta	elevada	média	baixa	multi-baixa
						(1x+3)	(2x+3)	(3x+3)	(4x+3)	(5x+3)
					3	4	3	2	1	
Nível de Severidade	5 muito crítica					I1	I2	I4	M5	M1
	4 crítica					I3	I5	M6	M2	A10
	3 significativa alta					I6	M7	M3	A9	A6
	2 significativa média					M8	M4	A8	A5	A3
	1 significativa baixa					A11	A7	A4	A2	A1

Figura 5.15 - Matriz de risco para cenário 4

Assim, para este cenário existe a possibilidade de mitigação do risco tanto pela redução da consequência como pela redução da probabilidade de falha.

Do lado da probabilidade, e tendo também em conta a localização do ativo no exterior, podem ser efetuadas intervenções como:

- aplicação de silicone RTV para redução da debilidade dos isoladores;
- reforço na manutenção (limpeza);
- substituição do ativo, por se tratar de um disjuntor já obsoleto.

Pode também atuar-se do ponto de vista da consequência com:

- alteração do sistema (criação de redundância), através da instalação de um novo barramento aliado a um novo Transformador de Potência como se pode verificar na Figura 5.16.



## Análise de Resultados

Neste contexto, uma análise de risco é realizado com objetivo de avaliar de que forma é que um certo evento é ou não aceitável para a empresa e com que medidas se pode atuar para tratar determinado evento.

Fica assim esclarecida qual a melhor forma de intervir num disjuntor e quando o fazer estabelecendo constantemente prioridades nas intervenções de manutenção a efetuar a estes ativos com base na gravidade do risco de falha a eles associados.

## **6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**

Neste último capítulo serão apresentadas as principais conclusões relativas ao trabalho desenvolvido, bem como as propostas para trabalhos a realizar no futuro.

### **6.1 Conclusões**

O presente estágio teve como principal objetivo a construção de um modelo de cálculo do Índice de Saúde e de Probabilidade de Falha dos disjuntores AT e MT.

Para se proceder ao estudo pormenorizado da questão foram inúmeras as temáticas abordadas para que o produto final resultasse num modelo consistente. Contudo, tanto pelas diversas características subjacentes aos disjuntores, como pela diversidade de situações que foi necessário considerar, ou mesmo pela dependência do conhecimento de alguns colaboradores para algumas etapas da construção do modelo, não foi um processo de fácil concretização. No entanto este trabalho concluiu-se com sucesso, facto confirmado no capítulo destinado a análise de resultados, onde se pode verificar a abrangência de situações que podem ser consideradas no modelo e a coerência de todo o processo até ao resultado final.

Note-se no entanto, que não se pretende com este modelo obter um valor absolutamente real que mostre todos os problemas inerentes ao ativo, mas simplesmente calcular valores que se aproximem da realidade do estado físico do disjuntor, assim como a probabilidade deste falhar. Pressupõe-se que a utilização do modelo possa obter resultados que identifiquem e justifiquem quando e como se deve atuar em cada ativo individualmente, procurando desta forma o compromisso entre o desempenho, os custos e os riscos de modo a maximizar o contributo positivo da manutenção para a rentabilidade geral da EDP Distribuição.

Finalizando, e tendo em conta os factos mencionados, estima-se que a implementação deste modelo se reflita numa diminuição da ocorrência de alguns dos modos de falha, melhorando assim o desempenho e disponibilidade do sistema, resultando simultaneamente na otimização de recursos com a possível priorização de intervenções e investimentos.

### **6.2 Sugestões para trabalhos futuros**

A limitação deste modelo é o facto de se ter considerado apenas situações em que os indicadores têm, entre si, influências independentes no cálculo do IS e na PoF. Isto é, existem indicadores que associados, num contexto real, seja qual for a sua parametrização individual, evidenciam maior influência no estado físico do disjuntor assim como na probabilidade deste falhar. No entanto, este método não foi implementado no decorrer do presente estágio, dada a sua exigência temporal pela diversidade de combinações possíveis.

