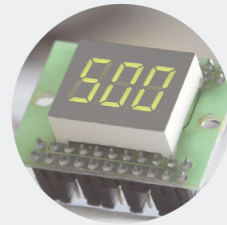




ANÁLISE DE ESTADO/RISCO DE ATIVOS DE MUITO ALTA TENSÃO

MIGUEL SOUSA E SILVA

julho de 2025



ANÁLISE DE ESTADO/RISCO DE ATIVOS DE MUITO ALTA TENSÃO

MIGUEL SOUSA E SILVA

Julho de 2025

ANÁLISE DE ESTADO/RISCO DE ATIVOS DE MUITO ALTA TENSÃO

Miguel Sousa e Silva

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia**

Orientador: Professor Doutor Tiago Andrade

Co-orientador: Engenheiro Pedro Monteiro

Júri:

Presidente:

Fernando Maurício Dias, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

Tiago Branco Andrade, Professor Adjunto Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

José Beleza Carvalho, Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Resumo

Este trabalho é realizado no âmbito da dissertação de mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia. O tema desta dissertação é a análise de efeitos e riscos em ativos de muito alta tensão. Numa fase inicial deste trabalho é feita uma contextualização ao tema e são partilhados os objetivos do trabalho proposto. Foi também realizado um estado da arte relativo a tópicos que estão relacionados com o tema principal do trabalho. Neste documento é apresentada uma caracterização da Rede Nacional de Transporte e dos ativos pertencentes a uma rede de transporte de energia elétrica. É abordado também um tópico relacionado com manutenções, onde são apresentadas diferentes políticas de manutenção, desde políticas de manutenção corretiva, preventiva e preditiva. São apresentadas duas metodologias de cálculo com vista no cálculo de índices de saúde e criticidade dos ativos, para análise de estado e de risco dos mesmos. É feita uma aplicação destas metodologias a dois tipos de dispositivos, disjuntores e seccionadores, são também elaborados casos hipotéticos de estudos, de modo a avaliar possíveis resultados do uso destas metodologias. Na conclusão deste trabalho é abordada a importância da necessidade de manutenção dos ativos pertencentes à rede de transporte de energia elétrica e da correta aplicação das diferentes políticas de manutenção utilizadas. Conclui-se que recorrer ao cálculo de índices de saúde e criticidade é benéfico para a análise do estado e criticidade de ativos, sendo uma mais-valia para priorizar ações de intervenção entre ativos.

Palavras-chave: Análise de Risco, Ativos de Muito Alta Tensão, Índice de Saúde, Políticas de Manutenção, Transporte de Energia Elétrica

Abstract

This work is being carried out as part of a master's dissertation in Electrical Engineering - Electrical Power Systems. The subject of this dissertation is the analysis of effects and risks in extra high voltage assets. At an early stage of this work, the topic is contextualized and the objectives of the proposed work are shared. A state of the art was also carried out on topics that are related to the main theme of the work. This document presents a characterization of the National Transmission Network and the assets belonging to an electricity transmission network. A topic related to maintenance is also covered, where different maintenance policies are presented, ranging from corrective, preventive and predictive maintenance policies. Two calculation methodologies are presented, with a view to calculating asset health and criticality indices, for analyzing asset status and risk. These methodologies are applied to two types of devices, circuit breakers and disconnectors, and hypothetical case studies are also drawn up in order to evaluate the possible results of using these methodologies. The conclusion of this work addresses the importance of the need for maintenance of assets belonging to the electricity transmission network and the correct application of the different maintenance policies used. It is concluded that the use of health and criticality indices is beneficial for analyzing the condition and criticality of assets, and is an asset for prioritizing intervention actions among assets.

Keywords: Electric Power Transmission, Extra High Voltage Assets, Health Index, Maintenance Policies, Risk Analysis

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais por terem dado a possibilidade de ingresso no ensino superior, agradecer a eles e ao meu irmão que me acompanharam e apoiaram durante toda a minha vida, agradecer também à minha namorada que me apoia e está presente diariamente.

Dizer também um obrigado a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente me ajudaram durante todo este percurso:

Aos meus orientadores, Professor Doutor Tiago Andrade, orientador do ISEP, e engenheiro Pedro Monteiro, orientador da REN, o meu muito e eterno obrigado por todos os ensinamentos, conselhos, apoio, disponibilidade e por tudo que fizeram por mim.

A toda a empresa REN, agradecer pela oportunidade de estágio curricular, pela simpatia, pelos momentos de convivência e por me terem recebido bem desde o primeiro dia.

Agradecer ao Instituto Superior de Engenharia do Porto por me ter acolhido bem desde o primeiro dia da licenciatura e durante o mestrado. O meu agradecimento a todos os docentes que fizeram parte do meu percurso de mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia.

Aos meus amigos e colegas que fazem parte de todo o meu percurso e que dão um melhor sentido à vida.

A todos o meu Muito Obrigado !

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO AO TEMA.....	1
1.2	OBJETIVOS	1
1.3	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	2
2	REDE NACIONAL DE TRANSPORTE	3
3	ATIVOS PERTENCENTES A UMA REDE DE TRANSPORTE DE ENERGIA ELÉTRICA	5
3.1	CABOS CONDUTORES DE ENERGIA ELÉTRICA	5
3.2	ESTRUTURAS DE SUPORTE	6
3.3	TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA	6
3.4	DISJUNTORES	8
3.4.1	<i>Classificação dos Disjuntores</i>	8
3.4.2	<i>Mecanismos de Operação de Comando</i>	10
3.5	SECCIONADORES	11
3.5.1	<i>Seccionadores Verticais</i>	11
3.5.2	<i>Seccionadores de Abertura Dupla</i>	12
3.5.3	<i>Seccionadores de Abertura Central</i>	12
3.5.4	<i>Seccionadores Pantógrafos</i>	12
3.5.5	<i>Seccionadores de Ligação à Terra</i>	13
3.6	RELÉS DE PROTEÇÃO	13
3.7	ISOLADORES	13
3.8	BARRAMENTOS	14
3.9	SUBESTAÇÃO ISOLADA A AR.....	14
3.10	SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS.....	14
4	MANUTENÇÃO	15
4.1	POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO	15
4.1.1	<i>Manutenção Corretiva</i>	16
4.1.2	<i>Manutenção Preventiva</i>	16
4.1.3	<i>Manutenção Preditiva</i>	17
5	ANÁLISE DE ESTADO/RISCO	21
5.1	MÉTODO DAS PONDERAÇÕES	22
5.1.1	<i>Indicadores de Estado</i>	22
5.1.2	<i>Indicadores de Criticidade</i>	27
5.1.3	<i>Ponderações</i>	29
5.2	MÉTODO DAS ENTRADAS PRÉ-DEFINIDAS	31
6	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	37
6.1	ANÁLISE DE ESTADO E DE RISCO UTILIZANDO O MÉTODO DAS PONDERAÇÕES	37
6.1.1	<i>Classificação das Variáveis de Estado de um Disjuntor</i>	37
6.1.2	<i>Ponderações Disjuntores</i>	39

6.1.3	<i>Classificação das Variáveis de Estado de um Seccionador</i>	44
6.1.4	<i>Ponderações Seccionadores</i>	45
6.1.5	<i>Classificação das Variáveis de Criticidade</i>	51
6.1.6	<i>Ponderações Indicadores de Consequência</i>	52
6.2	MÉTODO DE FATORES PRÉ-DEFINIDOS	56
6.2.1	<i>Pontuação de Saúde Inicial</i>	56
6.2.2	<i>Pontuação de Saúde Atual</i>	58
6.2.3	<i>Pontuação de Saúde Futura</i>	65
6.2.4	<i>Consequência de Falha</i>	65
7	CASOS DE ESTUDO	69
7.1	CASO DE ESTUDO 1	69
7.1.1	<i>Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 1</i>	70
7.1.2	<i>Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 1</i>	71
7.2	CASO DE ESTUDO 2	73
7.2.1	<i>Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 2</i>	73
7.2.2	<i>Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 2</i>	74
7.3	CASO DE ESTUDO 3	76
7.3.1	<i>Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 3</i>	76
7.3.2	<i>Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 3</i>	77
7.4	CASO DE ESTUDO 4	79
7.4.1	<i>Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 4</i>	79
7.4.2	<i>Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 4</i>	80
7.5	ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO	82
7.5.1	<i>Análise dos Resultados Obtidos pelo Método das Ponderações</i>	82
7.5.2	<i>Análise dos Resultados Obtidos pelo Método das Entradas Pré-Definidas</i>	83
	CONCLUSÃO	85
	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	85
	REFERÊNCIAS	87
	ANEXOS	93

Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa das Linhas de Transmissão de Energia Elétrica da RNT [1]	4
Figura 2 - Princípio de funcionamento de um Transformador [12]	7
Figura 3 - Exemplo de Seccionadores Verticais [23]	11
Figura 4 - Exemplo de Seccionadores de Abertura Dupla [23]	12
Figura 5 - Exemplo de Seccionadores de Abertura Central [23]	12
Figura 6 - Exemplo de Seccionadores Pantógrafos [23].....	13
Figura 7 - Políticas de Manutenção.....	16
Figura 8 - Relação de Probabilidade e Consequência em Manutenção Baseada em Risco [Adaptado de [43]].	19
Figura 9 - Modelo Hierárquico de Comparação do Indicadores de Avaliação de um Disjuntor	39
Figura 10 - Modelo Hierárquico de Comparação do Indicadores de Avaliação de um Seccionador	46
Figura 11 - Modelo Hierárquico de Comparação do Indicadores de Criticidade de Disjuntores e Seccionadores	52
Figura 12 - Matriz de Risco Resultante Através da Aplicação do Método das Ponderações.....	82
Figura 13 - Matriz de Risco Atual Resultante Através da Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas.....	83
Figura 14 - Matriz de Risco Futura Resultante Através da Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas.....	84
Figura 15 – Código Utilizado na Aplicação da Técnica MMI	93
Figura 16 – Modelo para o Cálculo do Índice de Saúde do Caso de Estudo 1 Utilizando o Método das Ponderações	94
Figura 17 - Modelo para o Cálculo do Índice de Criticidade do Caso de Estudo 1 Utilizando o Método das Ponderações	94
Figura 18 - Modelo para o Cálculo dos Índices de Saúde e de Criticidade do Caso de Estudo 1 Utilizando o Método das Entradas Pré-Definidas	95
Figura 19 - Modelo para o Cálculo do Índice de Saúde do Caso de Estudo 2 Utilizando o Método das Ponderações	96
Figura 20 - Modelo para o Cálculo do Índice de Criticidade do Caso de Estudo 2 Utilizando o Método das Ponderações	96
Figura 21 - Modelo para o Cálculo dos Índices de Saúde e de Criticidade do Caso de Estudo 2 Utilizando o Método das Entradas Pré-Definidas	97
Figura 22 - Modelo para o Cálculo do Índice de Saúde do Caso de Estudo 3 Utilizando o Método das Ponderações	98
Figura 23 - Modelo para o Cálculo do Índice de Criticidade do Caso de Estudo 3 Utilizando o Método das Ponderações	98
Figura 24 - Modelo para o Cálculo dos Índices de Saúde e de Criticidade do Caso de Estudo 3 Utilizando o Método das Entradas Pré-Definidas	99
Figura 25 - Modelo para o Cálculo do Índice de Saúde do Caso de Estudo 4 Utilizando o Método das Ponderações	100

Figura 26 – Modelo para o Cálculo do Índice de Criticidade do Caso de Estudo 4 Utilizando o Método das Ponderações	100
Figura 27 - Modelo para o Cálculo dos Índices de Saúde e de Criticidade do Caso de Estudo 4 Utilizando o Método das Entradas Pré-Definidas	101

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comprimento das linhas de transmissão da RNT, por nível de tensão, em 2024 [3], [4]	4
Tabela 2 - Potência de Transformação da RNT, por tipo de transformação, em 2024 [3], [4]	4
Tabela 3 - Escala de Conversão de Valores [45], [49]	29
Tabela 4 - Valores de RI Utilizados para o Cálculo de RC [45].....	31
Tabela 5 - Classificação do Índice de Saúde Através da Pontuação de Saúde [47]	35
Tabela 6 - Classificação do Índice de Criticidade em Função da Percentagem de Criticidade [47]	35
Tabela 7 - Tabela Classificativa das Variáveis de Estado dos Disjuntores [14], [47], [56], [57], [66], [70], [71], [72]	38
Tabela 8 - Comparação Entre Variáveis de Perfil e Performance no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Disjuntor [45], [49]	40
Tabela 9 - Comparação Entre Variáveis de Perfil e Performance no Parâmetro Criticidade [45], [49]	40
Tabela 10 - Comparação Entre Parâmetros para os Indicadores de Perfil e Performance de um Disjuntor [45], [49].....	40
Tabela 11 - Comparação Entre Variáveis de Condição no Parâmetro Fiabilidade de Medida [45], [49].....	41
Tabela 12 - Comparação Entre Variáveis de Condição no Parâmetro Criticidade [45], [49]	41
Tabela 13 - Comparação Entre Parâmetros para os Indicadores de Condição [45], [49].....	42
Tabela 14 - Comparação Entre Variáveis de Fator de Localização no Parâmetro Fiabilidade de Medida [45], [49]	42
Tabela 15 - Comparação Entre Variáveis de Fator de Localização no Parâmetro Fiabilidade de Medida [45], [49]	42
Tabela 16 - Comparação Entre Indicadores de Estado dos Disjuntores [45], [49]	43
Tabela 17 - Consistência dos Resultados Obtidos para os Pesos das Variáveis dos Disjuntores [45], [49].....	43
Tabela 18 - Valores dos Pesos das Variáveis e dos Respetivos Indicadores de Estado de um Disjuntor [45], [49].....	43
Tabela 19 - Fator de Ponderação Utilizado para o Cálculo do Índice de Saúde de um Disjuntor [45], [49].....	44
Tabela 20 - Tabela Classificativa das Variáveis de Estado dos Seccionadores [14], [47], [56], [57], [66], [70], [71], [72].....	45
Tabela 21 - Comparação Entre Variáveis de Perfil e Performance no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Seccionador [45], [49].....	47
Tabela 22 - Comparação Entre Variáveis de Perfil e Performance no Parâmetro Criticidade de um Seccionador [45], [49].....	47
Tabela 23 - Comparação Entre Parâmetros para os Indicadores de Perfil e Performance de um Seccionador [45], [49]	47

Tabela 24 - Comparação Entre Variáveis de Condição no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Seccionador [45], [49]	47
Tabela 25 - Comparação Entre Variáveis de Condição no Parâmetro Criticidade de um Seccionador [45], [49]	48
Tabela 26 - Comparação Entre Parâmetros para os Indicadores de Condição de um Seccionador [45], [49]	48
Tabela 27 - Comparação Entre Variáveis de Fator de Localização no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Seccionador [45], [49]	49
Tabela 28 - Comparação Entre Variáveis de Fator de Localização no Parâmetro de Criticidade de um Seccionador [45], [49]	49
Tabela 29 - Comparação Entre Indicadores de Estado dos Seccionadores [45], [49]	49
Tabela 30 - Consistência dos Resultados Obtidos para os Pesos das Variáveis dos Seccionadores [45], [49]	49
Tabela 31 - Valores dos Pesos das Variáveis e dos Respetivos Indicadores de Estado de um Seccionador [45], [49]	50
Tabela 32 - Fator de Ponderação Utilizado para o Cálculo do Índice de Saúde de um Seccionador [45], [49]	50
Tabela 33 - Tabela Classificativa das Variáveis de Criticidade dos Disjuntores e Seccionadores [14], [47], [67], [68]	51
Tabela 34 - Comparação Entre Variáveis do Indicador Financeiro no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	53
Tabela 35 - Comparação Entre Variáveis do Indicador Financeiro no Criticidade de Medida de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	53
Tabela 36 - Comparação Entre Parâmetros para o Indicador Financeiro de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	53
Tabela 37 - Comparação Entre Variáveis do Indicador Ambiental no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	53
Tabela 38 - Comparação Entre Variáveis do Indicador Ambiental no Parâmetro Criticidade de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	54
Tabela 39 - Comparação Entre Parâmetros para o Indicador Ambiental de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	54
Tabela 40 - Comparação Entre Variáveis do Indicador de Desempenho da Rede no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	54
Tabela 41 – Criticidade de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	54
Tabela 42 - Comparação Entre Parâmetros para o Indicador Desempenho da Rede de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]	54
Tabela 43 - Comparação Entre Indicadores de Criticidade dos Disjuntores e Seccionadores [45], [49]	55
Tabela 44 - Consistência dos Resultados Obtidos para os Pesos das Variáveis de Criticidade [45], [49]	55
Tabela 45 - Valores dos Pesos das Variáveis e dos Respetivos Indicadores de Criticidade de um Disjuntor ou Seccionador [44], [49]	55

Tabela 46 - Fator de Ponderação Utilizado para o Cálculo do Índice de Criticidade de um Disjuntor ou Seccionador [44], [49]	56
Tabela 47 - Valores do Fator de Corrosão e Níveis de Corrosão [46],[65].....	57
Tabela 48 - Valores do Fator de Distância à Costa em Função da Distância do Ativo à Costa [46]	57
Tabela 49 - Valores do Fator de Altitude em Função da Altitude do Ativo [46]	58
Tabela 50 - Valores do Fator de Utilização Associado ao Tipo de Painel [43], [46]	58
Tabela 51 – Valores de Entrada da Variável Inspeção Visual para o Cálculo do Fator de Observação Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46].....	59
Tabela 52 - Valores de Entrada da Variável Inspeção Termográfica para o Cálculo do Fator de Observação Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46].....	60
Tabela 53 - Valores de Entrada da Variável Fugas no Meio Isolante para o Cálculo do Fator de Observação Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46].....	60
Tabela 54 - Valores de Entrada da Variável Número de Manobras para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46].....	61
Tabela 55 - Valores de Entrada da Variável Resistência de Contactos para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46].....	62
Tabela 56 - Valores de Entrada da Variável Resistência de Isolamento para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46].....	62
Tabela 57 - Valores de Entrada da Variável Teste de Qualidade de Óleo/SF6 para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]	63
Tabela 58 - Valores de Entrada da Variável Tempo de Fecho/Abertura para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46].....	63
Tabela 59 - Valores de Entrada da Variável Medição da Corrente da Bobina para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]	64
Tabela 60 - Valores de Entrada da Variável Medição da Corrente do Motor para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]	64
Tabela 61 - Fórmulas de Cálculo do Fator de Condição [46]	64
Tabela 62 - Variação do Valor do Fator de Redução de Envelhecimento [46]	65
Tabela 63 - Fator Financeiro do Tipo de Acesso ao Ativo [46].....	66
Tabela 64 - Valor do Fator Ambiental Em Função do Tipo de Isolante e Dispositivo [46].....	66
Tabela 65 - Fator do Meio de Contenção [46]	66
Tabela 66 - Valores do Fatores de Redundância em Função da Redundância da Instalação [46]	67
Tabela 67 – Informação das Características do Ativo do Caso de Estudo 1	70
Tabela 68 - Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 1.....	71
Tabela 69 - Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Estudo de Caso 1.....	72
Tabela 70 - Informação das Características do Ativo de Caso de Estudo 2	73
Tabela 71 - Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 2.....	74
Tabela 72 - Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 2.....	75
Tabela 73 - Informação das Características do Ativo de Caso de Estudo 3	76
Tabela 74 - Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 3.....	77
Tabela 75 - Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 3.....	78

Tabela 76 - Informação das Características do Ativo de Caso de Estudo 4.....	79
Tabela 77 - Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 4.....	80
Tabela 78 - Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 4.....	81

Abreviaturas, Acrónimos, Siglas e Símbolos

Lista de Acrónimos e Siglas

AIS	Air Insuleted Substation
AT	Alta Tensão
CBM	<i>Condition Based Maintenance</i>
CM	<i>Corrective Maintenance</i>
CR	Criticidade
DNO	<i>Distribuiton Network Operator</i>
FM	Fiabilidade de Medida
GIS	Gas Insuleted Substation
IC	Índice de Consistência
IS	Índice de Saúde
MAT	Muito Alta Tensão
MMI	<i>Maximum and Multiple Increment</i>
MT	Média Tensão
PM	<i>Preventive Maintenance</i>
PdM	<i>Predictive Maintenance</i>
RBM	<i>Risk Based Maintenance</i>
RC	Razão de Consistência
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
REN	Rede Elétrica Nacional
RNT	Rede Nacional de Transporte

Lista de Abreviaturas e Símbolos

m	Metro
MVA	Mega Volt-Ampere
MW	Mega Watt
N1	Número de Espiras do Enrolamento Primário
N2	Número de Espiras do Enrolamento Secundário
km	Quilômetro
SF6	Hexafluoreto de Enxofre
REF	Valor de Referência
REFmáx	Valor de Referência Máximo
REFmin	Valor de Referência Mínimo

1 Introdução

1.1 Contextualização ao Tema

A energia elétrica é geralmente produzida em zonas retiradas dos grandes centros de consumo, de forma a se conseguir fazer uso deste recurso, é necessário fazer com que a eletricidade seja transmitida desde o local onde é produzida até aos locais de consumo. Assim, a energia elétrica é transferida através de redes de transporte de energia elétrica e redes de distribuição de energia elétrica. O transporte de energia elétrica é realizado em níveis de tensão muito altos, e através de pontos de entrega, assegura a ligação entre os produtores de energia elétrica e os grandes centros de consumo, permitindo a alimentação de grandes consumidores industriais e também assegurando a ligação às redes distribuição, que por sua vez têm a função de entregar energia elétrica a diversos consumidores de energia elétrica [1], [2]. O tema desta dissertação visa o estudo e a avaliação das condições e dos riscos de falha de ativos de muito alta tensão, inerentes à rede de transporte de energia elétrica. Neste documento, será abordada a importância dos ativos de Muito Alta Tensão (MAT), também será feita uma análise de estado destes ativos e dos possíveis riscos associados aos mesmos. Esta dissertação visa também a abordagem de estratégias de manutenção e gestão de ativos de muita alta tensão. Será ainda a aplicação de estratégias de manutenção e de análise de risco a alguns ativos selecionados. A realização da tese será em formato de estágio, o qual foi realizado na empresa portuguesa REN (Rede Elétrica Nacional) responsável pelo transporte de energia elétrica em muito alta tensão, em Portugal.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo entender, sintetizar, e transmitir informação acerca dos seguintes tópicos:

- Identificar diferentes estratégias de manutenção passíveis de aplicar aos diferentes tipos de ativos elétricos.
- Estudar as características de dois tipos de ativos aplicados na RNT.