Como trabalhos futuros e com vista a elevar o grau de precisão do modelo, propõe-se uma análise cuidada dos indicadores que podem estabelecer esta relação de causa-efeito, associando ponderações à combinação dos mesmos. Este método funcionaria desta forma como um *Add-on*, complementando o modelo já criado e tornando-o apto para lidar com situações mais complexas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, R. (2004). *Apoio à Decisão em Gestão de Manutenção: Fiabilidade e Manutenibilidade*. Editora LIDEL.
- Autoridade Nacional de Protecção Civil. (2014). Obtido em 2 de Junho de 2014, de <http://www.proteccaocivil.pt/RiscosVulnerabilidades/Pages/CartografiadeRisco.aspx>
- Barbosa, F. M. (2013). *Introdução à Fiabilidade de Sistemas Eléctricos de Energia*. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- BSI. (2008). *Asset management: PAS 55-1, Part 1*. England.
- Choonhapran, P. (2007). *Applications of High Voltage Circuit-Breakers*. Darmstadt, Germany: Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Technischen Universität Darmstadt.
- DELLE. (s.d.). *Comandos Oleopneumáticos- Tipo OP*.
- DMN - MNPC. (2012). *Gestão de Ativos no âmbito da BSI PAS 55:2008, Piloto de implementação na AO STB*. Lisboa: EDP.
- EDP. (2014). Obtido em 2014 de Junho de 2014, de [http://relatorioanualedp.com.br/edp\\_no\\_mundo](http://relatorioanualedp.com.br/edp_no_mundo)
- EDP Distribuição. (2011). Obtido em 21 de Junho de 2014, de <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/edpDistribuicao/Pages/aEDPDistribuicao.aspx>
- EFACEC. (s.d.). *Comandos por Molas, Tipos CLR-CLRM-CLRME, Notícia Descritiva de Montagem e Conservação, NDMC 7410 MT*.
- EFACEC. (s.d.). *Disjuntores DIFLU-SF6, Comando por Molas, Notícia Descritiva de Montagem e Conservação, MT 82350*.
- EFACEC. (s.d.). *Disjuntores Ortojectores Pequeno Volume de Óleo - Média Tensão até 24kV – Para Interior*.
- EFACEC. (s.d.). *Disjuntores Ortojectores, Série HL Pequeno Volume de Óleo Média Tensão até 24kV - Para interior*.
- EFACEC. (s.d.). *Divac - Disjuntores a Vácuo até 24kV 2500A 25kV*.
- ENGEMAN. (17 de Julho de 2013). Obtido em 11 de Março de 2014, de <http://engeman.com.br/pt-br/artigos-tecnicos/manutencao-centrada-na-confiabilidade/>
- Farinha, J. m. (1997). *Manutenção das Instalações e Equipamentos Hospitalares*. Coimbra: Minerva.
- Farinha, J. M. (2011). *Manutenção - A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão*. Lisboa: MONITOR.
- Flurscheim, C. H. (1975). *Power circuit breaker theory and design*. England: IEE Institution of Electrical Engineers.

- Garzon, R. (2002). *High Voltage Circuit Breakers – Design and Applications*, 2ª Edição. Nova York: Marcel Dekker.
- Hjartarson T., K. I. (2004). Health Indices for Substation Asset Condition Assessment. *EDIST Conference*. Ontario, Canada.
- Hughes, D. (2003). The use of “Health Indices” to determine end of life and estimate remnant life for distribution assets,. *17th International Conference on Electricity Distribution (CIRED)*. United Kingdom.
- IEEE. (2000). *IEEE Guide for the Selection of Monitoring for Circuit Breakers*. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Kema. (2010). Porquê PAS 55 na EDP Distribuição.
- Lindquist, T. (2005). *On reliability modeling of ageing equipment in electric power systems with regard to the effect of maintenance. Tese de Licenciatura*. Stockholm: KTH Electrical Engineering.
- Naderian A., C. S. (2008). An Approach to Determine the Health Index of Power. *IEEE*. Toronto.
- NASA HQ. (2000). *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT*. Obtido em 2014 de Julho de 25, de <http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/Assets/Docs/RCMGuideMar2000.pdf>
- NP EN 13306:2007 Terminologia da Manutenção. (s.d.).
- Palombo, C. (May-June de 2005). Eight steps to optimize your strategic assets. *Power and Energy Magazine, IEEE, vol.3, no.3*, pp. 46- 54.
- Protecção Civil. (Janeiro de 2014). Obtido em 26 de Junho de 2014, de <http://www.proteccaocivil.pt/RiscosVulnerabilidades/Documents/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20Nacional%20de%20Risco.pdf>
- Shahidehpour, M., & Ferrero, R. (2005). Time management for assets: chronological strategies for power system asset management. *Power and Energy Magazine, IEEE, vol.3, no.3*, pp. 32- 38.
- Steenbergen, B. (2007). *Investment planning for network companies*. Amsterdam: University of Twente.
- Toronto Hydro-Electric System Limited e Kinectrics Inc. (2010). *Asset Condition Assessment Audit. Report No: K-015466-RA-0001-R01*. Toronto: Kinectrics.
- Viseu, T. A. (2008). Manual de Formação SAP-PM, Versão nº 2 . Portugal: EDP Distribuição DMN.
- weibull.com*. (s.d.). Obtido em 7 de Junho de 2014, de <http://www.weibull.com/basics/fault-tree/>
- Woodhouse Partnership Ltd. (2014). *Standards for Asset Management ISO 55000*. Obtido em 2014 de Julho de 27, de <http://www.assetmanagementstandards.com/>

## **ANEXO A: CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO COMANDO MECÂNICO**

Relativamente ao seu funcionamento, tendo em consideração a Figura 4.5 (pág. 26), a ligação e abertura do disjuntor são estabelecidas por rotação do veio de saída (1).

Para executar a manobra de fecho será necessário o rearme prévio das molas de fecho.

Quando a manobra de ligação está terminada a mola fica sem tensão, sendo necessário rearmá-la para uma nova manobra. Este rearme é feito pela rotação do veio de ligar (7) que arrasta uma corrente (6) fixada à extremidade da roda dentada (9). No fim da rotação, quando a extensão máxima da mola é atingida, a roda de rearme é encravada pelo linguete (23), que bloqueia a came (24). A roda de rearme tem na sua parte inferior uma came que aciona, no fim do rearme:

- o comando mecânico do indicador da posição da mola de ligar;
- o comando do interruptor que provoca:
  - o corte dos circuitos de alimentação do motor;
  - o fecho do circuito da bobina de ligar.

A rotação da roda de rearme é assegurada por uma corrente que engrena no veio do comando. Este pode ser acionado manual ou automaticamente.

A abertura é feita pela mola (8), que faz rodar a alavanca (27) juntamente com o veio (1) (EFACEC).



## **ANEXO B: CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO COMANDO OP**

Tecnicamente, as manobras deste tipo de comando são executadas por meio elétrico, excitando os eletroímãs de abertura (14) e fecho (13) (referências retiradas da Figura 4.7 e Figura 4.9, pág. 27). São os núcleos destes eletroímãs que atuam sobre as válvulas que provocam o funcionamento hidráulico do comando.

Quando aberto, o comando deve ter o respetivo acumulador à pressão máxima, estando assim preparado para a manobra de fecho. Não há débito de óleo, logo a bomba (9) não deve funcionar.

Para se proceder à manobra de fecho, logo que o eletroímã de fecho (13) é excitado abre a válvula do fecho. A pressão do óleo exerce-se então sobre a válvula (39) que, abrindo-a, põe o acumulador (1) em comunicação com a câmara cilíndrica (40) que fica em pressão. Fica livre a passagem do acumulador (1) para a conduta de alta pressão (44) existente entre o comando e o disjuntor. Uma vez posta em pressão, a válvula anti-retorno (46), existente no macaco (47) que está montado no polo do disjuntor, é aberta, o que faz deslocar o êmbolo (48) do macaco que por sua vez aciona o mecanismo do disjuntor.

Logo que o eletroímã de fecho cessa de ser alimentado, as válvulas (38) e (39) fecham. Deixa de haver comunicação entre o acumulador (1) e a câmara (40), através das válvulas. A câmara é mantida à pressão do acumulador pela existência da conduta de autoalimentação (50). O êmbolo continua na mesma posição o que mantém a válvula aberta e portanto em pressão a conduta de alta pressão.

Após o fecho, por ter havido consumo de óleo, diminuiu o volume ocupado por este acumulador o que aumentou em quantidade igual o volume de azoto por deslocamento do respetivo êmbolo. O êmbolo do pressostato (10) vai então deslocar-se para nova posição de equilíbrio. Se a pressão baixou para menos de um certo valor, é atuado o microcontacto (24) que liga o circuito do motor (26) da bomba (9). Esta introduz então o óleo no acumulador através da válvula anti-retorno (52) o que faz subir a pressão. Atingindo um determinado valor, que é superior ao maior valor que faz arrancar a bomba, o pressostato abre o microcontacto (24) e a bomba irá parar.