- Estudar as metodologias para a análise do estado e risco, aplicadas aos ativos de muita alta tensão.
- Aplicação das diferentes estratégias de análise e manutenção em ativos.

1.3 Organização do Documento

Este documento está organizado em diferentes capítulos, numa fase inicial é feita a introdução ao trabalho. Nesta introdução é apresentada uma contextualização ao tema do trabalho a realizar e os objetivos do mesmo.

Numa segunda parte do documento é apresentado o estado da arte. Esta secção do documento divide-se em três capítulos. O primeiro capítulo apresenta a rede nacional de transporte e é feita uma caracterização desta rede. No segundo capítulo são apresentados diversos elementos pertencentes à mesma. Como terceiro capítulo desta secção, é realizado um estudo sobre o estado da arte relativo ao tema de manutenções, onde são apresentadas diferentes políticas de manutenção e técnicas de aplicação.

Numa terceira parte do documento são apresentadas e explicadas as metodologias aplicadas neste documento. No quinto capítulo é feita uma explicação geral de como funcionam as metodologias em estudo. No sexto capítulo é feita a explicação de como estas metodologias devem ser aplicadas. No sétimo capítulo são feitos possíveis casos de estudo para aplicação destas metodologias a dois tipos de ativos da rede elétrica nacional, são realizados quatro diferentes hipotéticos casos de estudos e analisados os resultados obtidos nos mesmos.

Na parte conclusiva do documento, é apresentada a conclusão deste trabalho. Neste capítulo são abordadas as conclusões mais relevantes do trabalho e a sua contribuição para o mesmo, é feita uma introspeção ao trabalho e abordados os contributos que este pode dar. É também, realizada uma identificação dos possíveis trabalhos futuros a realizar. Seguindo-se as referências e anexos do trabalho.

2 Rede Nacional de Transporte

A Rede Nacional de Transporte (RNT) faz a cobertura total do território continental português. Esta faz a ligação entre os grandes produtores de energia elétrica e os seus consumidores. Através de pontos de entrega, com um transporte de energia elétrica em Muito Alta Tensão (MAT) permite alimentar grandes consumidores industriais e assegurar a ligação dos produtores de energia às redes de distribuição, que por sua vez, fazem a distribuição de energia elétrica pelos consumidores. O desenvolvimento, gestão, manutenção e operação da RNT é da responsabilidade da empresa Rede Elétrica Nacional (REN), esta empresa é a entidade responsável por garantir a segurança e a continuidade do serviço de eletricidade em Portugal continental e das interligações com Espanha, devendo também garantir o equilíbrio entre a produção e o consumo de energia elétrica [1], [2].

Caracterização da Rede Nacional de Transporte

De acordo com dados disponibilizados pela REN, do ano de 2024, o Sistema Elétrico Nacional tem uma potência instalada de 22814 MW. Informações relativas ao ano de 2024 dizem que a Rede Nacional de Transporte apresentava um número total de 71 subestações, 14 postos de corte, 2 postos de seccionamento, 1 posto de transição, 221 transformadores, somando uma potência total de transformação de 40729 MVA, e 1443 painéis. O transporte de energia elétrica pode ser realizado através de linhas aéreas ou subterrâneas. No final do ano de 2024, a RNT apresentava um comprimento total de circuitos de transmissão de energia elétrica de 9661 km, em que 111 km são circuitos subterrâneos e 17 km em cabo submarino. Em Portugal, as linhas de transporte de energia elétrica estão divididas em três níveis de tensão, 150 kV, 220 kV e 400 kV [3], [4]. Através da Tabela 1 é possível obter-se uma informação mais pormenorizada do comprimento das linhas de transporte de energia elétrica por nível de tensão. Observando a Tabela 2 é possível verificar uma informação mais detalhada sobre a potência de transformação da RNT por tipo de transformação.

Tabela 1 - Comprimento das linhas de transmissão da RNT, por nível de tensão, em 2024 [3], [4]

Nível de Tensão [kV]	Comprimento das Linhas [km]
400	3242
220	3886
150	2533

Tabela 2 - Potência de Transformação da RNT, por tipo de transformação, em 2024 [3], [4]

Tipo de Transformação	Potência de Transformação [MVA]
Autotransformação (MAT/MAT)	15370
Transformação (MAT/AT)	25039
Transformação (MAT/MT)	320

Através de Figura 2, é possível ver o mapa onde estão apresentadas as linhas pertencentes ao sistema de transporte de energia elétrica de Portugal continental.



Figura 1 - Mapa das Linhas de Transmissão de Energia Elétrica da RNT [1]

Fazendo uma análise da Figura 1, a vermelho estão representadas as linhas com um nível de tensão de 400 kV, a verde as linhas com um nível de tensão de 220 kV e com a cor azul as linhas com um nível de tensão de 150 kV. É de notar as linhas de 400 kV situam-se um de norte a sul do país, enquanto as linhas de 220 kV têm uma maior densidade na zona centro e norte do país, já as linhas de 150 kV apresentam uma maior quantidade nas zonas sul e norte litoral do país.

3 Ativos Pertencentes a uma Rede de Transporte de Energia Elétrica

A rede de transporte de energia elétrica tem diversos componentes que apresentam diferentes funções e que por sua vez, conjugadas completam o sistema e permitem o bom funcionamento do mesmo. Alguns ativos pertencentes à RNT são os cabos condutores de energia elétrica, estruturas de suporte, isoladores, transformadores de potência, disjuntores, seccionadores, entre outros [5], [6].

3.1 Cabos Condutores de Energia Elétrica

Os cabos condutores de energia elétrica têm a função de conduzir a eletricidade. Estes condutores apresentam diferentes características como o seu material, tipo e tamanho que devem ser selecionados de forma a corresponderem a diferentes necessidades mecânicas e elétricas, para que seja possível uma correta transmissão de energia elétrica. Diferentes tipos de condutores são utilizados em sistemas elétricos de energia. Estes podem ser do tipo unifilares ou multifilares. Os condutores unifilares são constituídos apenas por um filamento, este tipo de condutores tipicamente é de dimensões menores e mais fortes do que os condutores multifilares. Os condutores unifilares são geralmente mais difíceis de dobrar e são facilmente danificados. Os condutores multifilares apresentam vários filamentos como característica. Este tipo de condutores permite o transporte de energia elétrica com altas correntes e é comum em sistemas de transporte de energia elétrica. Os condutores de energia elétrica podem ser de diferentes materiais, dependendo das suas aplicações. Materiais como o cobre, o alumínio e aço são os mais comuns em condutores elétricos. O cobre é um material que oferece pouca resistência à passagem de corrente elétrica, deste modo, é um bom condutor de corrente e é utilizado em sistemas de transmissão de energia elétrica, para além disso, é um material com uma durabilidade alta e não é afetado significativamente pelas

condições metrológicas. O alumínio é também um bom condutor, porém, não apresenta uma durabilidade tão alta como o cobre. Este material apresenta o seu menor custo e peso como vantagens em relação ao cobre. Por vezes são utilizados fios de aço como forma de núcleo em condutores de alumínio, de modo a aumentar a sua resistência. Em relação ao tamanho dos condutores, quanto maior for a secção de um condutor, menor é a resistência à passagem da corrente elétrica [7], [8]. Em sistemas de transporte de energia elétrica por linhas aéreas, geralmente os condutores são nus, ou seja, não apresentam isolamento exterior. Recorre-se à utilização de um isolamento externo em situações de cabos subterrâneos. No transporte de energia elétrica recorre-se à utilização de cabos subterrâneos em situações particulares, nomeadamente nas imediações de aeroportos e em grandes zonas urbanas consolidadas, pois a utilização de linhas subterrâneas pode ser em média até 10 vezes mais caro que a utilização de linhas aéreas [9].

3.2 Estruturas de suporte

Os cabos condutores necessitam de suporte. O tipo de suporte utilizado depende do terreno em que estes serão colocados e também do tamanho dos condutores e equipamentos a serem suportados. Geralmente, em linhas de transmissão de energia elétrica utilizam-se suportes em aço. As estruturas de suporte têm também a função garantir a separação dos cabos condutores da terra e de entre eles [10].

3.3 Transformadores de Potência

Os transformadores de potência são os elementos caracterizantes de uma subestação. Estes dispositivos, geralmente, podem ser definidos através de uma máquina elétrica estática, que apenas funcionam em corrente alternada, em que o seu princípio de funcionamento é baseado nas leis da indução magnética. Este equipamento pode ser constituído por dois ou mais enrolamentos que, através de indução electromagnética, permitem elevar ou diminuir os níveis de tensão de electricidade e corrente necessários ao transporte de energia elétrica, sem variar o valor de frequência e minimizando as perdas na transmissão de elevadas potências elétricas, de forma a garantir uma adequada transmissão ou distribuição de electricidade [11]. Em estações produtoras são utilizados transformadores de potência elevadores de tensão de forma a garantir uma transmissão de energia elétrica num elevado nível de tensão. Em estações recetoras são utilizados transformadores de potência abaixadores de forma a garantir a distribuição de energia elétrica em menores níveis de tensão [8].

Estes ativos têm como princípio de funcionamento a aplicação de uma tensão no enrolamento primário, à medida que essa tensão aumenta, vai se criando um campo magnético no núcleo, em que o fluxo varia e percorre o enrolamento secundário, induzindo uma tensão neste enrolamento [12]. A relação de transformação é dada através do número de espiras de cada enrolamento e pode ser dada pela equação (1).

$$\text{Relação de Transformação} = \frac{N_2}{N_1} \quad (1)$$

O enrolamento com maior valor de tensão é o que apresenta maior número de espiras. Aumentar a tensão reduz a corrente, pois a potência em consideração é igual do lado da baixa e da alta tensão, pelo que faz reduzir significativamente o número de perdas elétricas [13].

Através da Figura 2 é possível verificar um exemplo do princípio de funcionamento de um transformador de potência. Pode-se observar os enrolamentos à volta do núcleo e verificar a diferença entre o número de espiras dos mesmos. Através da análise desta figura e com a aplicação da fórmula da equação (1), que permite o cálculo da relação de transformação, sabe-se que neste exemplo o transformador de potência apresenta uma relação de transformação de $\frac{8}{4} = 2$. Visto também que as espiras do enrolamento secundário estão em maior quantidade, é possível afirmar que este é o enrolamento de maior tensão.

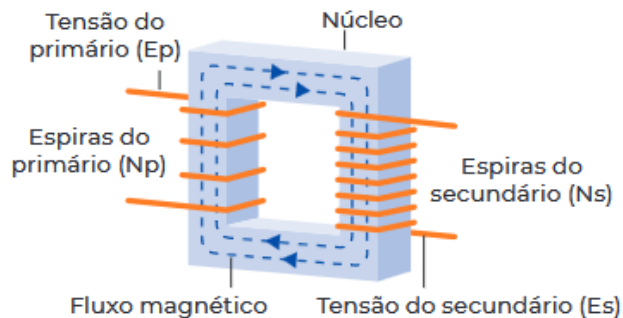


Figura 2 - Princípio de funcionamento de um Transformador Monofásico [11]

São elementos constituintes de um transformador de potência o núcleo de ferro, os enrolamentos, o óleo isolante (sendo que os transformadores também podem ser secos) e a cuba. O núcleo de ferro serve para conduzir o fluxo magnético causado pela corrente elétrica que percorre as bobinas. Os enrolamentos são bobinas de condutores que rodeiam o núcleo. O óleo isolante tem como objetivo fazer o isolamento entre partes ativas e também a dissipação do calor interno para as paredes da cuba. A cuba de um transformador de potência é uma estrutura metálica que tem o objetivo de assegurar a proteção mecânica das partes ativas e outros componentes deste dispositivo.

Na RNT são utilizados transformadores de potência com refrigeração a óleo, na sua grande maioria destes transformadores a refrigeração é feita com óleo natural e ar forçado, os autotransformadores são normalmente refrigerados com óleo mineral e ar forçado [14]. Os autotransformadores são uma variação da construção dos transformadores de potência, estes têm a mesma função de aumentar ou diminuir os níveis de tensão de eletricidade. Os autotransformadores têm como característica um só enrolamento único em vez de dois distintos. Estes dispositivos funcionam melhor com relações de transformação pequenas (menos de 5:1) e são normalmente utilizados em aplicações de transmissão de energia elétrica em muito alta tensão. O seu tamanho reduzido em relação a outros transformadores de potência e a poupança de material de construção são vantagens dos autotransformadores [15].

3.4 Disjuntores

Disjuntores são dispositivos de comutação mecânicos capazes de conduzir e interromper correntes, em condições normais de um circuito. Têm também a capacidade interromper correntes e fazer a sua condução, por um determinado tempo específico, sob condições de circuito anormais especificadas. Estes dispositivos devem ser capazes de interromper correntes de curto-circuito, correntes capacitivas, correntes indutivas e correntes de carga [16]. Os disjuntores são dispositivos que fazem parte dos sistemas de proteção das redes de transmissão de energia elétrica. Em normal uso de funcionamento ou em caso de falha do circuito, estes equipamentos de comutação mecânica permitem isolar uma zona de defeito, que pode ser provocada por um possível curto-circuito ou sobrecarga, do restante sistema. Interrompem o funcionamento do circuito, evitando assim agravar possíveis danos no sistema elétrico. Estes dispositivos podem ser operados manualmente ou de forma automática. Os disjuntores apresentam duas posições de estado, fechado ou aberto. No seu estado fechado, devem ser capazes de conduzir a corrente nominal e suportar correntes de curto-circuito. Estes ativos devem ser capazes de conduzir ou interromper qualquer corrente e suportar qualquer tipo de sobretensão que estejam dentro da sua gama de operação. Durante a interrupção da passagem de corrente, quando se dá a separação dos contactos do disjuntor, ocorre um elemento característico deste processo, dominado de arco elétrico. O processo da extinção do arco elétrico constitui o alicerce para o processo da interrupção da corrente elétrica e é características destes dispositivos de comutação. Os disjuntores podem ser agrupados por diferentes critérios de classificação: nível de tensão, pelo local da sua instalação, características de configuração externa e pelo meio extintor utilizado para a da interrupção corrente elétrica [15], [17].

3.4.1 Classificação dos Disjuntores

Os disjuntores podem ser agrupados por diferentes critérios de classificação: nível de tensão, pelo local da sua instalação, características de configuração externa e pelo meio utilizada para a da interrupção da corrente elétrica [16].

3.4.1.1 Nível de Tensão

O nível de tensão para o qual os disjuntores são projetados é um critério lógico de classificação. Estes são divididos em disjuntores de baixa, média, alta e muito alta tensão. São classificados como disjuntores de baixa tensão aqueles que são projetados até uma gama de 1000 V. Disjuntores cujo a sua gama de tensão está compreendida entre 1000 V e 52 kV são classificados como disjuntores de média tensão. Disjuntores cujo a sua gama de tensão está superior a 52 kV e igual ou inferior a 123 kV são classificados como disjuntores de alta tensão. Disjuntores cuja tensão é superior a 123 kV são classificados como disjuntores de muito alta tensão [18]. Geralmente, disjuntores pertencentes à gama de alta tensão e inferiores, são utilizados em redes de distribuição e em redes de média tensão. Disjuntores com gamas de tensão pertencentes à classificação de muito alta tensão são normalmente utilizados em sistemas de transmissão de energia elétrica [16].

3.4.1.2 Tipo de Instalação

Os disjuntores de alta tensão podem ser classificados quanto ao seu tipo de instalação. Podendo ser utilizados em instalações internas ou externas. Classifica-se como disjuntores internos aqueles que são concebidos para utilizar apenas no interior de edifícios ou recintos resistentes à intempérie. Disjuntores externos são aqueles concebidos para uso em áreas externas [16].

3.4.1.3 Características Exteriores

Em relação às suas características construtivas, os disjuntores podem ser classificados com “Dead Tank Design” e “Live Tank Design”.

Disjuntores do tipo “Dead Tank Design” contém os meios isolantes e de interrupção utilizados situados num recipiente equipotencializado com a terra. Disjuntores do tipo “Live Tank Design” contém os meios isolantes e de interrupção utilizados num recipiente isolado da terra [16].

3.4.1.4 Classificação através do meio de interrupção

Em redes de transporte de energia elétrica são utilizados alguns disjuntores com diferentes tipos classificação de meio de interrupção: disjuntores a óleo, disjuntores a gás (SF6) e disjuntores a vácuo. Em tempos foram utilizados disjuntores a ar, mas estes já entraram em desuso [15], [17]. O meio utilizado para a interrupção da corrente elétrica e isolamento é um dos principais parâmetros para a concessão destes dispositivos de comutação, bem como, para se conseguir uma interação adequada entre a interrupção da corrente e a extinção do arco elétrico. Atualmente, com a necessidade de descarbonização do setor energético, os fabricantes destes equipamentos estão a investir em dispositivos com zero gases fluorados. Têm sido encontradas diferentes tecnologias como uma nova gama de disjuntores que utiliza tecnologia de comutação a vácuo e isolamento de ar limpo e também tecnologia de comutação e isolamento que utiliza uma mistura de gás baseada em dióxido de carbono, menos prejudicial para o ambiente em comparação com os equipamentos que utilizam o gás SF6 [19], [20].

Disjuntores a Óleo

A utilização do óleo como meio extinção do arco elétrico foi uma das primeiras aplicações em disjuntores, sendo o disjuntor a óleo o primeiro concebido para aplicações de alta tensão. Sabe-se que os arcos elétricos quando ocorridos no óleo, formam uma bolha que, apresenta o hidrogénio na sua constituição principal. O hidrogénio é provavelmente o gás ideal para utilizar na interrupção da corrente elétrica, porém, devido ao seu custo e às complicações de um sistema de recuperação de gás, tornam a utilização deste elemento gasoso inaplicável. O óleo utilizado neste tipo de disjuntores tem como características, uma ótima rigidez dielétrica, bem como, uma boa capacidade e condutividade térmica. Alguns disjuntores a óleo aproveitam a ótima resistência dielétrica deste fluido e, para além de o utilizarem como meio extintor do arco elétrico, utilizam-no também como isolantes das partes elétricas do equipamento.

Na categoria de disjuntores a óleo, esta está dividida em disjuntores *Bulk Oil* e *Minimum Oil*. Relativamente aos disjuntores imersos em óleo, os seus contactos estão localizados no

interior de um tanque de metal de grandes dimensões, cheio de óleo. A principal característica deste tipo de disjuntor é que o óleo é utilizado como meio de extinção de arco elétrico e também como isolamento elétrico [16], [21]. Os disjuntores de óleo mínimo foram concebidos devido à necessidade de redução de espaço e dos custos em óleo utilizado. Este tipo de disjuntor necessita de uma pequena quantidade de volume de óleo, utilizando este fluido apenas para a extinção do arco elétrico. O isolamento das partes elétricas do equipamento é feito através de um material sólido com características dielétricas.

Atualmente, os disjuntores a óleo podem continuar em uso, mas têm vindo a ser substituídos pela tecnologia de disjuntores a gás SF6 [16].

Disjuntores a gás SF6

Os disjuntores a gás SF6 são projetados para propagar um fluxo de gás constante em direção do arco elétrico, de modo a ser feita a extração do calor ocorrido, desta forma, é possível conseguir a extinção de um defeito com uma corrente de valor zero. Este fluxo de gás permite também desionizar a lacuna de contacto e restabelecer a rigidez dielétrica evitando a formação de um novo arco. O gás hexafluoreto de enxofre puro é inerte e termicamente estável, incombustível, não corrosivo, não venenoso, incolor e inodoro. Este gás apresenta uma capacidade isolante e de extinção do arco bastante positiva [22]. Para além das suas ótimas características isolantes, devido às suas propriedades electronegativas, o SF6 tem uma boa capacidade de captar eletrões. Deste modo, o SF6 apresenta uma alta resistência à rutura elétrica e promove uma recuperação rápida da rigidez dielétrica, na zona próxima da ocorrência do arco elétrico. Em dispositivos com um “*puffer único*”, o disjuntor é projetado para utilizar o gás comprimido como um mecanismo de transferência de modo a arrefecer e alongar o arco. Em outros tipos de disjuntor a gás, o arco aquece o gás SF6 o que faz aumentar a pressão do mesmo, resultando no alongamento e na interrupção do arco ocorrido. Os disjuntores *puffer* utilizam a energia mecânica para a compressão do gás, enquanto os disjuntores com um auto-jato utilizam a energia térmica libertada pelo arco elétrico ocorrido, para aumentar a pressão do gás [16], [22].

Disjuntor a Vácuo

Os disjuntores a vácuo procedem à interrupção do circuito através de um pequeno cilindro que coloca as partes móveis sob uma grandeza de vácuo. Devido à ausência de colisões inelásticas entre moléculas de gás no vácuo, não existe a possibilidade de se desencadear uma quebra dielétrica como em ambientes gasosos. Pelo que, este método apresenta ótimas características dielétricas e uma boa capacidade de funcionar como meio de interrupção da corrente elétrica [16].