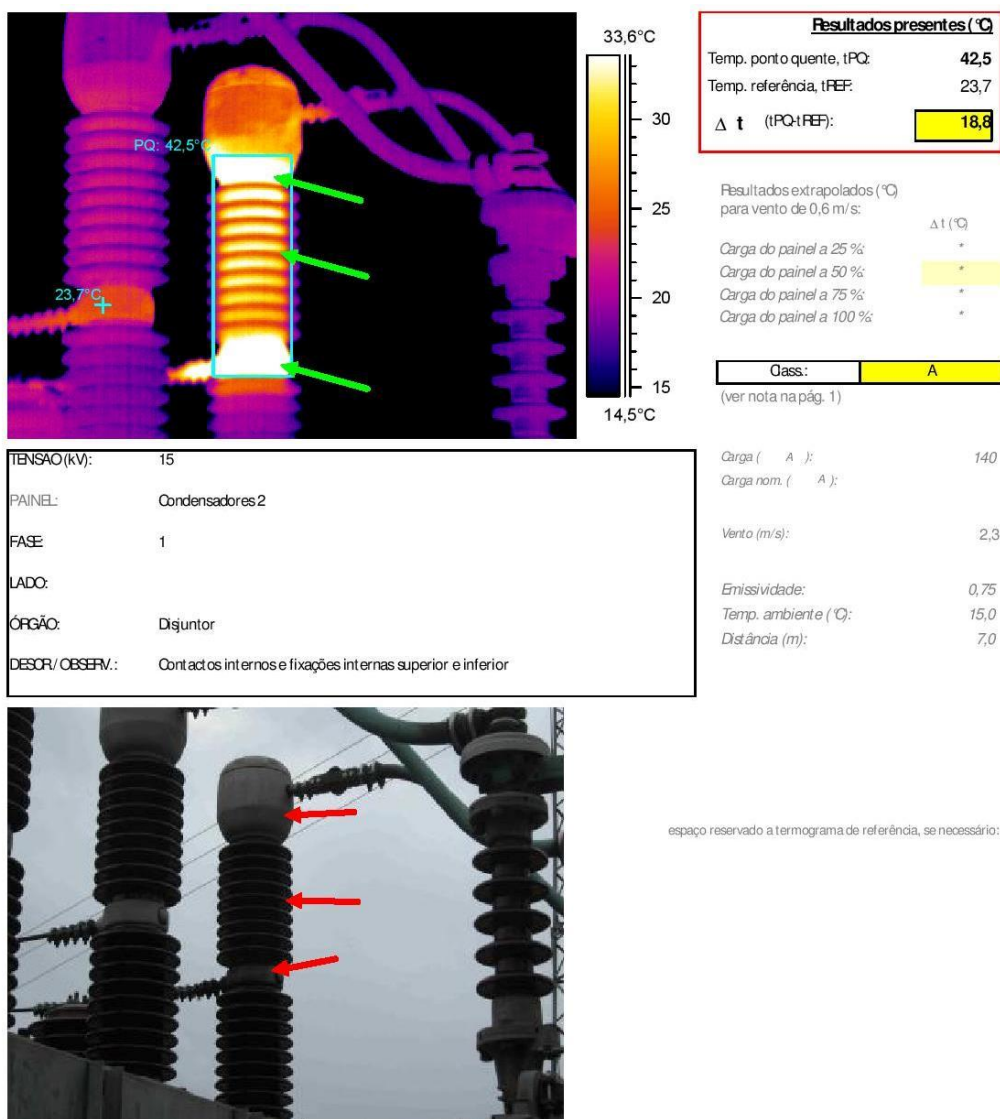
Quando solicitada a abertura, a excitação do eletroímã de abertura (14) leva o seu núcleo a atuar sobre a válvula existente na câmara (40), o que coloca esta em comunicação com a atmosfera. Como a conduta de autoalimentação (50) inclui um libertador de débito (55) que provoca uma perda de carga, não impede que a mola que está a exercer esforço sobre o êmbolo (41) o desloque. A válvula (43) fecha-se cortando a comunicação entre o acumulador e a conduta de alta pressão. Fica então aberta a válvula de carga rápida (42) que estabelece para esta conduta uma saída para a cuba à pressão atmosférica. Sem pressão na conduta a válvula (46) fecha-se. O disjuntor abre rapidamente, sendo o óleo contido no cilindro do

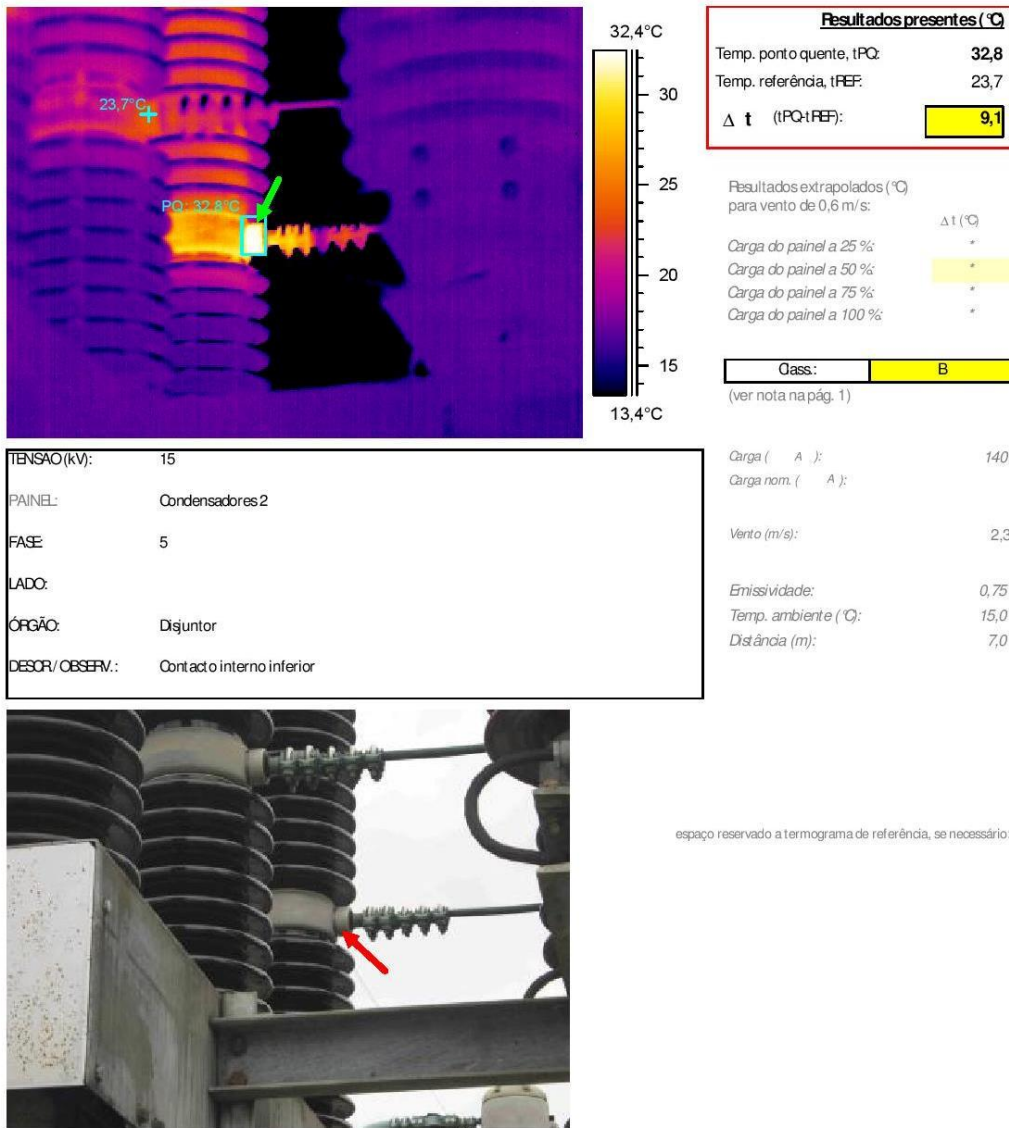
macaco introduzido num pequeno depósito ou alimentador (57). Logo que o disjuntor complete a abertura o êmbolo do macaco para, deixa o óleo de ser comprimido e a válvula, por efeito da respetiva mola, corta a passagem do óleo.