3.4.2 Mecanismos de Operação de Comando

A principal função do mecanismo de um disjuntor é realizar o fecho e a abertura dos contactos deste dispositivo. O mecanismo de comando armazena energia potencial sob a forma

de um meio elástico, recorrendo a mecanismos de mola, pneumáticos e hidráulicos. Quando necessário, é acionada a libertação desta energia, obtendo-se a movimentação dos contactos do disjuntor [16].

3.4.2.1 Comando Mecânico

No mecanismo de comando mecânico, a energia necessária para a atuação deste sistema é armazenada através da força de molas [16].

3.4.2.2 Comando Hidráulico

No mecanismo de comando hidráulico, a energia necessária para a atuação deste sistema é armazenada geralmente sob a forma de pressão de gás de nitrogénio, o mecanismo é ativado através de um sistema de hidráulicas [16].

3.5 Seccionadores

Os seccionadores são geralmente utilizados para isolar algumas partes do sistema em caso de necessidade e de modo a se conseguir efetuar manobras de manutenção, permitindo assim a realização de trabalhos em segurança. Estes equipamentos são dispositivos mecânicos condutores de corrente, e que permitem manobra de forma a abrir o circuito e a isolar outros equipamentos [15]. Quando abertos, permitem uma distância de isolamento que satisfaz os requisitos especificados, de forma a evitar a ocorrência de um arco elétrico. Tipicamente, estes dispositivos são instalados ao lado de cada diferente equipamento, de forma a se conseguir uma garantia visível de que o circuito foi aberto. Os seccionadores podem ser de vários tipos, sendo os mais utilizados os seccionadores verticais, seccionadores com interrupção dupla, seccionadores de colunas rotativas, seccionadores pantógrafos, seccionadores de interrupção central, entre outros [17].

3.5.1 Seccionadores Verticais

Os seccionadores verticais são o tipo de seccionadores mais utilizados e versáteis. Estes podem ser instalados num espaço reduzido [23].

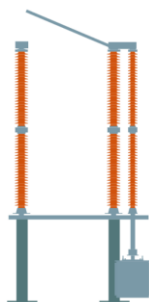


Figura 3 - Exemplo de Seccionadores Verticais [23]

3.5.2 Seccionadores de Abertura Dupla

Este é um seccionador que abre o circuito em dois pontos. São utilizados principalmente em subestações em que o espaço de fase é limitado e não possibilita a abertura vertical dos contactos. A abertura dos contactos é realizada através da rotação horizontal da coluna central [23].

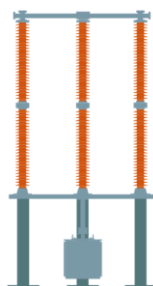


Figura 4 - Exemplo de Seccionadores de Abertura Dupla [23]

3.5.3 Seccionadores de Abertura Central

São seccionadores no qual ambos os contactos de cada polo são móveis e engatam em um ponto substancialmente a meio caminho entre os seus suportes. Estes são constituídos por dois isoladores rotativos que abrem e fecham os contactos através de um movimento lateral [23].

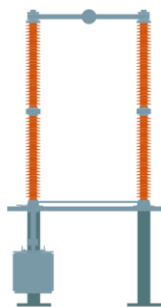


Figura 5 - Exemplo de Seccionadores de Abertura Central [23]

3.5.4 Seccionadores Pantógrafos

Este tipo de seccionadores tem como vantagem a mínima necessidade de espaço de montagem possível. Os seus contactos estão ligados ao barramento através de duas hastes em tesoura. A abertura deste dispositivo é vertical. Seccionadores pantógrafos podem ser aplicados a conexões de barramento flexíveis e rígidas [23].

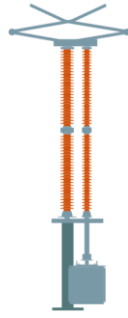


Figura 6 - Exemplo de Seccionadores Pantógrafos [23]

3.5.5 Seccionadores de Ligação à Terra

O seccionador de ligação à terra é um dispositivo de conexão mecânica que tem como funcionalidade permitir a ligação de algumas partes do circuito à terra. Tem a capacidade de suportar, durante um tempo específico, correntes sob condições anormais de circuito e pode apresentar uma determinada capacidade de suportar a ocorrência de curto-circuito. Este dispositivo não tem como necessidade de funcionamento conduzir correntes sob condições normais do circuito [23].

3.6 Relés de Proteção

Os relés de proteção são dispositivos que monitorizam todo o sistema elétrico e dão a ordem de disparo aos dispositivos de proteção no caso de haver alguma falha ou defeito no sistema. Este dispositivo faz a comparação, em tempo real, dos valores das grandezas elétricas do sistema, com valores definidos com limite. No caso destes dispositivos detectarem uma anomalia entre os valores comparados, os relés de proteção acionam os dispositivos de proteção de forma a estes procederem à proteção do sistema elétrico. Geralmente são utilizados dois diferentes tipos de relés, os relés primários e os relés de *backup*. Os relés primários são os primeiros a atuar em caso de falha do sistema, dando ordem de atuação aos dispositivos de corte, como disjuntores. Os relés de *backup* funcionam em caso de falha dos relés primários [24].

3.7 Isoladores

Os isoladores são componentes compostos por materiais com uma elevada resistência elétrica, apresentando uma forte oposição à passagem de corrente. A sua utilização é crucial para impedir que a eletricidade passe dos condutores para a terra e para evitar defeitos por contactos indiretos. Garantido o isolamento e o bom funcionamento do sistema [6].

3.8 Barramentos

Um barramento é um componente que faz a distribuição da energia elétrica dos condutores de entrada para os condutores de saída. Este equipamento é constituído geralmente por cobre ou alumínio, sendo estes materiais bons condutores, permite uma fácil distribuição de energia elétrica [6], [25].

3.9 Subestação Isolada a Ar

As subestações isoladas a ar, em inglês, *Air Insulated Substations* (AIS) utilizam o ar como meio isolante. Devido ao seu baixo custo, em comparação com outro tipo de subestações, estas são o tipo de subestações mais utilizadas. Geralmente estas subestações ocupam uma área maior [26], [27].

3.10 Subestação Isolada a Gás

As subestações isoladas a gás, em inglês, *Gas Insulated Substations* (GIS), geralmente utiliza o gás SF₆ como meio isolante. Estas subestações possuem equipamentos com elevados níveis de tensão instalados dentro de cilindros metálicos preenchidos com gás SF₆, sob pressão. Em relação às subestações isoladas a ar, as GIS apresentam um custo superior, porém, apresentam uma menor área de ocupação, pelo que, geralmente este tipo de subestações são utilizadas em sítios em que há pouco espaço disponível para construção ou perto de grandes áreas metropolitanas [26], [27].

4 Manutenção

Os sistemas elétricos de energia, dando ênfase às redes de transporte de energia elétrica, estão diariamente sujeitos a condições de deterioração que podem afetar o bom funcionamento de todo o sistema [28]. De forma a garantir a segurança e confiabilidade de um sistema elétrico de energia, bem como, melhorar o seu desempenho, é necessário praticar uma manutenção eficaz dos ativos pertencentes a estes sistemas, e para isso, elaborar políticas de manutenção [29]. As ações técnicas e administrativas, incluindo operações de vigilância, que têm como objetivo manter uma instalação elétrica em condições adequadas de garantia de funcionamento correto definem a manutenção de um sistema elétrico [14].

4.1 Políticas de Manutenção

De modo a garantir que o sistema funcione de maneira correta e segura existem diferentes políticas de manutenção que devem ser aplicadas conforme a importância do ativo e da sua manutenção. As possíveis políticas de manutenção aplicadas aos sistemas elétricos de energia englobam desde manutenção corretiva a manutenção preventiva, técnicas de manutenção preditiva como manutenção condicional, manutenção baseada em fiabilidade e manutenção baseada em risco, [28]. A aplicação das diferentes políticas de manutenção deve ter em conta o princípio de melhoria e de funcionamento do sistema. De forma a obter uma melhor leitura visual e uma facilitada interpretação de conteúdos, através da Figura 7 é possível verificar as diferentes políticas de manutenção e como estas estão interligadas.

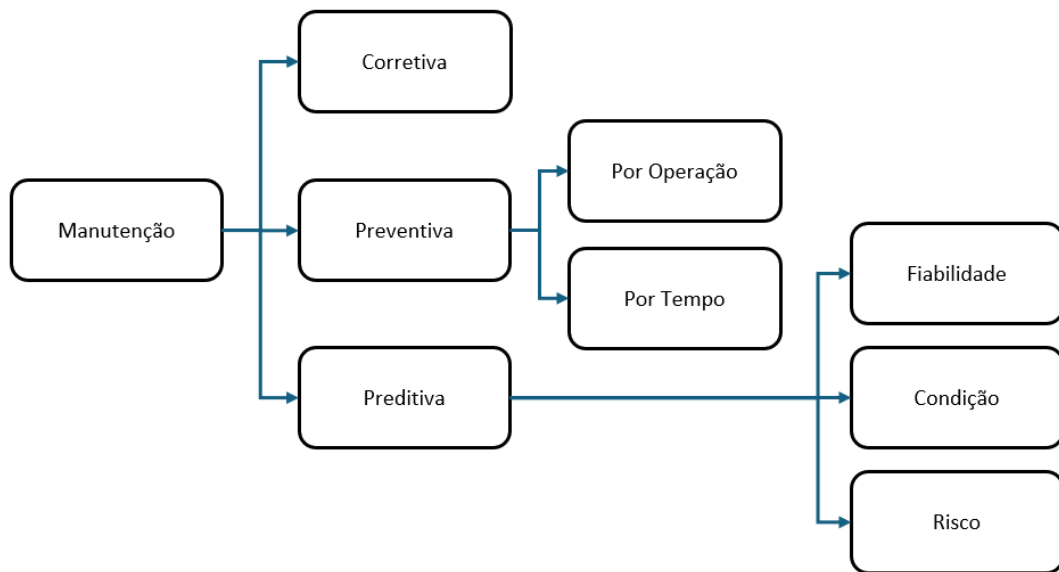


Figura 7 - Políticas de Manutenção

4.1.1 Manutenção Corretiva

A política de manutenção corretiva tem como base a correção de um defeito de uma avaria existente. Diz-se como ações de manutenção corretiva as ações técnicas e administrativas realizadas com o objetivo de repor o funcionamento de uma instalação elétrica, após a ocorrência de uma avaria [30]. Este processo de manutenção é constituído por todas as atividades que possibilitam a reparação de um ativo inerente a um sistema elétrico após o mesmo estar danificado. Atividades como deteção de falhas, isolamento, decomposição, substituição, remontagem e teste são descritivas desta política de manutenção baseada em correção [31]. O principal defeito deste tipo de manutenção é que, por vezes, é preferível a substituição de um componente danificado, por um novo, em vez de se proceder à manutenção ou reparação do mesmo [32].

4.1.2 Manutenção Preventiva

Em sistemas elétricos de energia a manutenção preventiva tem como objetivo conservar em bom funcionamento um ativo pertencente a uma instalação elétrica. A combinação de ações técnicas e administrativas efetuadas com o objetivo de diminuir a probabilidade da ocorrência de um defeito ou degradação de ativos denomina-se de manutenção preventiva [30]. As atividades desta política de manutenção são realizadas quando os equipamentos ainda se encontram em funcionamento, permitindo que estes tenham um maior período de duração ao nível do projetado. A informação utilizada para realizar este tipo de manutenção tem por base estatísticas do tempo de duração médio dos equipamentos.

Geralmente são realizadas ações interventivas como limpezas e alguns ajustes necessários de forma periódica em intervalos predefinidos. Quando um equipamento apresenta maiores níveis de degradação, o intervalo de manutenção pode ser ajustado de forma a serem feitas intervenções mais regulares [28]. É possível dividir a política de manutenção preventiva entre manutenção baseada em operação e manutenção periódica [33].

4.1.2.1 Manutenção Preventiva Por Operação

Manutenção preventiva baseada em operação visa a manutenção de um ativo quando de um certo nível de utilização, esta política de manutenção prevê uma ação preventiva após a utilização de um dispositivo ou elemento do sistema num número de vezes ou quantidade pré-definida. Um exemplo de uma aplicação desta técnica é a troca de um dispositivo de corte após este ter sido acionado um determinado número de vezes pré-definido [34].

4.1.2.2 Manutenção Preventiva Periódica

A manutenção preventiva periódica é realizada e programada com base em tempo, de acordo com esta política de manutenção, as manutenções são agendadas de forma periódica com base em estatísticas de ativos semelhantes [34], [35].

4.1.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva procede à formulação de um problema de otimização dentro do cronograma de manutenção. Esta tem como objetivo minimizar a ocorrência de falhas de um componente, visa também aumentar a confiabilidade, disponibilidade e o custo-benefício dos equipamentos ou processos de um sistema, reduzindo a probabilidade de ocorrência de falhas. A PdM (Predictive Maintenance) apresenta algumas vantagens como a redução do tempo de inatividade dos ativos, a redução de custos de manutenção e o aumento da eficiência operacional [36]. Esta política de manutenção inclui algumas estratégias como a manutenção baseada em fiabilidade, a manutenção baseada em condição e a manutenção baseada em risco. Estas três políticas de manutenção podem também ser dominadas respetivamente por Reliability Centered Maintenance (RCM), Condition Based Maintenance (CBM) e Risk Based Maintenance (RBM), utilizando os seus termos em inglês [37].

4.1.3.1 Manutenção Baseada em Fiabilidade

A Manutenção com Base na Fiabilidade, ou em inglês, Reliability Centered Maintenance, visa diminuir o custo de manutenção, tendo um maior foco nas funções essenciais do sistema e evitando ações de manutenção que não sejam rigorosamente exigidas, esta técnica de manutenção tem também como objetivo aumentar o tempo de vida útil de um equipamento e reduzir o seu tempo de inatividade [32], [36]. A RCM visa determinar o que deve ser feito de forma a garantir que qualquer ativo continue a operar de maneira correta [38]. Esta estratégia de manutenção tem como base o estado real dos elementos mais críticos de um sistema. Considera diferentes políticas de manutenção, tais como, política de substituição por idade, política de substituição de bloco e política de reparo mínimo [32]. O processo geral da estratégia de RCM, pode ser dividido em cinco etapas: inicialização e planeamento, análise de falhas funcionais, seleção de tarefas, implementação e melhoramento contínuo [39], [40].

4.1.3.2 Manutenção com Base em Condição

Manutenção Baseada em Condição, ou em inglês, *Condition Based Maintenance* (CBM) é uma estratégia de manutenção preditiva que se realiza antes de acontecer uma falha no sistema. Esta tem como base monitorizar a qualidade das condições dos equipamentos inerentes a um sistema. Desta forma, esta estratégia de manutenção permite detetar certos acontecimentos que possam se traduzir numa possível falha do sistema e a probabilidade de ocorrência desses acontecimentos. A monitorização da condição atual dos equipamentos tem por base métricas físicas, tais como, temperatura, pressão e outras métricas também utilizadas. No caso dos valores destas variáveis se desviarem dos limites estabelecidos, procede-se a ações de manutenção. De modo a colocar em prática esta política de manutenção é necessária uma maior densidade de informação acerca dos ativos monitorizados, bem como os custos associados ao ciclo de vida do ativo e das ações de manutenção necessárias. A CBM permite uma redução do tempo de inatividade dos sistemas, a minimização dos custos de tarefas extra, através do agendamento de atividades, e a otimização de intervalos de manutenção. Esta técnica permite avaliar a condição individual dos elementos do sistema, e obter a condição total do mesmo [32], [28]. Esta técnica apresenta vantagens como a prevenção de falha dos ativos e o aumento da segurança, fiabilidade e disponibilidade dos ativos. A necessidade de equipamentos de monitorização mais caros e complexos, bem como a complexidade de monitorização do estado de alguns equipamentos mostram-se como desvantagens desta política de manutenção [41], [42].

4.1.3.3 Manutenção Baseada em Risco

A Manutenção Baseada em Risco tem como objetivo principal reduzir o risco geral de um sistema por vias de manutenção. O risco pode ser definido como uma combinação entre a probabilidade de acontecimento e as suas consequências [43]. Esta estratégia de manutenção avalia todos os ativos e prioriza a sua manutenção de acordo com a probabilidade de falha e as consequências de defeito dos mesmos. A RBM permite planos de manutenção mais flexíveis para ativos de menor risco e planos menos flexíveis para ativos que apresentem um maior risco de falha geral do sistema [32]. De modo a se conseguir encontrar métodos de análise de risco, é benéfico fazer a análise comparativa entre a probabilidade, alta ou baixa, de falha de um ativo e a consequência, alta ou baixa, proveniente da falha desse mesmo ativo. Através da Figura 5, é possível ter uma ideia mais clara acerca da análise necessária a efectuar em políticas de manutenção com base em risco, tendo por base a probabilidade e consequências de falha de um ativo.

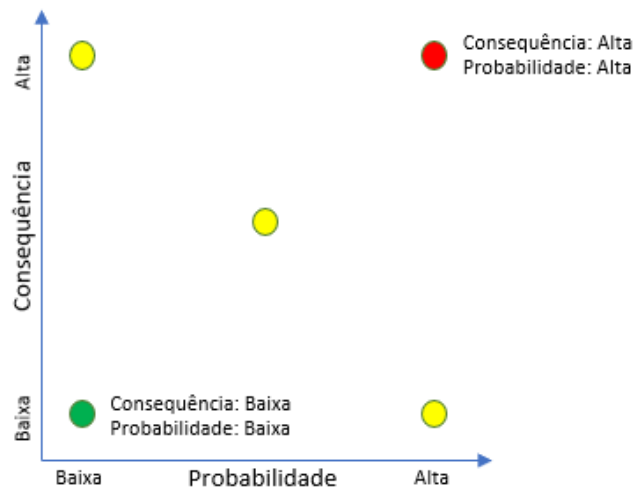


Figura 8 - Relação de Probabilidade e Consequência em Manutenção Baseada em Risco [Adaptado de [43]].

Mediante uma análise da Figura 8, é possível afirmar que os ativos que se encontrem numa situação similar aos do ponto vermelho estão em um estado crítico, pelo que necessitam de uma rápida ação de manutenção interventiva. Os ativos com características de probabilidade de falha e grau consequência semelhantes aos dos pontos amarelos, situam-se num estado mediano e devem ter uma monitorização intensa. Ativos que apresentem características semelhantes às dos ativos situados no ponto verde, não representam um estado de degradação e criticidade elevados, pelo que necessitam apenas de monitorização continuada [43].

5 Análise de Estado/Risco

A degradação e envelhecimento de um ativo induz uma degradação do seu estado e no aumento da probabilidade de falha, aumentando a necessidade de intervenção no mesmo. Através da análise da informação proveniente dos ativos da rede, é possível fazer uma estimativa acerca do seu estado e das respetivas consequências de falha. A análise de estado e risco de ativos permite alocar recursos de forma seletiva, para minimizar a probabilidade de falha de ativos relevantes em função de outros menos críticos. Devido a limitações orçamentais e a valorizações económicas torna-se importante a realização desta análise de risco de modo a definir prioridades na gestão e manutenção de ativos. Um melhor conhecimento do ciclo de vida dos ativos permite aos gestores de ativos um melhor apoio à decisão.

De modo a garantir a continuidade da qualidade de serviço e fiabilidade da rede dá-se a necessidade de avaliar a situação do estado de condição em que um ativo se encontra. Deve ser efetuada uma análise relativa à integridade do ativo e às consequências associadas à falha de cada equipamento [44].

Ao longo deste capítulo serão abordadas duas metodologias, sendo estas denominadas de método das ponderações e método das entradas pré-definidas, que visam a avaliação do estado dos ativos e da criticidade que a falha destes possa representar para a rede. Ambas as metodologias são baseadas em indicadores de estado e de criticidade. Estas metodologias recorrem à classificação dos indicadores resultantes de vários possíveis testes para a avaliação do estado e criticidade do ativo. Na primeira metodologia, no método das ponderações, os índices de saúde e criticidade são obtidos através da multiplicação de classificações atribuídas a cada variável pelos pesos de cada respetiva variável. O cálculo dos índices de saúde e criticidade podem ser obtidos através da equação (2) [45], [46].

$$IS = \sum_i C_i \times P_{vi} \quad (2)$$

Em que:

IS – Índice de Saúde;

C_i – classificação da variável i ;

P_{vi} – peso da variável i .

Na segunda metodologia, no método das entradas pré-definidas, são calculadas pontuações de saúde e um valor de criticidade que podem corresponder com os índices de saúde e criticidade, respetivamente. Para o cálculo das pontuações de saúde e valor de criticidade recorre-se a fatores com valores tabelados. Estes fatores podem variar em função da análise de indicadores do estado dos ativos e de criticidade dos mesmos em caso de falha, permitindo assim, variar o valor das pontuações de saúde e valor de criticidade associados a cada dispositivo, em função do seu estado e risco de falha. Esta metodologia tem como um dos diferentes objetivos, a previsão do desempenho dos ativos da rede ao longo do tempo [47].

5.1 Método das Ponderações

Esta metodologia visa obter indicadores de saúde e criticidade que permitem realizar uma avaliação comparativa e apoiar na decisão de gestão da rede. Estes indicadores servem como apoio à decisão de condicionamento, remodelação, substituição e melhoria dos ativos de uma rede elétrica. A avaliação destes indicadores auxilia a realizar a gestão de risco sobre os ativos pertencentes a essa rede [48], [49]. Tem como um dos objetivos a prevenção da falha dos dispositivos, sendo suportada por técnicas de monitorização, análise preditiva do estado do ativo e das consequências de falha do mesmo [44].

A aplicação desta metodologia passa inicialmente por definir e classificar diferentes indicadores de estado e criticidade, que visam respetivamente, a obtenção de um índice de saúde e um índice de criticidade correspondente dos ativos. Após a obtenção e classificação dos indicadores de estado e criticidade, de modo a priorizar e estabelecer hierarquias de importância entre indicadores, deve ser realizada uma ponderação relativa à importância de cada indicador, resultando em diferentes pesos percentuais relativos. Os pesos obtidos traduzem a influência que cada indicador terá no resultado obtido. A aplicação desta metodologia e os resultados obtidos pela mesma servem apenas como base de apoio à decisão, pelo que, todas as decisões a serem tomadas relativamente ao futuro dos ativos, devem ser realizadas com base numa análise mais detalhada de cada equipamento [45], [49], [50].

5.1.1 Indicadores de Estado

Os indicadores de estado têm como objetivo classificar o estado dos ativos da rede elétrica. Representam a condição e o contexto técnico de um equipamento, sendo uma representação indireta da sua probabilidade de falha [44]. Diferentes indicadores permitem obter a informação acerca do estado de saúde de um ativo. Fazendo uma avaliação de diagnóstico destes indicadores, é possível ter uma percepção do estado de saúde atual do ativo

[45]. Esta informação pode ser utilizada para saber quais os ativos que devem ser sujeitos a ações de remodelação ou substituição, realizando se necessário, ações de manutenção para prolongar o tempo de vida útil do ativo. Atributos como a idade do ativo, a sua condição, o desempenho do ativo e a sua localização são considerados nesta análise de estado. A remodelação dos ativos de uma rede elétrica, baseada em indicadores de estado, representa um custo bastante inferior ao valor que seria necessário para uma remodelação baseada apenas na idade dos ativos [44]. Neste documento, os atributos utilizados para a obtenção do índice de saúde do ativo são classificados entre três diferentes categorias: perfil e performance, condição e fator de localização

A forma como são classificados os indicadores de estado e criticidade varia entre empresas e operadores de rede, esta variação passa desde a sua escala classificativa, à formulação e utilização de diversas variáveis. Ao longo deste documento, na aplicação do método das ponderações, de forma a obter o índice de saúde de um ativo, são considerados diferentes critérios de avaliação classificados numa escala que varia entre 1 e 5, em que, 1 é a pontuação de melhor estado e a 5 a pontuação que indica o pior estado [51]. De modo a que uma má leitura dos indicadores de condição não possa influenciar de forma negativa o resultado do índice de saúde, é aplicado um valor limite a alguns indicadores, para que, no caso de ser ultrapassado, indique que o ativo está em condições bastante degradadas, devolvendo um índice de saúde com o pior valor possível [52].

5.1.1.1 Perfil e Performance

Os atributos de perfil e performance permitem avaliar o desempenho do ativo. Entre várias possibilidades, o conjunto destes indicadores pode ser composto pela idade do ativo, o stress operacional do ativo e o número de manobras efectuadas pelo mesmo [45].

Idade

A idade do ativo é datada desde a sua data de fabrico. Com o aumento da idade do equipamento, é esperado que o seu índice de saúde se torne pior, resultando num aumento da probabilidade de falha do dispositivo [47], [53].

A idade do ativo pode ser dada através da equação (3).

$$Idade = Ano Atual - Ano de Fabrico \quad (3)$$

Stress Operacional

O stress operacional, aplicável aos disjuntores e menos significativo para os seccionadores, permite avaliar a carga de trabalho ou desgaste associados aos equipamentos, através do número de defeitos eliminados pelo dispositivo, que geralmente é limitado pelos fabricantes. Um dispositivo com um stress operacional elevado pode ser indicativo de um maior estado de degradação [54].

Número de Manobras

O número de manobras, aplicado a disjuntores e seccionadores, refere-se às manobras realizadas pelo dispositivo, permitindo avaliar o seu estado consoante o número de manobras realizadas. Estas são limitadas conforme o tipo de dispositivo e o seu número máximo de referência deve de ser limitado de acordo com dados fornecidos pelo fabricante [55], [56].

5.1.1.2 Indicadores de Condição

Os indicadores de condição têm como função indicar o estado de degradação do ativo, tendo como base a análise contínua do estado de condição dos ativos em estudo, com recurso a ações de medição e observação de diferentes componentes do ativo [45], [49]. O conjunto de indicadores de condição presente é composto por diferentes variáveis, tais como: inspeção visual, inspeção termográfica, medição da resistência de contactos, medição da resistência de isolamento, avaliação da presença de fugas no meio isolante, medição da corrente da bobina durante a abertura dos contactos, medição da corrente do motor, tempos de abertura e fecho dos contactos e qualidade do isolamento.

Inspeção Visual

De modo a garantir o bom funcionamento dos ativos, deve ser realizada uma inspeção visual para verificar se os dispositivos se apresentam visualmente danificados. Esta variável é aplicável a disjuntores e seccionadores. Através da inspeção visual é possível verificar se existem marcas de corrosão, o estado das tubagens e acopolamentos mecânicos, marcas de degradação, componentes partidos ou danificados, limpeza do ativo, os sistemas de lubrificação, pressão, nível de óleo e outros fatores que sejam visivelmente identificados e possam refletir uma possível falha do equipamento. Se após a inspeção visual não for identificado nenhum problema, no que diz respeito a este parâmetro, pode-se indicar que o ativo se encontra em bom estado e classifica-se como não deteriorado. Define-se o ativo como estado moderado, classificando-o como um pouco deteriorado, se este apresentar alguma anomalia de menor relevância e que não seja um fator de gravidade para o estado do ativo. Se o ativo apresentar necessidade de reparação ou marcas visíveis de potenciais falhas que possam prejudicar o ativo, este pode-se classificar como em mau estado e classifica-se como muito deteriorado [56].

Inspeção Termográfica

A temperatura dos circuitos primários tem uma influência de elevado valor na vida útil do isolamento dos dispositivos de comutação. A existência de um ponto quente num circuito primário poderá causar graves danos nos isolamentos que estejam perto desse ponto quente, resultando numa qualidade dielétrica mais vulnerável podendo ser uma causa de falha do ativo. Juntas soltas devido a vibrações, danos mecânicos, o aumento da resistência dos contactos, e outros fatores podem estar na causa de um aumento da libertação de calor e conseqüente formação de pontos quentes que podem ser facilmente detetados utilizando uma técnica de termografia. A termografia, aplicada a disjuntores e seccionadores, é uma técnica de manutenção, que permite a localização de pontos de um equipamento ou instalação que

atingem uma temperatura anormal. Esta é uma técnica de baixo custo, rápida execução e eficaz. Permite ainda, realizar inspeções sem retirar as instalações de funcionamento. A existência de diferentes pontos quentes, em comparação com outros dispositivos pode indicar um estado de deterioração do dispositivo [57].

Medição da Resistência de Contacto

Durante a operação de manobra de um dispositivo de comutação, o arco aquece o contacto principal, em conjunto com o stress mecânico, faz com que o contacto do dispositivo esteja sujeito a uma maior probabilidade de deformações/desgaste, ocorrendo um aumento gradual da resistência de contacto do disjuntor. De modo a avaliar a condição do contacto do ativo e a sua condição mecânica, deve-se proceder a uma medição dinâmica da resistência do contacto que permite verificar a condição real dos contactos principais e de arco, sem desmontar o disjuntor. Uma maior resistência de contacto pode levar a uma maior libertação de calor e um aumento do número de perdas. Desta forma, um maior valor da resistência de contacto traduz-se num pior estado de condição do ativo. Uma resistência de contacto ideal é quando esta está como nova, dentro dos valores recomendados pelo fabricante, valores superiores aos indicados pelo fabricante mostram diferentes possíveis estados de degradação. Esta variável de medição de condição é aplicável aos disjuntores e seccionadores [55], [58].

Medição da Resistência de Isolamento

A resistência do isolamento, aplicável apenas aos disjuntores, refere-se a capacidade do isolamento do ativo de suportar os níveis de tensão a si aplicados, a resistência de isolamento mostra uma relação com as perdas de energia. Quanto menor o valor da resistência de isolamento maior o nível de degradação do isolamento. De acordo com a norma IEC 61439-1 o valor mínimo da resistência de isolamento medido deve de ser $1M\Omega/V$ [59], [60].

Fugas do Meio Isolante

A verificação de fugas do meio isolante, aplicável apenas aos disjuntores, permite avaliar se o óleo ou gás extintor do arco elétrico, se está a perder, o que conseqüentemente poderá resultar numa falha grave do dispositivo. Em disjuntores a óleo é possível verificar o nível de óleo do dispositivo através técnicas de medição ou de um visor incorporado no mesmo, verifica-se também a existência de fugas de óleo através de pequenas manchas de óleo no ativo ou abaixo do mesmo. Em disjuntores a gás é possível monitorizar a existência de fugas através da monitorização dos níveis de pressão do gás [47].

Medição da Corrente da Bobina

A corrente da bobina representa um percentual elevado na estatísticas de falhas graves em disjuntores de muito alta tensão. Controlar e registar a corrente da bobina permite a previsão de possíveis falha no circuito de controlo e dos contactos auxiliares dos dispositivos. Um valor de corrente que esteja fora do indicado pelo fabricante pode ser um indicador de degradação do ativo [61].

Medição da Corrente do Motor

Existe uma relação quadrática entre a corrente do motor e o seu binário e funcionamento. Sabe-se que durante uma possível falha de um seccionador, o valor do binário do motor pode aumentar e a forma de onda da corrente do mesmo também se altera. Através da avaliação da corrente do motor é possível verificar possíveis falhas destes dispositivos [62], [63].

Tempo de Abertura

O tempo de abertura de um dispositivo de comutação, aplicável a disjuntores e seccionadores, refere-se ao intervalo de tempo desde que é ativada a sua abertura até ao instante em que os contactos de arco se separam em todos os polos. É fundamental analisar este parâmetro para garantir a capacidade de comutação e a integridade da resistência mecânica do dispositivo. Um tempo de abertura demasiado baixo pode influenciar de forma negativa a capacidade de comutação capacitiva e a interrupção de uma corrente de curto-circuito. Um tempo de abertura demasiado longo poderá estar na causa de sobretensões. O tempo de abertura dos disjuntores são medidos em milisegundos (ms), enquanto, o tempo de abertura dos seccionadores são medidos em segundos (s). É importante que estes tempos estejam dentro dos parâmetros especificados pelos fabricantes. Tempos de abertura que estejam fora dos limites impostos pelos fabricantes podem causar um aumento do tempo do arco, podendo ocorrer um aumento excessivo do desgaste dos contactos e até o derretimento total dos contactos [58], [64].

Tempo de Fecho

O tempo de fecho de um dispositivo de comutação, aplicável a disjuntores e seccionadores, refere-se ao intervalo de tempo desde que é ativado o fecho dos contactos do dispositivo até ao instante em que os contactos de arco se tocam em todos os polos. Um tempo de fecho mais duradouro provoca um aumento da duração do pré-arco e resulta numa tensão térmica maior nos contactos do arco. O tempo de fecho dos disjuntores são medidos em milisegundos (ms), enquanto, o tempo de fecho dos seccionadores são medidos em segundos (s). É importante que estes tempos estejam dentro dos parâmetros especificados pelos fabricantes. Tempos de fecho que estejam fora dos limites impostos pelos fabricantes podem causar um aumento do tempo do arco, podendo ocorrer um aumento excessivo do desgaste dos contactos e até o derretimento total dos contactos [58], [64].

Qualidade do Isolamento

Nos disjuntores, é necessário garantir a qualidade do isolamento extintor do arco elétrico. O teste da qualidade do isolamento faz uma análise abrangente às propriedades dielétricas dos fluídos/gases de isolamento dos disjuntores. Efectuar testes de qualidade do isolamento permite obter uma informação cerca da condição de um equipamento. Em disjuntores a gás, são observados parâmetros do isolamento como o ponto de orvalho do gás, a sua pureza e decomposição [65].

5.1.1.3 Fator de Localização

O fator de localização permite obter uma estimativa da degradação do equipamento, tendo em conta a localização do mesmo. Para avaliar o possível estado do ativo com base na sua localização, neste documento, é utilizada a variável níveis de corrosão [47].

Níveis de Corrosão

Os níveis de corrosão do local em que um ativo está situado permitem entender a forma como o estado de degradação de um ativo poderá evoluir no que diz respeito à corrosão dos seus materiais. Neste estudo, estes são classificados em cinco níveis, C1, C2, C3, C4 e C5 [66].

5.1.2 Indicadores de Criticidade

Os indicadores de criticidade têm como objetivo obter uma estimativa acerca das consequências resultantes em caso de falha de ativos. A utilização e obtenção destes indicadores visa apoiar a decisão de investimentos, baseada em risco. Estes indicadores permitem conhecer a informação acerca das consequências da falha de um ativo para a rede elétrica [67], [68].

Neste documento, de forma a obter o índice de criticidade de um ativo, são considerados diferentes critérios de avaliação, classificados numa escala que varia entre 1 e 5, em que, 1 é a pontuação que representa o menor grau de criticidade e a 5 a pontuação que indica o maior grau de criticidade. Os indicadores de criticidade utilizados, neste documento, para a obtenção do índice de criticidade do ativo são classificados entre três diferentes categorias: financeira, ambiental e performance de rede.

5.1.2.1 Indicadores Financeiros

Os indicadores financeiros combinam o resultado da consequência financeira da falha de um ativo. Estes permitem estimar o impacto e gravidade financeira que o ativo representa. Variáveis como o custo total do ativo e a dificuldade de acesso ao ativo podem ser utilizadas no cálculo de indicadores financeiros [47], [67], [68].

Valor do Ativo

O valor do ativo ajuda na percepção dos custos financeiros que se pode incorrer em caso de falha do mesmo, quanto maior o valor do ativo, maiores serão os custos em caso de necessidade de substituição ou reparação do ativo [68].

Tipo de Acesso ao Ativo

Dependendo da sua localização, o acesso ao ativo pode ser mais ou menos facilitado, pelo que, em situações em que o acesso é mais dificultado, como locais com constrangimentos, ou por exemplo, subestações subterrâneas (em redes de tensões mais reduzidas), pode-se incorrer em custos mais elevados no caso de necessidade de manutenção, substituição ou remodelação do ativo [47].

5.1.2.2 Indicadores Ambientais

Os indicadores ambientais estimam as consequências que a falha de um ativo tem, do ponto de vista ambiental. De modo a se conseguir obter a influência do ativo no ambiente, podem ser utilizadas variáveis como o volume de óleo perdido, o volume de gás SF6 perdido e se este está equipado ou não com um meio de contenção de líquidos [47], [67], [68].

Volume de Óleo Perdido

As fugas de óleo para o ambiente representam um fator de poluição ambiental, quanto maior o volume de óleo perdido por um equipamento, tendencialmente, maior poderá ser o contributo negativo que o ativo representa para o ambiente [47], [68].

Volume de Gás SF6 Perdido

As fugas de gás SF6 para o ambiente representam um fator de poluição ambiental, estas fugas de gás permitem quantificar a quantidade do gás SF6 involuntariamente libertado no ar, quanto maior o volume de gás SF6 perdido por um equipamento, tendencialmente, maior poderá ser o contributo negativo que o ativo representa para o ambiente [47], [68].

Meio de Contenção

O meio de contenção serve como proteção preventiva, em casos eventuais de possíveis fugas de fluídos dos equipamentos. Os meios de contenção permitem reter fluídos em caso de fuga e evitar que estes se propaguem [47].

5.1.2.3 Indicadores de Performance da Rede

Os indicadores de performance da rede estimam alterações no funcionamento da rede em caso de falha de um dispositivo [67]. De modo a avaliar as consequências na qualidade do serviço da rede causadas pela falha de um ativo, neste documento, são utilizadas variáveis como a carga potencialmente afetada pela falha do ativo e o fator de redundância do ativo [47], [68].

Carga Afetada

A carga afetada, quantificada em percentagem, representa uma estimativa da quantidade de carga afetada pela falha de um dispositivo, dependendo da sua localização na rede, uma maior quantidade de fornecimento de carga de energia elétrica interrompida pode significar um maior número de utilizadores da rede elétrica com serviço suspenso, pelo que, quanto maior a carga afetada pelas falhas de um ativo, mais grave é a consequência de falha desse equipamento [47].

Fator de Redundância

O fator de redundância avalia a redundância do ativo instalado. Considera-se que um ativo está projetado com redundância se em caso de falha, existe um outro ativo do mesmo tipo, preparado para continuar o bom serviço da instalação e não comprometa a qualidade de serviço da instalação elétrica [47].

5.1.3 Ponderações

A ponderação dos possíveis diversos indicadores utilizados para obtenção dos índices de saúde e criticidade é um fator importante neste método de análise e avaliação de um ativo. Para o cálculo dos índices de saúde e criticidade dos ativos, dá-se a necessidade de alocação de diferentes pesos às variáveis de análise de estado e criticidade dos ativos. Atribuir pesos às variáveis permite atribuir uma maior ou menor significância a cada diferente parâmetro em estudo e obter, juntamente com a classificação de cada variável, os índices de avaliação do ativo.

O processo de análise hierárquica é um método multicritério que combina análises quantitativas e qualitativas. Este consiste numa análise hierárquica que permite obter o grau de importância relativa de um conjunto de variáveis, com vista na obtenção de um objetivo comum. A aplicação desta metodologia permite o cálculo dos pesos das variáveis de avaliação dos ativos e obter os índices de saúde e criticidade. A aplicação deste processo de análise hierárquica pode ser desenvolvida em diferentes etapas [45], [49]:

1ª – Definir um objetivo do processo de análise hierárquica [45], [49].

2ª – Construir um modelo hierárquico baseado no processo de análise das variáveis do problema. Numa primeira fase devem de ser identificadas as variáveis de estudo e de seguida deve-se efectuar uma avaliação das mesmas [45], [49].

3ª – Elaborar uma matriz de comparação de pares para obter a contribuição e impacto de cada diferente variável. Considerado os diferentes parâmetros em estudo, revelando o nível de importância entre variáveis [45], [49].

A comparação par a par permite obter a importância relativa entre duas variáveis ou dois indicadores. Esta permite converter uma análise comparativa subjetiva em valores numéricos exatos, utilizando uma escala de conversão, apresentada na Tabela 3. Devido à necessidade de maior sensibilidade de resultados na comparação de elementos próximos, esta é uma escala balanceada.

Tabela 3 - Escala de Conversão de Valores [45], [49]

Definição	Escala	Definição	Escala
Igual	1	Igual	1
(-) Fraco	1/1,22	(+) Fraco	1,22
(-) Moderado	1/1,5	(+) Moderado	1,5
(-) Mais Moderado	1/1,86	(+) Mais Moderado	1,86
(-) Forte	1/2,33	(+) Forte	2,33
(-) Mais Forte	1/3	(+) Mais Forte	3
(-) Muito Forte	1/4	(+) Muito Forte	4
(-) Muito Muito Forte	1/5,67	(+) Muito Muito Forte	5,67
(-) Extremo	1/9	(+) Extremo	9

A matriz de comparação utilizada, é uma matriz quadrada de tamanho $n \times n$, em que n é o número de variáveis em estudo. Os elementos da diagonal principal da matriz são iguais a 1, os valores do triângulo inferior da matriz são inversos aos valores do triângulo superior da mesma. Na equação (4), é possível observar um exemplo da construção da matriz de comparação par a par utilizada neste método.

$$M = [u_{ij}] = \begin{matrix} 1 & u_{12} & u_{13} \\ \frac{1}{u_{12}} & 1 & \dots \\ \frac{1}{u_{13}} & \dots & 1 \end{matrix} \quad (4)$$

Em que:

$$u_{ii} = 1, u_{ji} = 1/u_{ij}, i \text{ e } j = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

Após a construção e preenchimento da matriz de comparação, o valor do peso de cada variável é dado pela equação:

$$P_{vi} = \frac{\sqrt[n]{\prod_{m=1}^n M_{in}}}{\sum_1^n (\sqrt[n]{\prod_{m=1}^n M_{in}})} \quad (5)$$

Em que:

P_{vi} é o valor do peso da variável i ;

M_{in} é o respectivo conjunto de pares da matriz;

n é o tamanho da matriz.

4ª – Verificar a consistência dos resultados obtidos [45], [49].

É importante verificar a consistência dos resultados da comparação matricial par a par. Para isso, é realizado o cálculo da razão de consistência, dada pela equação (6).

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (6)$$

Em que:

RI é dado pela Tabela 4;

Tabela 4 - Valores de RI Utilizados para o Cálculo de RC [45]

Matriz de Ordem n	RI
1	0
2	0
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45

IC representa o índice de consistência e pode ser obtido através da equação (7).

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (7)$$

Em que:

$\lambda_{\text{máx}}$ é dado pela soma dos valores de cada coluna, multiplicada pelo seu peso correspondente;

n corresponde ao valor da dimensão da matriz.

Admite-se que a comparação da matriz de pares apresenta uma consistência aceitável, se o valor da razão de consistência (RC) for inferior a 0,1.

5ª – Repetir as etapas 3 e 4 para todos os indicadores até obtenção do resultado final [45], [49].

6ª – Calcular o fator de ponderação de cada indicador, procedendo à soma de cada peso obtido das diferentes variáveis em estudo. O valor final do peso de uma variável é dado pelo peso inicial da variável, multiplicado pelo peso do respectivo indicador [45], [49].