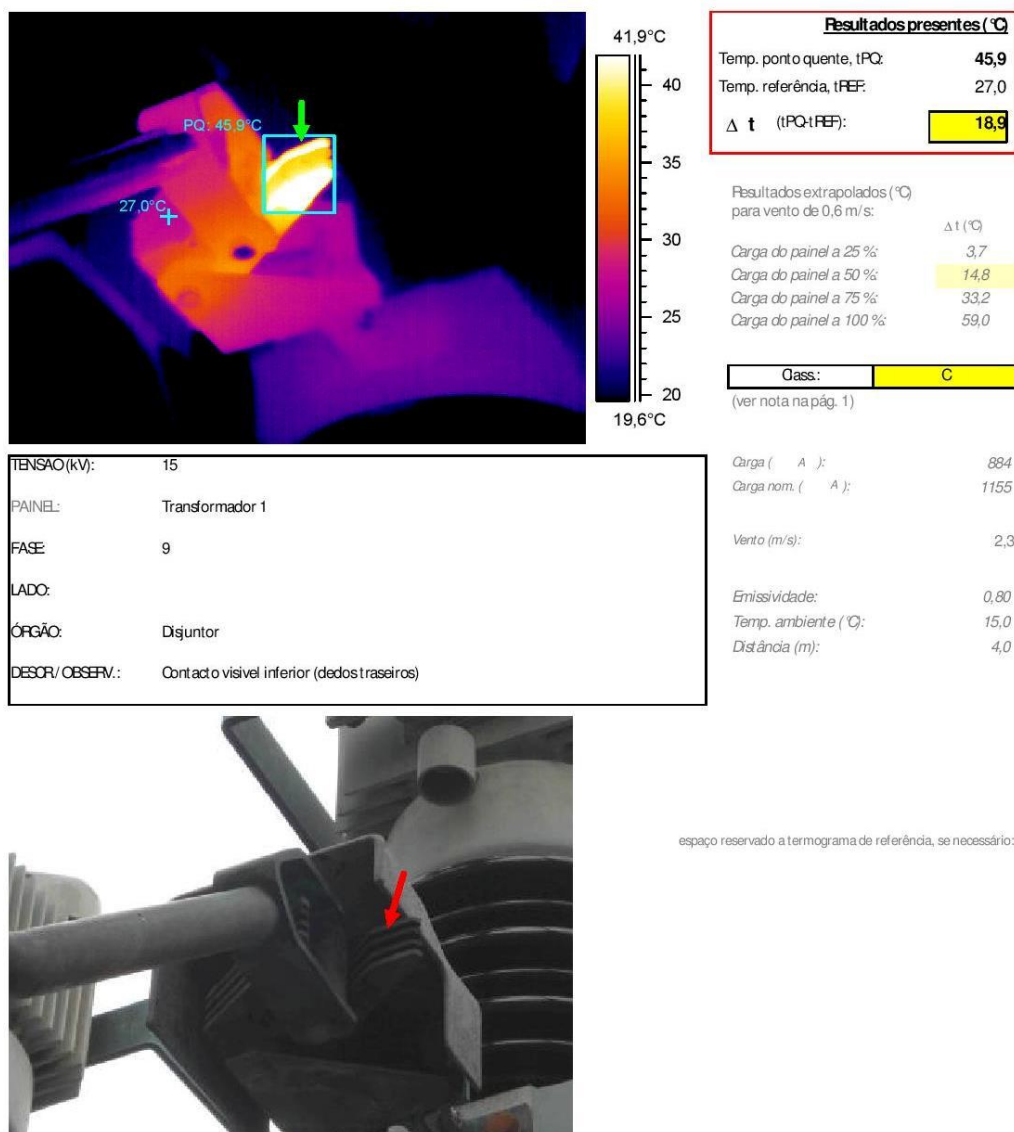
Após uma abertura, convém que a conduta de alta pressão (44) não fique vazia de óleo pois isso implicaria que, no fecho seguinte, houvesse certa perda de tempo e maior débito de óleo em pressão para enchimento desse vazio. Para que isso não suceda é intercalada na conduta de alta pressão uma válvula de retenção comandada. Esta válvula permite o movimento do óleo nos dois sentidos por efeito da diferença das pressões existentes em cada um dos lados (DELLE).