5.2 Método das Entradas Pré-Definidas

Esta metodologia é baseada em dados de entrada e parâmetros de calibração que são utilizados para obter os índices de saúde e de criticidade dos ativos. Esta é uma adaptação da metodologia utilizada por DNO's britânicos. A aplicação e desenvolvimento destes métodos de trabalho têm como objetivo avaliar o estado de saúde atual e futuro dos ativos, com base na idade, performance, localização e fatores de condição do ativo. Para a avaliação do estado de saúde do ativo é utilizada uma escala de pontuação contínua, em que, o estado de saúde do ativo é pior consoante o aumento do valor da pontuação definida. É associada uma probabilidade de falha anual do ativo ao seu estado de saúde [47].

De modo a se conseguir quantificar e classificar o grau de consequência de falha de um ativo é utilizada uma escala única, em que, é associado um valor aos impactos resultantes de falhas dos ativos. A criticidade de um ativo, associada ao seu índice de criticidade é refletida através da comparação com valores de referência. Por fim, pode ser contruída uma matriz de risco, onde são comparados os índices de saúde e de criticidade, para facilitar o diagnóstico relativo ao estado e risco do ativo [47].

Pontuação de Saúde Inicial

A pontuação de saúde inicial reflete o estado inicial de saúde do ativo. Esta é calculada com base na idade do ativo, no seu tempo de vida útil expectável, em fatores de fiabilidade e fatores ambientais, que têm em conta a localização do ativo. De modo a obter-se o valor da pontuação de saúde inicial, é utilizada uma expressão exponencial genérica entre a idade do ativo e o seu estado de saúde, o formato da curva exponencial varia conforme o tempo de vida útil expectável do ativo. Para que a avaliação do estado de saúde de um ativo não seja feita apenas com base na idade, e para que um ativo não obtenha um valor de pontuação de saúde atual que indique que este atingiu o fim de vida útil, com base apenas na idade do equipamento, o valor da pontuação de saúde inicial é limitado a 5,5 [47]. A pontuação de saúde inicial é obtida através da seguinte equação:

$$Pontuação\ de\ Saúde\ Inicial = S_{Novo} \times e^{(\beta_1 \times Idade)} \quad (8)$$

Em que:

S_{Novo} - representa o estado de saúde de um ativo novo, o seu valor de pontuação é de 0,5;

Idade - representa a idade do ativo desde a sua data de fabrico, e pode ser calculada através da equação (3);

β_1 representa a taxa de variação de saúde de um ativo, esta taxa é obtida pela equação (6).

$$\beta_1 = \left(\frac{\ln \left(\frac{S_{Idade\ Expectável}}{S_{Novo}} \right)}{Idade\ Expectável} \right) \quad (9)$$

Em que:

S_{Novo} - representa o estado de saúde de um ativo novo, o seu valor de pontuação é de 0,5;

$S_{Idade\ Expectável}$ - representa a pontuação de saúde de um ativo quando este atinge a sua idade expectável, e o seu valor é igual a 5,5;

Idade Expectável - representa a idade de vida útil expectável do ativo e é derivada através da idade expectável normal, de um fator de utilização e do fator de localização, como é possível verificar na equação (10).

$$Idade\ Expectável = \left(\frac{Idade\ Expectável\ Normal}{Fator\ de\ Utilização \times Fator\ de\ Localização} \right) \quad (10)$$

Em que:

Idade Expectável Normal - é a idade de vida útil expectável pelo fabricante, neste caso, são considerados 30 anos de vida útil expectável do ativo;

Fator de Utilização – representa um envelhecimento adicional do ativo conforme a sua utilização, este fator será abordado e explicado na Secção 6.2.1.4;

Fator de Localização – representa os efeitos ambientais a que o ativo está sujeito, este fator será abordado e explicado na Secção 6.2.1.3.

Pontuação de Saúde Atual

A pontuação de saúde atual representa em valores numéricos, o estado de saúde atual do ativo. A obtenção da pontuação de saúde atual é derivada da pontuação de saúde inicial, modificando o valor da pontuação de saúde inicial com base em modificadores de observação e medição que avaliam a condição de estado do ativo e num fator de fiabilidade. Esta é classificada numa escala contínua que varia entre 0,5 e 10. Em que:

- O valor 0,5 é representativo de um ativo em que o seu estado de saúde é igual ao de um ativo novo;

- O valor 5,5 é representativo de um ativo que apresenta algumas marcas de uso e deterioração, devendo ser observado;

- O valor 10 é representativo de um ativo em condições extremamente más e a sua probabilidade de falha é 10 vezes superior à de um ativo novo.

Os fatores de observação podem incluir diversos ensaios como a inspeção visual, inspeção termográfica e verificação de fugas no meio isolante, sendo este último apenas para os disjuntores. Os fatores de medição podem ser diversos, tais como, o número de manobras, medição da resistência de contacto, medição da resistência de isolamento, tempo de fecho e abertura, medição da corrente da bobina na abertura (disjuntores), medição da corrente do motor (seccionadores) [47]. A pontuação de saúde atual obtém-se através da seguinte fórmula

$$\begin{aligned} \textit{Pontuação de Saúde Atual} \\ = \textit{Pontuação de Saúde Inicial} \times \textit{Modificador de Saúde} \\ \times \textit{Fator de Fiabilidade} \end{aligned} \quad (11)$$

Em que:

Pontuação de Saúde Inicial - representa em pontuação numérica, o estado de saúde inicial do ativo, esta pontuação pode ser calculada através da equação (8).

Modificador de Saúde – representa a condição do ativo e permite variar a pontuação de saúde do equipamento através da observação e medição da condição do equipamento, esta variável será abordada e explicada na Secção 6.2.2.1.

Fator de Fiabilidade - representa a fiabilidade do ativo, este fator será abordado e explicado na Secção 6.2.2.2.

Pontuação de Saúde Futura

Esta metodologia permite realizar uma estimativa da saúde futura do ativo e da sua probabilidade de falha futura. Pressupõe-se que à medida que um equipamento envelhece, este vai-se deteriorando e conseqüentemente o seu estado de saúde piora, resultando no aumento da sua probabilidade de falha. A obtenção desta pontuação é derivada através da pontuação de saúde atual com recurso a uma relação exponencial simples. O valor da pontuação de saúde futura ultrapassa a escala da pontuação de saúde atual e é limitado a 15 [47]. A pontuação de saúde futura pode ser obtida através da seguinte equação

$$Pontuação\ de\ Saúde\ Futura = Pontuação\ de\ Saúde\ Atual \times e^{((\beta_2/r) \times t)} \quad (12)$$

Em que:

Pontuação de Saúde Atual - representa em pontuação numérica, o estado de saúde atual do ativo, esta pontuação pode ser calculada através da equação (8).

r - representa o fator de redução de envelhecimento do ativo, esta taxa é abordada e explicada na Secção 6.2.3.2.

t – representa o número de anos para o qual se pretende fazer a previsão futura.

β_2 - representa a taxa de envelhecimento previsto esta pode ser calculada através da equação (13).

$$\beta_2 = \frac{\ln\left(\frac{Pontuação\ de\ Saúde\ Atual}{S_{Novo}}\right)}{Idade} \quad (13)$$

Em que:

Pontuação de Saúde Atual - representa em pontuação numérica, o estado de saúde atual do ativo, esta pontuação pode ser calculada através da equação (8);

S_{Novo} - representa o estado de saúde de um ativo novo, o seu valor de pontuação é de 0,5;

Idade - representa a idade do ativo desde a sua data de fabrico, e pode ser calculada através da equação (3);

$\beta_2 \leq 2 \times \beta_1$.

Consequências de Falha

De modo a avaliar as consequências de falha de um ativo, são considerados três fatores específicos: financeiro, ambiental e desempenho da rede. Para cada ativo em estudo, o valor de cada fator varia consoante diferentes variáveis de avaliação. É elaborado um valor para cada um desses fatores que representa o impacto de uma falha, o valor resultado da soma dos fatores de avaliação de consequência resulta na indicação da consequência geral do ativo, este cálculo é realizado de acordo com a fórmula da equação (14) [47].

$$\begin{aligned} \text{Consequências de Falha} \\ = \text{Indicador Financeiro} + \text{Indicador Ambiental} \\ + \text{Indicador de Desempenho da Rede} \end{aligned} \quad (14)$$

Estes fatores de avaliação (financeiro, ambiental e indicador de desempenho da rede) das consequências de falha de um ativo são abordados mais explicitamente, respetivamente nas Secções 6.2.4.1, 0, 6.2.4.2.

Análise de Risco

De modo a se conseguir uma interpretação geral à cerca do estado e das consequências de falha que um ativo pode representar, elabora-se uma análise que combina os índices de saúde e de criticidade do mesmo. O índice de saúde (IS) é representado através de cinco diferentes categorias, IS1, IS2, IS3, IS4 e IS5, em que IS1 representa um melhor estado de saúde do ativo e IS5 representa um pior estado de saúde do ativo [47]. A Tabela 5 mostra a correspondência entre a pontuação de saúde e as categorias de classificação do índice de saúde do ativo. O índice de criticidade (IC) é representado por IC1, IC2, IC3 e IC4, em que IC1 é definido com baixa criticidade, IC2 representa criticidade moderada, IC3 corresponde a uma alta criticidade e IC4 corresponde a uma muito alta criticidade. A Tabela 6 mostra a correspondência entre a percentagem dos valores obtidos e a classificação do índice de criticidade [47].

Tabela 5 - Classificação do Índice de Saúde Através da Pontuação de Saúde [47]

Classificação	Pontuação de Saúde
IS1	$\geq 0,5$ e < 3
IS2	≥ 3 e $< 5,5$
IS3	$\geq 5,5$ e $< 6,5$
IS4	$\geq 6,5$ e < 8
IS5	≥ 8 e ≤ 15

Tabela 6 - Classificação do Índice de Criticidade em Função da Percentagem de Criticidade [47]

Classificação	Percentagem dos Valores de Falha (Valor de Criticidade/Valor de Referência) x 100
IC1	$< 75\%$
IC2	$\geq 75\%$ e $< 125\%$
IC3	$\geq 125\%$ e $< 200\%$
IC4	$\geq 200\%$

6 Aplicação da Metodologia

De modo a estudar a aplicação das duas metodologias em estudo, estas foram adaptadas a diferentes hipotéticos casos de estudo. Formulou-se casos de estudo em que estes métodos são aplicados a diferentes dispositivos, disjuntores e seccionadores. São utilizados dados de entrada, de condição e criticidade, distintos. Os dados utilizados neste estudo não são dados históricos reais. Para a formulação de vários hipotéticos casos de estudo, foram gerados dados relativos aos dispositivos, de forma aleatória.

6.1 Análise de Estado e de Risco Utilizando o Método das Ponderações

Para proceder à análise do estado e de risco dos equipamentos, segundo o método das ponderações, deve-se inicialmente classificar as variáveis de análise de estado e criticidade de cada ativo. Após efetuada essa análise, deve-se proceder ao cálculo do fator de ponderação para obter o peso de cada respetiva variável de estado e de criticidade [45], [49], [69]. Com as variáveis já devidamente classificadas e com os pesos calculados, ao cálculo dos índices pretendidos, utilizando dados de entrada gerados aleatoriamente. Obtém-se os índices de saúde e criticidade do ativo, de seguida procede-se à análise de risco dos dispositivos com ajuda de uma matriz de risco [52].

6.1.1 Classificação das Variáveis de Estado de um Disjuntor

Para efetuar a análise do estado de disjuntores de muito alta tensão, numa primeira instância deve-se classificar as diferentes variáveis dos indicadores de condição destes ativos. De seguida, deve-se efetuar ponderações com estas mesmas variáveis de modo a obter os

pesos que serão multiplicados pelas classificações, de forma a obter os índices de saúde e criticidade [45], [49], [69]. As possíveis variáveis de avaliação dos diferentes indicadores, e a sua eventual respetiva classificação, aplicados à avaliação da condição de estado dos disjuntores estão apresentadas na Tabela 7. Como os valores de classificação das variáveis podem variar entre ativos e fabricantes, as classificações apresentadas devem ser realizadas através de valores percentuais de valores de referência fornecidos pelos fabricantes. O valor de referência de cada variável de classificação é representado por “REF”.

Tabela 7 - Tabela Classificativa das Variáveis de Estado dos Disjuntores [14], [47], [56], [57], [66], [70], [71], [72]

Indicadores de Perfil e Performance					
Idade					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
0-7	8-15	15-22	23-30	> 30	-
Stress Operacional					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
Baixo	-	-	-	Alto	-
Número de Manobras					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
< 50% \times REF _{máx}	\geq 50% \times REF _{máx} < 65% \times REF _{máx}	\geq 65% \times REF _{máx} < 85% \times REF _{máx}	\geq 85% \times REF _{máx} < 100% \times REF _{máx}	\geq 100% \times REF _{máx} < 110% \times REF _{máx}	\geq 110% \times REF _{máx}
Indicadores de Condição					
Termografia					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
Sem Pontos Quentes	-	Ponto B e C	-	Ponto A	-
Resistência de Contacto					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
\leq REF	-	\geq REF < 110% \times REF	-	\geq 110% \times REF < 120% \times REF	\geq 20% \times REF
Resistência de Isolamento					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
\geq REF	-	-	-	< REF	< 90% \times REF
Fugas no Meio Isolante					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
Sem Fugas	-	Fugas Ligeiras	-	Fuga Grave	-
Medição da Corrente da Bobina na Abertura					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
\leq REF	-	-	-	> REF	\geq 110% \times REF
Tempo de Abertura					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
[REF _{min} ;REF _{máx}]	-	-	-	<REF _{min} ;>REF _{máx}	< 90% \times REF _{min} >110% \times REF _{máx}
Tempo de Fecho					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
[REF _{min} ;REF _{máx}]	-	-	-	<REF _{min} ;>REF _{máx}	< 90% \times REF _{min} >110% \times REF _{máx}

Qualidade do Isolamento					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
Não Deteriorado	-	Um Pouco Deteriorado	-	Muito Deteriorado	> REF

Fator de Localização					
Indicador de Corrosão					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
C1	C2	C3	C4	C5	-

6.1.2 Ponderações Disjuntoras

A obtenção dos pesos das diferentes variáveis dos possíveis indicadores de estado dos disjuntores pode ser feita através do seguinte método:

1ª – Definição do objetivo: Obtenção do fator de ponderação do índice de saúde de um disjuntor [45], [49].

2ª - Construção de um modelo hierárquico baseado no processo de análise das diferentes variáveis e avaliação dos fatores [45], [49].

Numa primeira fase definem-se os indicadores de estado (indicador de perfil e performance, indicador de condição e fator de localização). Cada indicador é constituído por diferentes variáveis como é possível verificar na Figura 9.

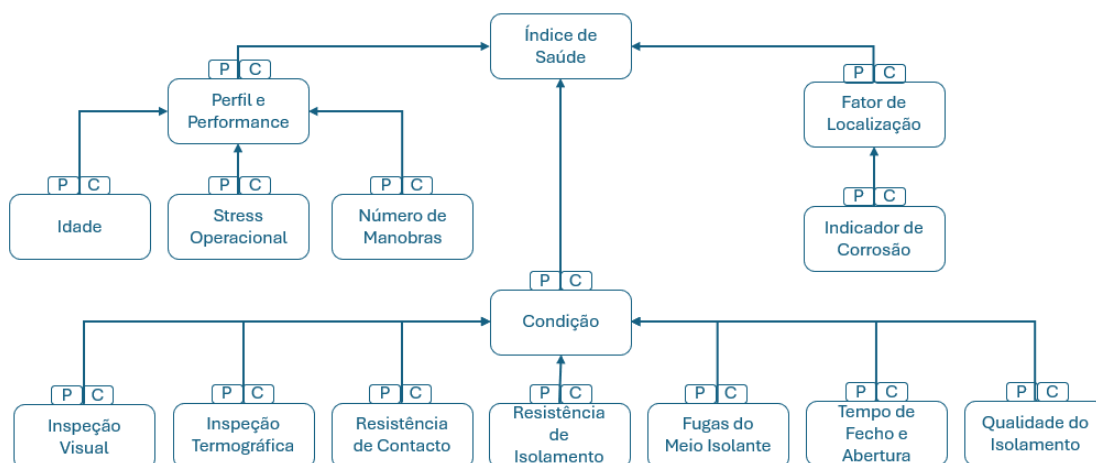


Figura 9 - Modelo Hierárquico de Comparação do Indicadores de Avaliação de um Disjuntor

A avaliação e comparação entre as diferentes variáveis são feitas com vista em dois diferentes parâmetros, fiabilidade de medição e criticidade. O primeiro parâmetro tem como objetivo avaliar a confiabilidade dos resultados obtidos nas diferentes variáveis. O segundo parâmetro visa avaliar a importância crítica relativa das variáveis.

3ª - Elaboração de uma matriz de comparação de pares. Para cada um dos diferentes indicadores, faz-se a comparação relativa das suas variáveis, nos diferentes parâmetros de

comparação, fiabilidade de medida e criticidade. Com esta comparação obtém-se um nível de importância relativo entre variáveis. De forma a obter-se a importância relativa entre parâmetros de avaliação em cada indicador, deve-se também efectuar a comparação entre parâmetros de avaliação de cada variável. Após análise comparativa entre variáveis e parâmetros de avaliação de cada indicador, deve-se proceder à análise comparativa entre os diferentes indicadores de avaliação [45], [49].

Perfil e Performance

A Tabela 8 e a Tabela 9 permitem verificar a comparação entre as diferentes variáveis do indicador perfil e performance, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade. A Tabela 10 permite comparar e obter a importância relativa entre os dois parâmetros de comparação.

Tabela 8 - Comparação Entre Variáveis de Perfil e Performance no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Disjuntor [45], [49]

FM	Idade	Stress Operacional	Número de Manobras
Idade	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Stress Operacional	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)
Número de Manobras	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)

Tabela 9 - Comparação Entre Variáveis de Perfil e Performance no Parâmetro Criticidade [45], [49]

CR	Idade	Stress Operacional	Número de Manobras
Idade	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Stress Operacional	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)
Número de Manobras	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)

Tabela 10 - Comparação Entre Parâmetros para os Indicadores de Perfil e Performance de um Disjuntor [45], [49]

Comparação de Parâmetros	FM	CR
FM	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)
CR	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)

A comparação de variáveis é realizada linha a linha com as diferentes colunas. É possível entender de melhor forma como é feita a leitura de cada matriz através do exemplo de leitura da tabela de comparação. Este exemplo de leitura é válido para a interpretação de todas as matrizes de comparação par a par deste documento.

Exemplo de Leitura da Tabela de Comparação

Na Tabela 8, a variável “idade” é comparada com as variáveis “idade”, “stress operacional” e “número de manobras”, no parâmetro de comparação fiabilidade de medida (FM). Neste caso, verifica-se que a variável “idade” (linha 1) tem uma fiabilidade de medição igual à variável idade (coluna 1), por serem a mesma variável. A variável “idade” (linha 1)

apresenta uma menor fiabilidade de medida (-), na medida fraco, em relação à variável “stress operacional” (coluna 2). Também, a variável “idade” (linha 1), apresenta uma menor fiabilidade de medida (-), na intensidade fraco, em relação à variável “número de manobras” (coluna 3).

Condição

A Tabela 11 e a Tabela 12 permitem verificar a comparação entre as diferentes variáveis do indicador condição, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade. A Tabela 13 permite comparar e obter a importância relativa entre os dois parâmetros de comparação.

Tabela 11 - Comparação Entre Variáveis de Condição no Parâmetro Fiabilidade de Medida [45], [49]

FM	Inspecção Visual	Termografia	Resistência de Contactos	Resistência de Isolamento	Fugas do Meio Isolante	Corrente na Bobina	Tempo de Fecho	Tempo de Abertura	Qualidade do Isolamento
Inspecção Visual	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Termografia	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)
Resistência de Contactos	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)
Resistência de Isolamento	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)	(+) Mais Moderado (1,86)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Moderado (1/1,50)
Fugas do Meio Isolante	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)	(-) Mais Moderado (1/1,86)
Corrente na Bobina	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Mais Moderado (1/1,86)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)	(-) Mais Moderado (1/1,86)
Tempo de Fecho	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)	(-) Mais Moderado (1/1,86)
Tempo de Abertura	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)	(-) Mais Moderado (1/1,86)
Qualidade do Isolamento	(+) Fraco (1,22)	(+) Moderado (1,50)	(-) Fraco (1/1,22)	(+) Moderado (1,50)	(+) Mais Moderado (1,86)	(+) Mais Moderado (1,86)	(+) Mais Moderado (1,86)	(+) Mais Moderado (1,86)	Igual (1)

Tabela 12 - Comparação Entre Variáveis de Condição no Parâmetro Criticidade [45], [49]

CR	Inspecção Visual	Termografia	Resistência de Contactos	Resistência de Isolamento	Fugas do Meio Isolante	Corrente na Bobina	Tempo de Fecho	Tempo de Abertura	Qualidade do Isolamento
Inspecção Visual	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Termografia	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)
Resistência de Contactos	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)

Resistência de Isolamento	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)	(+) Mais Moderado (1,86)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Moderado (1/1,50)
Fugas do Meio Isolante	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)	(-) Mais Moderado (1/1,86)
Corrente na Bobina	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Mais Moderado (1/1,86)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)	(-) Mais Moderado (1/1,86)
Tempo de Fecho	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)	(-) Mais Moderado (1/1,86)
Tempo de Abertura	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)	(-) Mais Moderado (1/1,86)
Qualidade do Isolamento	(+) Fraco (1,22)	(+) Moderado (1,50)	(-) Fraco (1/1,22)	(+) Moderado (1,50)	(+) Mais Moderado (1,86)	(+) Mais Moderado (1,86)	(+) Mais Moderado (1,86)	(+) Mais Moderado (1,86)	Igual (1)

Tabela 13 - Comparação Entre Parâmetros para os Indicadores de Condição [45], [49]

Comparação de Parâmetros	FM	CR
FM	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)
CR	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)

Fator de Localização

A Tabela 14 e a Tabela 15 permitem verificar que na comparação das variáveis do indicador fator de localização, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade, sendo esta apenas uma variável, o seu peso será igual a 1, ou seja, o valor deste indicador será totalmente distribuído por esta variável.

Tabela 14 - Comparação Entre Variáveis de Fator de Localização no Parâmetro Fiabilidade de Medida [45], [49]

FM	Nível de Corrosão
Nível de Corrosão	Igual (1)

Tabela 15 - Comparação Entre Variáveis de Fator de Localização no Parâmetro Criticidade de Medida [45], [49]

CR	Nível de Corrosão
Nível de Corrosão	Igual (1)

Comparação entre indicadores

A Tabela 16 permite analisar a comparação relativa entre os indicadores de avaliação de estado do ativo, obtendo-se o peso relativo de cada indicador.

Tabela 16 - Comparação Entre Indicadores de Estado dos Disjuntores [45], [49]

Indicadores	Perfil e Performance	Condição	Fator de Localização
Perfil e Performance	Igual (1)	(-) Extremo (1/9)	(+) Extremo (9)
Condição	(+) Extremo (9)	Igual (1)	(+) Extremo (9)
Fator de Localização	(-) Extremo (1/9)	(-) Extremo (1/9)	Igual (1)

4ª – Verificação da consistência dos resultados.

Tabela 17 - Consistência dos Resultados Obtidos para os Pesos das Variáveis dos Disjuntores [45], [49]

Indicadores	$\lambda_{\text{máx}}$	IC	RC	Consistência (Sim/Não)
Perfil e Performance x FM	3,0	0	0	Sim
Perfil e Performance x CR	3,0	0	0	Sim
Condição x FM	9,0	0	0	Sim
Condição x CR	9,0	0	0	Sim
Fator de Localização x FM	2,0	0	0	Sim
Fator de Localização x CR	2,0	0	0	Sim

Após análise da Tabela 17, verifica-se que o valor da razão de consistência é inferior a 0,10 em todos os indicadores avaliados, pelo que, pode-se afirmar que os resultados obtidos são consistentes.

5ª – Deve-se realizar várias comparações par a par, primeiro entre variáveis do mesmo indicador, e em seguida entre os indicadores [45], [49]. Após todas as comparações serem efectuadas, obtém-se o resultado de diferentes pesos, dos pesos das variáveis e também dos pesos dos respetivos indicadores. A Tabela 18 mostra os resultados obtidos para os pesos de cada variável e indicadores.

Tabela 18 - Valores dos Pesos das Variáveis e dos Respetivos Indicadores de Estado de um Disjuntor [45], [49]

Indicador	Variável	Peso Entre Variáveis	Peso do Indicador
Perfil e Performance	Idade	0,290	0,309
	Stress Operacional	0,379	
	Número de Manobras	0,331	
Condição	Inspeção Visual	0,092	0,642
	Termografia	0,098	
	Resistência de Contactos	0,114	
	Resistência de Isolamento	0,128	
	Fugas no Meio Isolante	0,114	
	Medição da Corrente da Bobina	0,098	
	Tempo de Fecho	0,098	

	Tempo de Abertura	0,098	
	Qualidade do Isolamento	0,160	
Fator de Localização	Corrosão	1	0,049

6ª – Obtém-se o fator de ponderação, multiplicando o peso das variáveis pelo peso do seu respetivo indicador, de seguida, soma-se todos os valores de pesos obtidos e esta soma deve de ser igual à unidade [45], [49]. Através da Tabela 19 é possível verificar o valor dos respetivos pesos que serão utilizados no cálculo do índice de saúde dos disjuntores.

Tabela 19 - Fator de Ponderação Utilizado para o Cálculo do Índice de Saúde de um Disjuntor [45], [49]

Variável	Peso da Variável
Idade	0,090
Stress Operacional	0,117
Número de Manobras	0,102
Inspeção Visual	0,059
Termografia	0,063
Resistência de Contactos	0,073
Resistência de Isolamento	0,082
Fugas no Meio Isolante	0,073
Medição da Corrente da Bobina	0,063
Tempo de Fecho	0,063
Tempo de Abertura	0,063
Qualidade do Isolamento	0,103
Corrosão	0,049
Somatório	1

6.1.3 Classificação das Variáveis de Estado de um Seccionador

Para efectuar a análise do estado de um seccionador de muito alta tensão, numa primeira instância é realizada a classificação das diferentes variáveis dos indicadores de condição destes ativos. São realizadas ponderações com estas mesmas variáveis, de modo a obter os pesos que serão multiplicados pelas classificações e obter o índice de saúde para avaliação do ativo. As variáveis dos diferentes indicadores, e a sua respetiva classificação, aplicados à avaliação da condição de estado dos seccionadores estão apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Tabela Classificativa das Variáveis de Estado dos Seccionadores [14], [47], [56], [57], [66], [70], [71], [72]

Indicadores de Perfil e Performance					
Idade					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
0-7	8-15	15-22	23-30	> 30	-
Número de Manobras					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
< 50% \times REF _{máx}	\geq 50% \times REF _{máx} < 65% \times REF _{máx}	\geq 65% \times REF _{máx} < 85% \times REF _{máx}	\geq 85% \times REF _{máx} < 100% \times REF _{máx}	\geq 100% \times REF _{máx} < 110% \times REF _{máx}	\geq 110% REF _{máx}
Indicadores de Condição					
Termografia					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
Sem Pontos Quentes	-	Ponto B e C	-	Ponto A	-
Resistência de Contacto					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
\leq REF	-	\geq REF < 110% \times REF	-	\geq 110% \times REF < 120% \times REF	\geq 20% \times REF
Resistência de Isolamento					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
\geq REF	-	-	-	< REF	< 90% \times REF
Medição da Corrente da Motor na Abertura					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
\leq REF	-	-	-	> REF	\geq 110% \times REF
Medição da Corrente do Motor no Fecho					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
\leq REF	-	-	-	> REF	\geq 110% \times REF
Tempo de Abertura					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
[REF _{min} ;REF _{máx}]	-	-	-	<REF _{min} ;>REF _{máx}	< 90% \times REF _{min} >110% \times REF _{máx}
Tempo de Fecho					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
[REF _{min} ;REF _{máx}]	-	-	-	<REF _{min} ;>REF _{máx}	< 90% \times REF _{min} >110% \times REF _{máx}
Fator de Localização					
Indicador de Corrosão					
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Valor Limite
C1	C2	C3	C4	C5	-

6.1.4 Ponderações Seccionadores

A ponderação para obtenção dos pesos das diferentes variáveis dos indicadores de estado dos seccionadores foram obtidas segundo as seguintes etapas:

1ª – Definição do objetivo: Obtenção do fator de ponderação do índice de saúde de um seccionador [45], [49].

2ª - Construção de um modelo hierárquico baseado no processo de análise das diferentes variáveis e avaliação dos fatores [45], [49].

Numa primeira fase definem-se os indicadores de estado do ativo (indicador de perfil e performance, indicador de condição e fator de localização). Cada indicador é constituído por diferentes variáveis como é possível verificar na Figura 10.

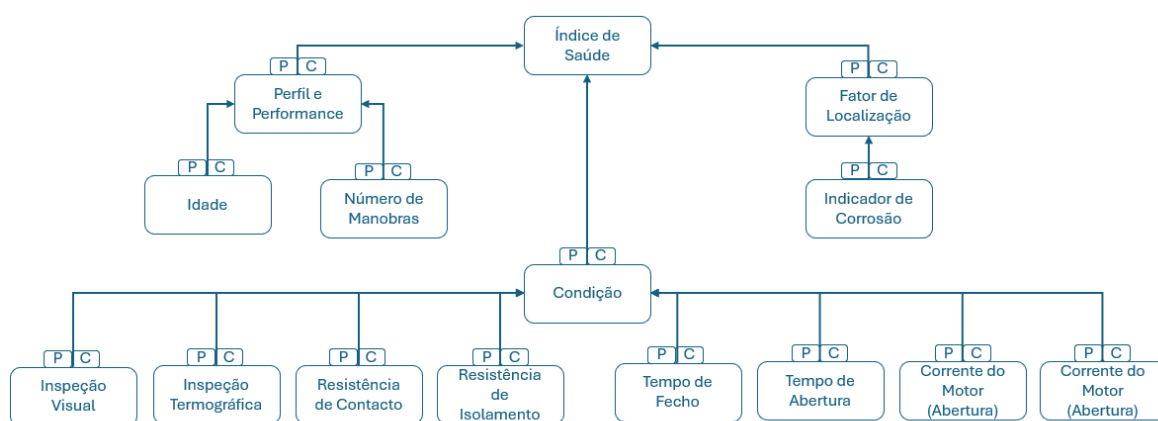


Figura 10 - Modelo Hierárquico de Comparação do Indicadores de Avaliação de um Seccionador

A avaliação e comparação entre as diferentes variáveis é feita com vista em dois diferentes parâmetros, fiabilidade de medição e criticidade. O primeiro parâmetro tem como objetivo avaliar a confiabilidade dos resultados obtidos nas diferentes variáveis. O segundo parâmetro visa avaliar a importância crítica relativa das variáveis.

3ª - Elaboração de uma matriz de comparação de pares [45], [49]. Para cada diferentes indicadores, as suas variáveis são comparadas a pares, nos diferentes parâmetros de comparação, fiabilidade de medida e criticidade, obtendo-se um nível de importância relativo entre variáveis. De forma a obter-se a importância relativa entre parâmetros de avaliação em cada indicador, deve-se também efectuar a comparação entre parâmetros de avaliação de cada variável. Após análise comparativa entre variáveis e parâmetros de avaliação de cada indicador, deve-se proceder à análise comparativa entre os diferentes indicadores de avaliação.

Perfil e Performance

A Tabela 21 e a Tabela 22 permitem verificar a comparação entre as diferentes variáveis do indicador perfil e performance, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade. A Tabela 23 permite comparar e obter a importância relativa entre os dois parâmetros de comparação.

Tabela 21 - Comparação Entre Variáveis de Perfil e Performance no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Seccionador [45], [49]

FM	Idade	Número de Manobras
Idade	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)
Número de Manobras	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)

Tabela 22 - Comparação Entre Variáveis de Perfil e Performance no Parâmetro Criticidade de um Seccionador [45], [49]

CR	Idade	Número de Manobras
Idade	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)
Número de Manobras	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)

Tabela 23 - Comparação Entre Parâmetros para os Indicadores de Perfil e Performance de um Seccionador [45], [49]

Comparação de Parâmetros	FM	CR
FM	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)
CR	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)

Condição

A Tabela 24 e a Tabela 25 permitem verificar a comparação entre as diferentes variáveis do indicador condição, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade. A Tabela 26 permite comparar e obter a importância relativa entre os dois parâmetros de comparação.

Tabela 24 - Comparação Entre Variáveis de Condição no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Seccionador [45], [49]

FM	Inspeção Visual	Termografia	Resistência de Contactos	Resistência de Isolamento	Corrente no Motor Abertura	Corrente no Motor Fecho	Tempo de Fecho	Tempo de Abertura
Inspeção Visual	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Termografia	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Resistência de Contactos	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)
Resistência de Isolamento	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)
Corrente no Motor Abertura	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)
Corrente no Motor Fecho	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)

Tempo de Fecho	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)
Tempo de Abertura	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)

Tabela 25 - Comparação Entre Variáveis de Condição no Parâmetro Criticidade de um Seccionador [45], [49]

CR	Inspecção Visual	Termografia	Resistência de Contactos	Resistênci a de Contactos	Corrente no Motor Abertura	Corrente no Motor Fecho	Tempo de Fecho	Tempo de Abertura
Inspecção Visual	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Termografia	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Resistência de Contactos	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)
Resistência de Isolamento	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)
Corrente no Motor Abertura	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)
Corrente no Motor Fecho	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)
Tempo de Fecho	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)
Tempo de Abertura	(+) Fraco (1,22)	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)	Igual (1)	Igual (1)

Tabela 26 - Comparação Entre Parâmetros para os Indicadores de Condição de um Seccionador [45], [49]

Comparação de Parâmetros	FM	CR
FM	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)
CR	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)

Fator de Localização

A Tabela 27 e a Tabela 28 permitem verificar a comparação entre as diferentes variáveis do indicador fator de localização, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade. A Tabela 29 permite comparar e obter a importância relativa entre os dois parâmetros de comparação.

Tabela 27 - Comparação Entre Variáveis de Fator de Localização no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Seccionador [45], [49]

FM	Nível de Corrosão
Nível de Corrosão	Igual (1)

Tabela 28 - Comparação Entre Variáveis de Fator de Localização no Parâmetro de Criticidade de um Seccionador [45], [49]

CR	Nível de Corrosão
Nível de Corrosão	Igual (1)

Comparação de Indicadores

Tabela 29 - Comparação Entre Indicadores de Estado dos Seccionadores [45], [49]

Indicadores	Perfil e Performance	Condição	Fator de Localização
Perfil e Performance	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Fraco (1/1,22)
Condição	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)
Fator de Localização	(+) Fraco (1,22)	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)

4ª – Verificação da consistência dos resultados [45], [49].

Tabela 30 - Consistência dos Resultados Obtidos para os Pesos das Variáveis dos Seccionadores [45], [49]

Indicadores	$\lambda_{\text{máx}}$	CI	CR	Consistência (Sim/Não)
Perfil e Performance x FM	2,0	0	0	Sim
Perfil e Performance x CR	2,0	0	0	Sim
Condição x FM	8,0	0	0	Sim
Condição x CR	8,0	0	0	Sim
Fator de Localização x FM	2,0	0	0	Sim
Fator de Localização x CR	2,0	0	0	Sim

Após análise da Tabela 30, verifica-se que o valor da razão de consistência é inferior a 0,10 em todos os indicadores avaliados, pelo que, pode-se afirmar que os resultados obtidos são consistentes.

5ª – Deve-se realizar diferentes comparações par a par [45], [49]. Primeiro entre variáveis do mesmo indicador, em seguida entre os indicadores. Obtém-se o resultado de diferentes pesos, dos pesos das variáveis e também dos pesos dos indicadores.

Tabela 31 - Valores dos Pesos das Variáveis e dos Respetivos Indicadores de Estado de um Seccionador [45], [49]

Indicador	Variável	Peso da Variável	Peso do Indicador
Perfil e Performance	Idade	0,450	0,309
	Número de Manobras	0,550	
Condição	Inspeção Visual	0,103	0,642
	Termografia	0,109	
	Resistência de Contactos	0,132	
	Resistência de Isolamento	0,138	
	Medição da Corrente do Motor na Abertura	0,123	
	Medição da Corrente do Motor no Fecho	0,123	
	Tempo de Fecho	0,136	
	Tempo de Abertura	0,136	
	Fator de Localização	Corrosão	

6ª –O fator de ponderação é obtido através da multiplicação do peso das variáveis pelo peso do seu respetivo indicador, de seguida, são somados os valores de pesos obtidos, verificando-se que a sua soma igual a unidade [45], [49].

Tabela 32 - Fator de Ponderação Utilizado para o Cálculo do Índice de Saúde de um Seccionador [45], [49]

Variável	Peso da Variável
Idade	0,139
Número de Manobras	0,170
Inspeção Visual	0,066
Termografia	0,070
Resistência de Contactos	0,086
Resistência de Isolamento	0,088
Medição da Corrente do Motor no Fecho	0,079
Medição da Corrente do Motor na Abertura	0,079
Tempo de Fecho	0,087
Tempo de Abertura	0,087
Corrosão	0,049
Somatório	1

6.1.5 Classificação das Variáveis de Criticidade

Para efectuar a análise de criticidade de disjuntores e seccionadores de muito alta tensão, numa primeira instância deve-se identificar as possíveis variáveis dos indicadores de criticidade destes ativos. Para disjuntores e seccionadores, foram utilizadas as mesmas variáveis para analisar a criticidade de falha dos mesmos. Efectua-se ponderações com as variáveis definidas, de modo a obter-se o valor das ponderações correspondentes. Os pesos obtidos são multiplicados pelas classificações individuais, de forma a obter-se o índice criticidade do ativo. As variáveis dos diferentes indicadores, e a sua respetiva classificação, aplicados à avaliação da criticidade de disjuntores e seccionadores estão apresentadas na Tabela 33.

Tabela 33 - Tabela Classificativa das Variáveis de Criticidade dos Disjuntores e Seccionadores [14], [47], [67], [68]

Indicador Financeiro				
Valor Total do Ativo				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<REF	\geq REF e <250% \times REF	\geq 250% \times REF e <500% \times REF	\geq 500% \times REF e <=750% \times REF	>750% \times REF
Dificuldade de Acesso ao Ativo				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Fácil Acesso	-	Com Alguma Dificuldade	-	Muito Difícil
Indicador Ambiental				
Volume de Óleo Perdido				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Sem Óleo/Sem Fugas	-	Fuga Ligeira	-	Fuga Grave
Volume de SF6 Perdido				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Sem SF6/Sem Fugas	-	Fuga Ligeira	-	Fuga Grave
Meio de Contenção				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Sim	-	-	-	Não
Indicador de Desempenho da Rede				
Carga Potencial Afetada				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<40% \times REF	-	\geq 40% \times REF e <=REF	-	>REF
Fator de Redundância				
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Sim	-	-	-	Não

6.1.6 Ponderações Indicadores de Consequência

A ponderação para obtenção dos pesos das diferentes variáveis dos indicadores de estado dos disjuntores foram obtidas segundo as seguintes etapas:

1ª – Definição do objetivo: Obtenção do fator de ponderação do índice de criticidade de um disjuntor ou seccionador [45], [49].

2ª - Construção de um modelo hierárquico baseado no processo de análise das diferentes variáveis e avaliação dos fatores [45], [49].

Numa primeira fase são definidos os indicadores de avaliação de criticidade do ativo (financeiro, ambiental e desempenho da rede). Os indicadores são constituídos por diferentes variáveis como é possível verificar na Figura 11:

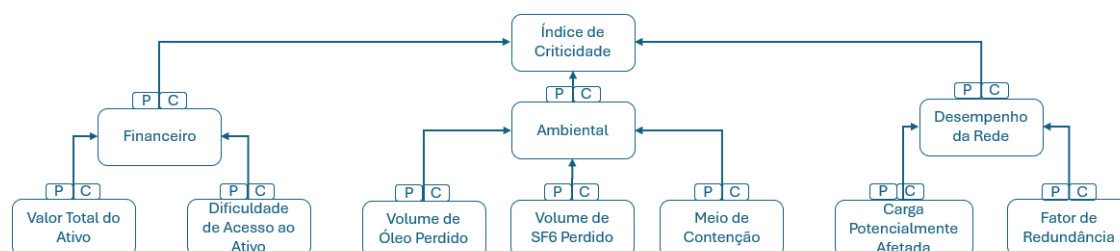


Figura 11 - Modelo Hierárquico de Comparação do Indicadores de Criticidade de Disjuntores e Seccionadores

A avaliação e comparação par a par entre as variáveis são feitas com vista em dois diferentes parâmetros, fiabilidade de medição e criticidade. O primeiro parâmetro tem como objetivo avaliar a confiabilidade dos resultados obtidos nas diferentes variáveis. O segundo parâmetro visa avaliar a importância crítica relativa das variáveis.

3ª - Elaboração de uma matriz de comparação de pares [45], [49]. Para cada um dos diferentes indicadores, faz-se a comparação relativa das suas variáveis, nos diferentes parâmetros de comparação, fiabilidade de medida e criticidade. Com esta comparação obtém-se um nível de importância relativo entre variáveis. De forma a obter-se a importância relativa entre parâmetros de avaliação em cada indicador, deve-se também efectuar a comparação entre parâmetros de avaliação de cada variável. Após análise comparativa entre variáveis e parâmetros de avaliação de cada indicador, deve-se proceder à análise comparativa entre os diferentes indicadores de avaliação.

Financeiro

A Tabela 34 e a Tabela 35 permitem verificar a comparação entre as diferentes variáveis do indicador financeiro, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade. A Tabela 36 permite comparar e obter a importância relativa entre os dois parâmetros de comparação.

Tabela 34 - Comparação Entre Variáveis do Indicador Financeiro no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

FM	Valor Total do Ativo	Dificuldade de Acesso ao Ativo
Valor Total do Ativo	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)
Dificuldade de Acesso ao Ativo	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)

Tabela 35 - Comparação Entre Variáveis do Indicador Financeiro no Criticidade de Medida de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

CR	Valor Total do Ativo	Dificuldade de Acesso ao Ativo
Valor Total do Ativo	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)
Dificuldade de Acesso ao Ativo	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)

Tabela 36 - Comparação Entre Parâmetros para o Indicador Financeiro de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

Comparação de Parâmetros	FM	CR
FM	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)
CR	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)

Ambiental

A Tabela 37 e a Tabela 38 permitem verificar a comparação entre as diferentes variáveis do indicador ambiental, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade. A Tabela 39 permite comparar e obter a importância relativa entre os dois parâmetros de comparação.