## ANEXO C: FICHA DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA - CLASS C, B E A

Este tipo de ensaios tem como objetivo a deteção de sobreaquecimentos em ativos, com vista à sua manutenção. Na análise de resultados é determinada a classificação (CLASS) e recomenda-se: reparação imediata dos sobreaquecimentos classificados com A; inspeção a curto prazo dos sobreaquecimentos classificados com B; ou inspeção a médio prazo dos sobreaquecimentos classificados com C.







### Dados Labelc:

I: corrente ou carga no órgão

Inom: corrente nominal ou carga nominal (carga máxima admissível atribuída ao órgão ou painel)

tPQ: temperatura do ponto quente

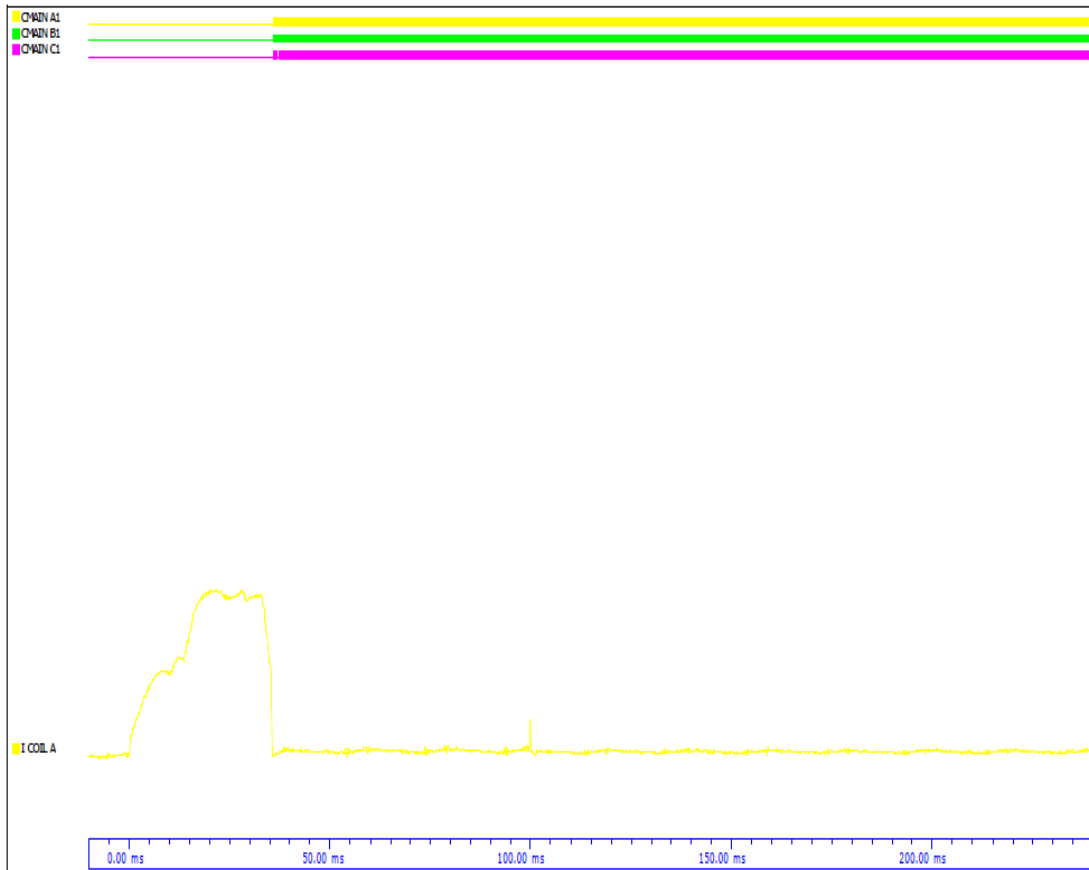
tREF: temperatura de referência (em órgão semelhante, sem anomalias e em condições idênticas)

V: velocidade do vento (m/s)