Tabela 37 - Comparação Entre Variáveis do Indicador Ambiental no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

FM	Volume de Óleo Perdido	Volume de SF6 Perdido	Meio de Contenção
Volume de Óleo Perdido	Igual (1)	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)
Volume de SF6 Perdido	Igual (1)	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)
Meio de Contenção	(-) Moderado (1/1,50)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)

Tabela 38 - Comparação Entre Variáveis do Indicador Ambiental no Parâmetro Criticidade de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

CR	Volume de Óleo Perdido	Volume de SF6 Perdido	Meio de Contenção
Volume de Óleo Perdido	Igual (1)	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)
Volume de SF6 Perdido	Igual (1)	Igual (1)	(+) Moderado (1,50)
Meo de Contenção	(-) Moderado (1/1,50)	(-) Moderado (1/1,50)	Igual (1)

Tabela 39 - Comparação Entre Parâmetros para o Indicador Ambiental de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

Comparação de Parâmetros	FM	CR
FM	Igual	(-) Fraco
CR	(+) Fraco	Igual

Desempenho da Rede

A Tabela 40 e a Tabela 41 permitem verificar a comparação entre as diferentes variáveis do indicador de desempenho de rede, nos parâmetros fiabilidade de medição e criticidade. A Tabela 42 permite comparar e obter a importância relativa entre os dois parâmetros de comparação.

Tabela 40 -Comparação Entre Variáveis do Indicador de Desempenho da Rede no Parâmetro Fiabilidade de Medida de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

FM	Carga Afetada	Fator de Redundância
Carga Afetada	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)
Fator de Redundância	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)

Tabela 41 – Criticidade de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

CR	Carga Afetada	Fator de Redundância
Carga Afetada	Igual (1)	(+) Fraco (1,22)
Fator de Redundância	(-) Fraco (1/1,22)	Igual (1)

Tabela 42 - Comparação Entre Parâmetros para o Indicador Desempenho da Rede de um Disjuntor ou Seccionador [45], [49]

Comparação de Parâmetros	FM	CR
FM	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)
CR	(+) Fraco (1/1,22)	Igual (1)

Comparação entre indicadores

A Tabela 43 permite analisar a comparação relativa entre os indicadores de avaliação de criticidade dos ativos, obtendo-se o peso relativo de cada indicador.

Tabela 43 - Comparação Entre Indicadores de Criticidade dos Disjuntores e Seccionadores [45], [49]

Indicadores	Financeiro	Ambiental	Desempenho da Rede
Financeiro	Igual (1)	(-) Fraco (1/1,22)	(-) Moderado (1/1,50)
Ambiental	(+) Fraco (1,22)	Igual (1)	(-) Moderado (1/1,50)
Desempenho da Rede	(+) Moderado (1,50)	(+) Moderado (1,50)	Igual (1)

4ª – Verificação da consistência dos resultados [45], [49].

Tabela 44 - Consistência dos Resultados Obtidos para os Pesos das Variáveis de Criticidade [45], [49]

Indicadores	$\lambda_{\text{máx}}$	IC	RC	Consistência (Sim/Não)
Financeiro x FM	3,0	0	0	Sim
Financeiro x CR	3,0	0	0	Sim
Ambiental x FM	4,0	0	0	Sim
Ambiental x CR	4,0	0	0	Sim
Desempenho da Rede x FM	2,0	0	0	Sim
Desempenho da Rede x CR	2,0	0	0	Sim

Após análise da Tabela 44, verifica-se que o valor da razão de consistência é inferior a 0,10 em todos os indicadores avaliados, pelo que, pode-se afirmar que os resultados obtidos são consistentes [42], [47].

5ª – Deve-se realizar várias comparações par a par [44], [49]. Primeiro entre variáveis do mesmo indicador, e em seguida entre os indicadores. Obtém-se o resultado dos pesos das variáveis e dos pesos dos indicadores.

Tabela 45 - Valores dos Pesos das Variáveis e dos Respetivos Indicadores de Criticidade de um Disjuntor ou Seccionador [44], [49]

Indicador	Variável	Peso Entre Variáveis	Peso do Indicador
Financeiro	Valor Total do Ativo	0,600	0,267
	Dificuldade de Acesso ao Ativo	0,400	
Ambiental	Volume de Óleo Perdido	0,375	0,305
	Volume de SF6 Perdido	0,375	
	Meio de Contenção	0,250	
Performance da Rede	Carga Afetada	0,550	0,428
	Fator de Redundância	0,450	

6ª – O fator de ponderação é obtido através da multiplicação do peso das variáveis pelo peso do seu respetivo indicador, de seguida, soma-se todos os valores de pesos obtidos chegando a um valor total unitário [44], [49]. Através da Tabela 46 é possível verificar o valor dos respetivos pesos que serão utilizados no cálculo do índice de criticidade dos disjuntores e seccionadores.

Tabela 46 - Fator de Ponderação Utilizado para o Cálculo do Índice de Criticidade de um Disjuntor ou Seccionador [44], [49]

Variável	Peso da Variável
Valor Total do Ativo	0,160
Dificuldade de Acesso ao Ativo	0,107
Volume de Óleo Perdido	0,114
Volume de SF6 Perdido	0,114
Meio de Contenção	0,076
Carga Afetada	0,235
Fator de Redundância	0,193
Somatório	1

6.2 Método de Fatores Pré-Definidos

Os índices de saúde e de criticidade são definidos respetivamente, através dos valores de pontuação de saúde e dos valores monetários das consequências de falha. De modo a obter-se estes valores, são necessárias várias informações como o tipo de dispositivo em análise, a sua idade, a sua localização, condição, entre outras. Primeiro deve-se efectuar o cálculo da pontuação de saúde inicial, que será utilizada para a obtenção da pontuação de saúde atual do ativo, representativa do estado de saúde atual do ativo. O estado de saúde futuro do ativo é calculado sob a forma de pontuação de saúde futura, esta é derivada através da pontuação de saúde atual. Para o cálculo do valor de criticidade deve-se calcular o valor monetário de custo de falha de cada indicador de criticidade, seguidamente soma-se todos os resultados obtidos, originando um único valor geral de criticidade [46].

6.2.1 Pontuação de Saúde Inicial

Como indicado anteriormente neste documento, a pontuação de saúde inicial é obtida através da idade do ativo, da sua vida útil expectável, a localização em que este está instalado e a frequência de utilização a que o mesmo poderá estar sujeito [46].

6.2.1.1 Idade

Como no método das ponderações, a idade do ativo é datada desde o dia de fabrico do equipamento e pode ser obtida pela equação (3) [46].

6.2.1.2 Idade Expectável

A idade expectável é o tempo, em anos, expectável de duração de um ativo. A vida útil expectável de disjuntores e seccionadores considerada é de 30 anos. Nesta metodologia, este valor é automaticamente definido ao selecionar o tipo de dispositivo em estudo [46].

6.2.1.3 Fator de Localização

A localização e o ambiente em que o ativo está instalado permitem avaliar o quais os efeitos ambientais que afetam o equipamento. A localização do ativo permite avaliar fatores como os níveis de corrosão do local. Fatores como a distância à costa e altitude que o ativo está instalado permitem também obter a informação sobre as condições ambientais a que o equipamento está sujeito [46].

Corrosão

Os níveis de corrosão a que o ativo está sujeito permite avaliar um certo grau de evolução de degradação do mesmo [46]. Os valores de fator de corrosão, bem como a classificação dos níveis dos mesmos são observáveis na Tabela 47, estes foram definidos com base no mapa de corrosão obtido através da referência [65].

Tabela 47 - Valores do Fator de Corrosão e Níveis de Corrosão [46],[65]

Corrosão	Fator de Corrosão
C1	0,9
C2	0,95
C3	1
C4	1,1
C5	1,25
Sem Dados	1

Distância à Costa

A distância à costa representa o valor, em quilómetros, da distância do ativo até à costa. O fator de distância à costa é classificado consoante a distância à costa em número de quilómetros, esta classificação é apresentada na Tabela 48 [46].

Tabela 48 - Valores do Fator de Distância à Costa em Função da Distância do Ativo à Costa [46]

Distância à Costa	Fator de Distância à Costa
<= 1 km	1,35
>1km e <=5km	1,1
>5km e <=10km	1,05
>10km e <=20km	1
>20km	0,9
Sem Dados	1

Altitude

A altitude representa o valor, em metros, da altura referente ao nível do mar, em que o ativo está instalado. O fator de altitude varia com o valor da altitude e a sua variação é apresentada na Tabela 49 [46].

Tabela 49 - Valores do Fator de Altitude em Função da Altitude do Ativo [46]

Altitude	Fator de Altitude
<= 100 m	0,9
>100 m e <= 200 m	1
>200 m e <=300 m	1,05
>300 m	1,1
Sem Dados	1

6.2.1.4 Fator de Utilização

O fator de utilização está associado à forma como o dispositivo está ou pode vir a ser utilizado. Um dispositivo de comutação poderá apresentar um estado de envelhecimento adicional, no caso de ser utilizado um maior número de vezes. Para a obtenção deste fator, nos dispositivos de comutação, é considerado o número e severidade das operações que o ativo poderá estar propício a efectuar. A um número de operações considerado baixo/normal, é atribuído um fator de utilização igual a 1. A um número de operações considerado alto, é atribuído um fator de utilização igual a 1,2 [46]. Dependendo do tipo de painel em que um equipamento possa estar inserido, o número e a severidade das operações esperadas a efetuar pelo ativo pode variar. Num painel de bateria de condensadores ou reatância shunt prevê-se que um ativo de comutação esteja sujeito a um regime mais exigente de manobras que nos restantes tipos de painéis [72]. Sendo assim, pode-se associar o fator de utilização ao tipo de painel em que o ativo está inserido. Na Tabela 50, pode-se verificar a variação do fator de utilização consoante o tipo de painel em que o equipamento é utilizado.

Tabela 50 - Valores do Fator de Utilização Associado ao Tipo de Painel [43], [46]

Tipo de Painel	Fator de Utilização
Painel de Linha	1
Painel de Transformador e Autotransformador	1
Painel Inter-Barras e By-Pass	1
Painel de Bateria de Condensadores ou Reatância Shunt	1,2
Sem Dados	1

6.2.2 Pontuação de Saúde Atual

Como indicado anteriormente neste documento, a pontuação de saúde atual é obtida através da pontuação de saúde inicial do ativo, com recurso a um modificador de pontuação de saúde e a um fator de fiabilidade [46].

6.2.2.1 Modificador de Pontuação de Saúde

O modificador de pontuação de saúde é constituído por três componentes, fator de condição, limite máximo de pontuação e limite mínimo de pontuação [46].

O limite máximo de pontuação de saúde representa o valor limite da pontuação de saúde atual estabelecido. A pontuação de saúde atual é limitada a 10, pelo que, este é o seu valor máximo possível.

O limite mínimo de pontuação de saúde representa o valor mínimo da pontuação de saúde atual. Este valor serve para prevenir, que por falhas na observação ou medição da condição do ativo, a pontuação de saúde atual apresente um valor, representativo do estado do ativo, melhor que o estado real do ativo.

O fator de condição é um fator multiplicativo, que com base na observação e medição das características de condição do equipamento, permite variar o valor da pontuação de saúde atual do ativo. São calculados fatores de observação e de medição, que em conjunto, resultam num único fator de condição. No cálculo dos fatores de observação e medição, para cada um destes fatores, são utilizados valores de variáveis de entrada tabelados. Utilizando uma técnica de combinação denominada de técnica de incremento máximo e múltiplo (MMI), são obtidos os valores dos fatores de observação e condição utilizados no cálculo do fator de condição, através do Anexo A, é possível entender melhor como é feita a aplicação desta técnica.

Na observação da condição de estado dos ativos são verificados os seguintes indicadores: inspeção visual, inspeção termográfica e verificação da existência de fugas no meio isolante (aplicada apenas aos disjuntores). Através das tabelas, Tabela 51, Tabela 52 e Tabela 53 é possível verificar os valores das variáveis de entrada para o cálculo do fator de observação, bem como os valores dos limites mínimos e máximos da pontuação de saúde atual associados.

Tabela 51 – Valores de Entrada da Variável Inspeção Visual para o Cálculo do Fator de Observação Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Inspeção Visual				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Não Deteriorado	O ativo não apresenta nenhuma deterioração que seja identificada visualmente.	0,9	10	0,5
Um Pouco Deteriorado	O ativo apresenta um pouco de deterioração que pode ser identificada de forma visual.	1,2	10	3
Muito Deteriorado	O ativo apresenta muita deterioração e pode ser identificada visualmente.	1,4	10	8
Sem Dados	Sem dados relativos à condição do ativo através de inspeção visual.	1	10	0,5

Tabela 52 - Valores de Entrada da Variável Inspeção Termográfica para o Cálculo do Fator de Observação Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Inspeção Termográfica				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Sem Pontos Quentes	Não foram encontrados quais queeres pontos quentes de alerta.	0,9	10	0,5
Ponto B e C	Identificados pontos quentes com uma temperatura ligeiramente superior à temperatura ambiente.	1	10	0,5
Ponto A	Identificados pontos quentes com uma temperatura bastante superior à temperatura ambiente.	1,1	10	5,5
Sem Dados	Sem dados relativos à identificação de pontos quentes no ativo.	1	10	0,5

Tabela 53 - Valores de Entrada da Variável Fugas no Meio Isolante para o Cálculo do Fator de Observação Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Fugas no Meio Isolante (Aplicado apenas aos Disjuntores)				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Não Deteriorado	Óleo: Não existe fuga aparente do óleo isolante. Gás: O valor da pressão do gás está dentro do limite recomendado.	0,9	10	0,5
Deterioração Superficial	Óleo: Existe evidências de uma pequena fuga de óleo, como pequenas manchas de óleo no chão ou no ativo, porém verifica-se que os níveis de óleo estão dentro do recomendado. Gás: Classificação não aplicável ao gás.	1	10	0,5
Um Pouco Deteriorado	Óleo: Existe evidências de uma pequena fuga de óleo constante, como por exemplo, vazamento de gotas de óleo. Gás: Os valores da pressão do gás estão fora do aceitável.	1,1	10	3
Muito Deteriorado	Óleo: Existe evidências de uma grande fuga de óleo, como por exemplo, uma grande mancha de óleo em redor do ativo. Gás: Verifica-se uma grande fuga grave e irreparável no equipamento.	1,3	10	8
Sem Dados	Sem dados acerca de fugas no meio isolante do equipamento.	1	10	0,5

Na medição da condição de estado dos ativos são verificados os seguintes indicadores: número de manobras, resistência de contactos, resistência de isolamento, teste de qualidade do óleo/SF6 (apenas aplicado aos disjuntores), teste fecho/abertura dos contactos, medição da corrente da bobina (apenas aplicado aos disjuntores) e medição da corrente do motor (apenas aplicado aos seccionadores). Através das tabelas, Tabela 54, Tabela 55, Tabela 56, Tabela 57, Tabela 58, Tabela 59 e Tabela 60 é possível verificar os valores das variáveis de entrada para o cálculo do fator de medição, bem como os valores dos limites mínimos e máximos da pontuação de saúde atual associados.

Tabela 54 - Valores de Entrada da Variável Número de Manobras para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Número de Manobras				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Baixo	Número baixo de manobras já efectuadas pelo dispositivo de comutação, inferior a 50% do valor máximo de manobras de referência.	0,9	10	0,5
Médio Baixo	Número médio baixo de manobras já efectuadas pelo dispositivo de comutação, igual ou superior a 50% das manobras de referência e inferior a 65% das manobras de referência.	1	10	0,5
Médio	Número médio de manobras já efectuadas pelo dispositivo de comutação, igual ou superior a 65% das manobras de referência e inferior a 85% das manobras de referência.	1,1	10	0,5
Médio Alto	Número médio alto de manobras já efectuadas pelo dispositivo de comutação, igual ou superior a 85% das manobras e igual ou inferior a 100% das manobras de referência.	1,3	10	5,5
Alto	Número alto de manobras já efectuadas pelo dispositivo de comutação, igual ou superior a 110% do número de manobras de referência.	1,5	10	8
Sem Dados	Sem dados relativos ao número de manobras efectuadas pelo dispositivo de comutação.	1	10	0,5

Tabela 55 - Valores de Entrada da Variável Resistência de Contactos para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Resistência de Contactos				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Como Novo	Os contactos do dispositivo de comutação estão como novos.	1	10	0,5
Até 10% de Deterioração	Os contactos do dispositivo de comutação apresentam uma degradação igual ou inferior a 10% do seu estado novo.	1,1	10	0,5
Mais que 10% que Deterioração	Os contactos do dispositivo de comutação apresentam uma degradação superior a 10% e inferior ou igual a 20% do seu estado novo.	1,3	10	0,5
Mais que 20% de Deterioração	Os contactos do dispositivo de comutação apresentam uma degradação superior a 20% do seu estado novo.	1,5	10	5,5
Sem Dados	Sem dados relativos ao estado de degradação dos contactos do dispositivo de comutação.	1	10	0,5

Tabela 56 - Valores de Entrada da Variável Resistência de Isolamento para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Resistência de Isolamento				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Como Novo	A resistência de isolamento do dispositivo de comutação apresenta-se como nova.	1	10	0,5
Até 10% de Deterioração	A resistência de isolamento do dispositivo de comutação apresenta um grau de degradação igual ou inferior a 10% do seu estado como novo.	1,1	10	0,5
Mais que 10% que Deterioração	A resistência de isolamento do dispositivo de comutação apresenta um grau de degradação superior a 10% do seu estado como novo.	1,3	10	0,5
Mais que 20% de Deterioração	A resistência de isolamento do dispositivo de comutação apresenta um grau de degradação superior a 10% e inferior ou igual a 20% do seu estado como novo.	1,5	10	5,5
Sem Dados	Sem dados relativos ao grau de degradação da resistência de isolamento do dispositivo de comutação.	1	10	0,5

Tabela 57 - Valores de Entrada da Variável Teste de Qualidade de Óleo/SF6 para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Teste de Qualidade do Óleo/SF6 (Apenas aplicado aos disjuntores)				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Como Novo	O fluído/gás extintor do arco elétrico apresenta as suas características como novas.	1	10	0,5
Um Pouco Deteriorado	O fluído/gás extintor do arco elétrico apresenta as suas características com uma leve degradação.	1,1	10	0,5
Deteriorado	O fluído/gás extintor do arco elétrico apresenta as suas características com uma grave degradação.	1,3	10	0,5
Muito Deteriorado	O fluído/gás extintor do arco elétrico apresenta as suas características com uma grave degradação, ultrapassando os seus valores limite.	1,5	10	5,5
Sem Dados	Sem dados relativos ao grau de degradação da resistência de isolamento do dispositivo de comutação.	1	10	0,5

Tabela 58 - Valores de Entrada da Variável Tempo de Fecho/Abertura para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Tempo de Fecho/Abertura				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Válido	Os tempos de fecho/abertura dos contactos estão dentro dos tempos estabelecidos pelos fabricantes.	1	10	0,5
Inválido	Os tempos de fecho/abertura dos contactos estão fora dos tempos estabelecidos pelos fabricantes.	1,4	10	0,5
Sem Dados	Sem dados relativos aos tempos de abertura/fecho dos contactos do dispositivo de comutação.	1	10	0,5

Tabela 59 - Valores de Entrada da Variável Medição da Corrente da Bobina para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Medição da Corrente da Bobina (Apenas aplicado aos disjuntores)				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Válido	O valor da corrente da bobina no momento da abertura dos contactos é igual ou inferior ao valor estabelecido pelos fabricantes.	1	10	0,5
Inválido	O valor da corrente da bobina no momento da abertura dos contactos é superior ao valor estabelecido pelos fabricantes.	1,4	10	0,5
Sem Dados	Sem dados relativos ao valor da corrente da bobina no momento da abertura dos contactos do dispositivo de comutação.	1	10	0,5

Tabela 60 - Valores de Entrada da Variável Medição da Corrente do Motor para o Cálculo do Fator de Medição Associado ao Estado de Degradação do Ativo [46]

Medição da Corrente do Motor (Apenas aplicado aos seccionadores)				
Classificação	Descrição	Variável de Entrada	Limite Máximo	Limite Mínimo
Válido	O valor da corrente do motor no momento da abertura ou fecho dos contactos é igual ou inferior ao valor estabelecido pelos fabricantes.	1	10	0,5
Inválido	O valor da corrente do motor no momento da abertura ou fecho dos contactos é superior ao valor estabelecido pelos fabricantes.	1,4	10	0,5
Sem Dados	Sem dados relativos ao valor da corrente do motor no momento da abertura ou fecho dos contactos do dispositivo de comutação.	1	10	0,5

Após se obter os valores dos fatores de observação e medição, o fator de condição é calculado de acordo com a metodologia de cálculo mostrada na Tabela 61.

Tabela 61 - Fórmulas de Cálculo do Fator de Condição [46]

Cálculo do Fator de Condição		
a = Valor Máximo Entre o Fator de Observação e de Medição	b = Valor Mínimo Entre o Fator de Observação e de Medição	Fator de Condição
>1	>1	= $a + ((b-1)/1,5)$
>1	<=1	= a
<=1	<=1	= $b + ((a-1)/1,5)$

O valor do limite máximo para a pontuação atual de saúde é igual ao menor valor do limite máximo de cada variável, que é igual a 10. O valor do limite mínimo da pontuação atual de saúde é igual ao maior valor do limite mínimo entre as variáveis.

6.2.2.2 Fator de Fiabilidade

O fator de fiabilidade é aplicado em ativos que se acredita que possam apresentar uma probabilidade de falha fora do comum em relação a ativos idênticos. Devido a suspeitas de falhas de fabrico, diferenças de material, entre outros aspetos, utiliza-se o fator de fiabilidade para ajustar a pontuação de saúde atual do ativo, o mais próximo da realidade. Este fator faz-se variar entre 0,6 e 1,5, apresentando um valor normalizado igual a 1 [46].

6.2.3 Pontuação de Saúde Futura

Como indicado anteriormente neste documento, a pontuação de saúde futura é obtida através da pontuação de saúde atual do ativo, variando de forma exponencial com o número de anos de previsão pretendidos e sendo aplicado um fator de redução de envelhecimento [46].