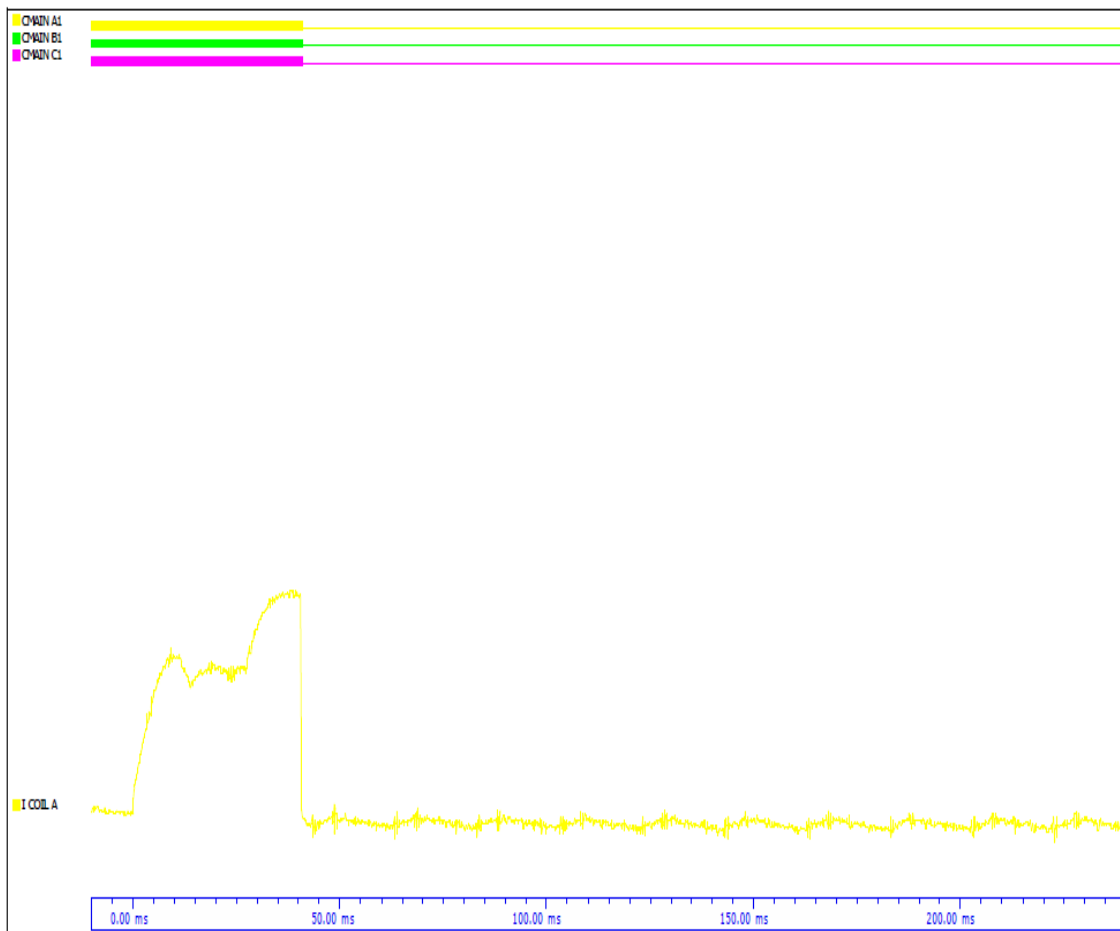


## ANEXO D: FICHA DE MEDIÇÃO DE TEMPO DE FECHO E ABERTURA

Fichas de tempo de fecho e abertura obtidas nos ensaios, respetivamente.



Component	No.	Result	Pole A	Pole B	Pole C	Unit
Close Coil	1	Current Avg	1,3	-	-	A
Main Contact	1	C Time	36,10	36,10	36,10	ms
Main Contact	BRK	C Time Last	36,1			ms
Main Contact	BRK	C Time Async	0,0			ms



Component	No.	Result	Pole A	Pole B	Pole C	Unit
Open Coil	1	Current Avg	0,4	-	-	A
Main Contact	1	O Time	41,10	41,10	41,10	ms
Main Contact	BRK	O Time Last	41,1			ms
Main Contact	BRK	O Time Async	0,0			ms

## ANEXO E: ÁRVORE DE FIABILIDADE DE SE TIPO E REDUNDANTE

Árvores de fiabilidade enunciadas no documento, mais pormenorizadas.