6.2.3.1 Número de Anos de Previsão Futura

Este valor indica o número de anos para o qual o utilizador pretende efectuar a previsão futura do estado de saúde do ativo [46].

6.2.3.2 Fator de Redução de Envelhecimento

O uso de uma curva exponencial para a obtenção da pontuação de saúde futura causa uma aceleração crescente do valor, quando os ativos atingem uma pontuação de saúde alta. Desta forma, para ativos que se estão a aproximar do seu fim de vida útil, a previsão do seu do seu estado de saúde futuro pode ser feita de forma errada. Para minimizar este efeito, é aplicado um fator de redução de envelhecimento ao ativo. Este fator permite minimizar a aceleração acrescida e descontrolada da taxa de envelhecimento do equipamento para ativos com uma pontuação de saúde superior a 5,5 [46]. A variação do valor do fator de redução de envelhecimento é apresentada na Tabela 62.

Tabela 62 - Variação do Valor do Fator de Redução de Envelhecimento [46]

Pontuação de Saúde Atual	Fator de Redução de Envelhecimento
<2	1
>=2 e <=5,5	$((\text{Pontuação de Saúde Atual} - 2)/2 + 1)$
>5,5	1,5

6.2.4 Consequência de Falha

A consequência de falha dos ativos é obtida através da soma dos fatores de consequência, que são traduzidos pelos valores representativos de cada indicador, financeiro, ambiental e desempenho da rede. Para cada ativo em estudo, o valor de cada fator varia consoante diferentes variáveis de avaliação. É elaborada um valor para cada um desses fatores

que representa o impacto de uma falha e o custo social desse impacto, o valor somado desses diferentes valores resulta na indicação da consequência geral do ativo [46], [67].

6.2.4.1 Indicador Financeiro

O indicador financeiro pretende incorporar uma estimativa eventual do custo de reparo ou substituição de um ativo, para que após uma falha, possa estar no seu bom estado de funcionamento. Para o cálculo deste indicador é considerado um valor do custo financeiro de referência [46], [67].

Obtém-se o valor do indicador financeiro através do valor financeiro de referência do dispositivo, a multiplicar pelo fator de custo financeiro, que para os dispositivos de comutação, apenas varia com o tipo de acesso ao ativo [46]. Na Tabela 63 é possível observar o fator de acesso ao ativo em função do tipo de acesso ao mesmo.

Tabela 63 - Fator Financeiro do Tipo de Acesso ao Ativo [46]

Tipo de Acesso ao Ativo	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Valor do Fator do Tipo de Acesso ao Ativo	1	1,25	1,7

6.2.4.2 Indicador Ambiental

O indicador ambiental tenta estimar características ambientais que uma falha de um ativo pode representar [46], [67]. O valor deste indicador varia com o tipo de isolante utilizado pelo dispositivo e se o dispositivo está ou não protegido contra fugas, através de meios de contenção. Para o cálculo do indicador ambiental, é multiplicado o valor de referência ambiental pelo fator de tipo de isolante e pelo fator de meios de contenção [46]. A Tabela 64 permite observar o valor do fator ambiental em relação ao tipo de dispositivo, ao nível de tensão e o tipo de isolante utilizado pelo mesmo.

Tabela 64 - Valor do Fator Ambiental Em Função do Tipo de Isolante e Dispositivo [46]

Fator Ambiental por Tipo de Isolante					
Dispositivo	Nível de Tensão	Óleo	SF6	Nenhum	Sem Dados
Dispositivo de Comutação	60 kV	0,93	0,10	0,03	0,93
Dispositivo de Comutação	>= 150 kV	0,79	0,24	0,03	0,79

A Tabela 65 permite observar o valor do fator de localização ambiental, relacionado água como o valor do fator de proteção contra fugas de óleo.

Tabela 65 - Fator do Meio de Contenção [46]

Meio de Contenção	Fator do Meio de Contenção
Sim	0,5
Não	1

6.2.4.3 Indicador de Desempenho da Rede

O indicador de desempenho da rede representa uma estimativa da gravidade das consequências de performance da rede elétrica, que uma eventual falha de um ativo pode representar [46], [67]. É definido um valor de referência para cada tipo de ativo, variando com o seu nível de tensão, tipo de isolamento externo e ambiente em que o mesmo está inserido. O valor do desempenho da rede varia com o fator de carga e com o fator de redundância da rede [46].

Fator de Carga

O fator de carga é dado pela equação (15).

$$\text{Fator de Carga} = \frac{\text{Valor Atual de Carga Máxima Estimada Associada à Falha do Ativo}}{\text{Valor de Carga Máxima Afetada de Referência}} \quad (15)$$

Fator de Redundância

O fator de redundância avalia se a função de um ativo pode ser substituída por um da mesma categoria, e este seja capaz de continuar o seu serviço, em caso de falha de um dispositivo. Ou seja, avalia se o ativo tem redundância, reduzindo as consequências de uma eventual falha [46]. A Tabela 66 permite verificar o valor do fator de redundância em função da redundância da instalação.

Tabela 66 - Valores do Fatores de Redundância em Função da Redundância da Instalação [46]

Ativo com Redundância	Fator de Redundância
Sim	1
Não	2,5

7 Casos de Estudo

Para aplicar as metodologias em estudo, foram formulados quatro diferentes casos hipotéticos de estudo. Os dois primeiros casos de estudo referem-se à avaliação do estado e da criticidade de falha de disjuntores, “Disj1” e “Disj2”, respetivamente. O terceiro e quarto casos de estudo referem-se à avaliação do estado e da criticidade de falha de seccionadores, “Sec1” e “Sec2”, respetivamente. A aplicação das metodologias em estudo a estes casos hipotéticos de estudos, permite perceber de melhor forma, o processo e os objetivos de utilização das mesmas, na análise de estado e risco de ativos de muito alta tensão. Para cada caso de estudo é pretendido obter os valores dos índices de saúde e criticidade correspondentes. De forma a se obter uma análise visual mais facilitada destes resultados, pode-se apresentar os resultados obtidos através de uma matriz. Estas matrizes facilitam uma análise hierárquica na tomada prioritária de decisão de intervenções a realizar aos ativos. Através do Anexo B, é possível também verificar de melhor forma como foi feita a aplicação das metodologias aos quatro hipotéticos casos de estudo.

7.1 Caso de Estudo 1

No primeiro caso de estudo foram gerados dados aleatórios de entrada, acerca das características do dispositivo “Disj1”. Características como a sua localização, dados relativos à sua condição e performance, características de redundância e desempenho deste ativo são apresentadas na Tabela 67. Os dados apresentados referem-se a possíveis dados de referência fornecidos pelos fabricantes.

Tabela 67 – Informação das Características do Ativo do Caso de Estudo 1

Dados Característicos	
Dispositivo	Disjuntor
Nível de Tensão	60 kV
Tipo de Isolamento Externo	AIS
Tipo de Isolante	Óleo
Tipo de Painel	Painel de Transformador e Autotransformador
Meios de Contenção	Não
Localização	
Ambiente	Interno
Distância ao Mar	2,107 km
Nível de Corrosão	C5
Altitude	350
Dificuldade de Acesso	Tipo C/Difícil Acesso
Informações de Performance e Condição	
Ano de Fabrico	2015
Stress Operacional	Baixo
Número de Manobras	$< 50\% \times REF_{máx}$
Resistência de Contacto	$\geq REF$ e $< 110\% \times REF$
Resistência de Isolamento	$\geq REF$
Tempo de Fecho/Abertura	$\in [REF_{min}; REF_{máx}]$
Medição da Corrente da Bobina (Abertura)	$\in [REF_{min}; REF_{máx}]$
Fugas no Meio Isolante	Sem Fugas/Não Deteriorado
Qualidade do Isolamento	Não Deteriorado
Inspeção Visual	Não Deteriorado
Inspeção Termográfica	Pontos B e C
Redundância e Desempenho	
Carga Afetada	$124\% \times REF$
Fator de Redundância	Sim

7.1.1 Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 1

Sendo o ativo em questão um disjuntor, para a avaliação de estado deste dispositivo foram utilizadas as variáveis e respetivas classificações apresentadas na Tabela 7, os valores de peso, de cada variável, utilizados correspondem aos valores calculados através do modelo de análise hierárquica para os disjuntores, apresentados na Tabela 19. A Tabela 68 permite entender melhor a classificação atribuída a cada variável em função dos valores de entrada apresentados na Tabela 67, permite também verificar os pesos correspondentes de cada variável e os índices de saúde e criticidade do ativo.

Tabela 68 - Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 1

Variável	Classificação	Peso da Variável	Variável	Classificação	Peso da Variável
Performance e Idade			Financeiro		
Idade	Nível 2	0,090	Valor Total do Ativo	Nível 4	0,160
Stress Operacional	Nível 1	0,117	Dificuldade de Acesso ao Ativo	Nível 5	0,107
Número de Manobras	Nível 1	0,102			
Condição			Ambiental		
Inspeção Visual	Nível 1	0,059	Volume de Óleo Perdido	Nível 1	0,114
Inspeção Termográfica	Nível 3	0,063	Volume de SF6 Perdido	Nível 1	0,114
Resistência de Contactos	Nível 3	0,073	Meio de Contenção	Nível 5	0,076
Resistência de Isolamento	Nível 1	0,082	Desempenho da Rede		
Fugas no Meio Isolante	Nível 1	0,073	Carga Afetada	Nível 5	0,235
Medição da Corrente na Bobina	Nível 1	0,063	Fator de Redundância	Nível 1	0,193
Tempo de Fecho	Nível 1	0,063			
Tempo de Abertura	Nível 1	0,063			
Qualidade do Isolamento	Nível 1	0,103			
Fator de Localização					
Corrosão	Nível 5	0,049			
Índice de Saúde			Índice de Criticidade		
1,56			3,15		

Após a aplicação da metodologia das ponderações ao disjuntor com o número de série “Dij1”, do estudo de caso 1, obtém-se um índice de saúde igual a 1,56 e um índice de criticidade igual a 3,15.

7.1.2 Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 1

Para a avaliação do estado de saúde e criticidade do dispositivo do caso de estudo 1, foram utilizadas as variáveis de análise aplicadas aos disjuntores. A aplicação da metodologia de entradas pré-definidas permite obter os índices de saúde e criticidade atuais e futuros do ativo. A Tabela 69 permite verificar os dados de entrada aplicados nesta metodologia, obtendo-se os resultados dos índices de saúde e criticidade, atuais e futuros previstos.

Tabela 69 - Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Estudo de Caso 1

Dados do Dispositivo							
Dispositivo	Número de Série	Ano Atual	Ano de Fabrico	Nível de Tensão	Tipo de Isolamento	Ambiente	Tipo de Isolante
Disjuntor	Dij1	2025	2015	60 kV	AIS	Interno	Óleo
Localização do Ativo							
	Distância à Costa		Corrosão		Altitude		
	2,107 km		C5		350 m		
Informações de Criticidade							
	Tipo de Acesso ao Ativo		Carga Afetada	Fator de Redundância	Meios de Contenção		
	Tipo C		124%xREF	Sim	Não		
Medição da Condição do Ativo							
	Número de Manobras	Resistência de Contacto	Resistência de Isolamento	Qualidade do Isolamento	Tempo de Fecho e Abertura	Medição da Corrente da Bobina	
	Médio	Até 10% Deteriorado	Como Novo	Como Novo	Válido	Válido	
Observação da Condição do Ativo							
	Inspeção Visual		Fugas no Meio Isolante	Inspeção Termográfica			
	Não Deteriorado		Não Deteriorado	Pontos B e C			
Pontuação de Saúde Atual					Porcentagem de Criticidade		
1,29					126,10%		
Índice de Saúde Atual					Índice de Criticidade Atual		
IS1			C3				
Pontuação de Saúde Futura			Número de Anos de Previsão Futura		Porcentagem de Criticidade		
4			5		126,10%		
Índice de Saúde Futuro					Índice de Criticidade Futuro		
IS2					C3		

Após a aplicação da metodologia das entradas pré-definidas ao disjuntor com o número de série “Dij1”, do estudo de caso 1, obtém-se uma pontuação de saúde atual igual a 1,29, o que representa um índice de saúde atual igual a H11. O valor da pontuação de saúde futura é igual a 4, o que representa um índice de saúde futura igual a H2. O valor percentual de criticidade atual e futuro é igual a 126,19% índice de criticidade atual e futuro igual a C3.

7.2 Caso de Estudo 2

No segundo caso de estudo foram gerados dados aleatórios de entrada, acerca das características do dispositivo, da sua localização, das suas características de condição, performance, de redundância e desempenho do ativo. Este é um ativo com uma idade próxima da vida útil recomendada do ativo. Através da Tabela 70 pode-se verificar todos os dados acerca deste ativo em estudo.

Tabela 70 - Informação das Características do Ativo de Caso de Estudo 2

Dados Característicos	
Dispositivo	Disjuntor
Nível de Tensão	60kV
Tipo de Isolamento Externo	AIS
Tipo de Isolante	SF6
Tipo de Painel	Painel de Linha
Meios de Contenção	Não
Localização	
Ambiente	Interno
Distância ao Mar	3,280 km
Nível de Corrosão	C2
Altitude	330m
Dificuldade de Acesso	Tipo A/Fácil Acesso
Informações de Performance e Condição	
Ano de Fabrico	1999
Stress Operacional	Baixo
Número de Manobras	$\geq 110\% \times \text{REF}_{\text{máx}}$
Resistência de Contacto	$\geq 120\% \times \text{REF}$
Resistência de Isolamento	$\leq 90\% \text{ REF}$
Fugas no Meio Isolante	Fuga Ligeiras/Um Pouco Deteriorado
Tempo de Fecho	$< 90\% \times \text{REF}_{\text{min}}$
Tempo de Abertura	$\in [\text{REF}_{\text{min}}; \text{REF}_{\text{máx}}]$
Medição da Corrente da Bobina (Abertura)	$\in [\text{REF}_{\text{min}}; \text{REF}_{\text{máx}}]$
Qualidade do Isolamento	Um Pouco Deteriorado
Inspeção Visual	Um Pouco Deteriorado
Inspeção Termográfica	Pontos B e C
Redundância e Desempenho	
Carga Afetada	$51,2\% \times \text{REF}$
Fator Redundância	Não

7.2.1 Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 2

Sendo o ativo em questão, um disjuntor, para a avaliação de estado deste dispositivo foram utilizadas as variáveis e respetivas classificações apresentadas na Tabela 7, os valores de peso, de cada variável, utilizados correspondem aos valores calculados através do modelo de análise hierárquica para os disjuntores, apresentados na Tabela 19. A Tabela 71 permite

entender melhor a classificação atribuída a cada variável em função dos valores de entrada apresentados na Tabela 70, permite também verificar os pesos correspondentes de cada variável e os índices de saúde e criticidade do ativo.

Tabela 71 - Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 2

Variável	Classificação	Peso da Variável	Variável	Classificação	Peso da Variável
Performance e Idade			Financeiro		
Idade	Nível 4	0,090	Valor Total do Ativo	Nível 4	0,160
Stress Operacional	Nível 1	0,117	Dificuldade de Acesso ao Ativo	Nível 1	0,107
Número de Manobras	Valor Limite	0,102			
Condição			Ambiental		
Inspeção Visual	Nível 3	0,059	Volume de Óleo Perdido	Nível 1	0,114
Inspeção Termográfica	Nível 3	0,063	Volume de SF6 Perdido	Nível 3	0,114
Resistência de Contactos	Valor Limite	0,073	Meios de Contenção	Nível 5	0,076
Resistência de Isolamento	Valor Limite	0,082	Desempenho da Rede		
Fugas no Meio Isolante	Nível 3	0,073	Carga Afetada	Nível 3	0,235
Medição da Corrente na Bobina	Nível 3	0,063	Fator de Redundância	Nível 5	0,193
Tempo de Fecho	Valor Limite	0,063			
Tempo de Abertura	Nível 1	0,063			
Qualidade do Isolamento	Nível 3	0,103			
Fator de Localização					
Corrosão	Nível 4	0,049			
Índice de Saúde			Índice de Criticidade		
5			3,26		

Após a aplicação da metodologia das ponderações ao disjuntor com o número de série “Dij2”, do caso de estudo 2, obtém-se um índice de saúde igual a 5 e um índice de criticidade igual a 3,26.

7.2.2 Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 2

Para a avaliação do estado de saúde e criticidade do dispositivo do caso de estudo 2, foram utilizadas as variáveis de análise aplicadas aos disjuntores. A aplicação da metodologia de entradas pré-definidas permite obter os índices de saúde e criticidade atuais e futuros do ativo. A Tabela 72 permite verificar os dados de entrada aplicados nesta metodologia, obtendo-se os resultados dos índices de saúde e criticidade, atuais e futuros previstos.

Tabela 72 - Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 2

Dados do Dispositivo							
Dispositivo	Número de Série	Ano Atual	Ano de Fabrico	Nível de Tensão	Tipo de Isolamento	Ambiente	Tipo de Isolante
Disjuntor	Dij2	2025	1999	60 kV	AIS	Interno	Óleo
Localização do Ativo							
	Distância à Costa		Corrosão		Altitude		
	3,280 km		C2		330 m		
Informações de Criticidade							
	Tipo de Acesso ao Ativo		Carga Afetada	Fator de Redundância	Meios de Contenção		
	Tipo C		51,2%xREF	Não	Não		
Medição da Condição do Ativo							
	Número de Manobras	Resistência de Isolamento	Resistência de Isolamento	Qualidade do Isolamento	Tempo de Fecho e Abertura	Medição da Corrente da Bobina	
	Alto	Mais que 20%	Mais que 20%	Um Pouco Deteriorado	Inválido	Válido	
Observação da Condição do Ativo							
	Inspeção Visual		Fugas no Meio Isolante		Inspeção Termográfica		
	Um Pouco Deteriorado		Um Pouco Deteriorado		Pontos B e C		
Pontuação de Saúde Atual						Porcentagem de Criticidade	
8,44						129,68%	
Índice de Saúde Atual						Índice de Criticidade Atual	
IS5						C3	
Pontuação de Saúde Futura			Número de Anos de Previsão Futura			Porcentagem de Criticidade	
14,17			5			129,68%	
Índice de Saúde Futuro						Índice de Criticidade Futuro	
IS5						C3	

Após a aplicação da metodologia das entradas pré-definidas ao disjuntor com o número de série “Dij2”, do caso de estudo 2, obtém-se uma pontuação de saúde atual igual a 8,44, o que representa um índice de saúde atual igual a H15. O valor da pontuação de saúde futura é igual a 14,17, o que representa um índice de saúde futura igual a H5. O valor percentual de criticidade atual e futuro é igual a 129,68%, correspondendo a um índice de criticidade atual e futuro igual a C3.

7.3 Caso de Estudo 3

No terceiro caso de estudo foram gerados dados de entrada acerca das características do dispositivo, da sua localização, das suas características de condição, performance, de redundância e desempenho do ativo, de forma aleatória. Este é um ativo com uma idade próxima da vida útil recomendada do ativo. Através da Tabela 73 pode-se verificar todos os dados acerca deste ativo em estudo.

Tabela 73 - Informação das Características do Ativo de Caso de Estudo 3

Dados Característicos	
Dispositivo	Seccionador
Nível de Tensão	400 kV
Tipo de Isolamento Externo	AIS
Tipo de Pannel	Pannel de Linha
Meios de Contenção	Não
Localização	
Ambiente	Interno
Distância ao Mar	2,087 km
Nível de Corrosão	C2
Altitude	101m
Dificuldade de Acesso	Tipo B/Dificuldade Média
Informações de Performance e Condição	
Idade	1998
Número de Manobras	< 50% \times REF _{máx}
Resistência de Contacto	<REF
Resistência de Contacto	\geq REF
Tempo de Fecho	\in [REF _{min} ;REF _{máx}]
Tempo de Abertura	\in [REF _{min} ;REF _{máx}]
Medição da Corrente do Motor (Fecho)	Não \in [REF _{min} ;REF _{máx}]
Medição da Corrente do Motor (Abertura)	\in [REF _{min} ;REF _{máx}]
Inspeção Visual	Um Pouco Deteriorado
Inspeção Termográfica	Ponto B e C
Redundância e Desempenho	
Carga Afetada	60,8% \times REF
Fator de Redundância	Não

7.3.1 Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 3

Sendo o ativo em questão, um seccionador, para a avaliação de estado deste dispositivo foram utilizadas as variáveis e respetivas classificações apresentadas na Tabela 20, os valores de peso, de cada variável, utilizados correspondem aos valores calculados através do modelo de análise hierárquica para os seccionadores, apresentados na Tabela 32. A Tabela 74 permite entender melhor a classificação atribuída a cada variável em função dos valores de entrada apresentados na Tabela 73, permite também verificar os pesos correspondentes de cada variável e os índices de saúde e criticidade do ativo obtidos pelo método das ponderações.

Tabela 74 - Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 3

Variável	Classificação	Peso da Variável	Variável	Classificação	Peso da Variável
Performance e Idade			Financeiro		
Idade	Nível 4	0,139	Valor Total do Ativo	Nível 5	0,160
Número de Manobras	Nível 1	0,170	Dificuldade de Acesso ao Ativo	Nível 3	0,107
Condição			Ambiental		
Inspeção Visual	Nível 3	0,066	Volume de Óleo Perdido	Nível 1	0,114
Inspeção Termográfica	Nível 5	0,070	Volume de SF6 Perdido	Nível 1	0,114
Resistência de Contactos	Nível 1	0,086	Meios de Contenção	Nível 5	0,076
Resistência de Isolamento	Nível 1	0,088	Desempenho da Rede		
Medição da Corrente do Motor na Abertura	Nível 1	0,079	Carga Afetada	Nível 3	0,235
Medição da Corrente do Motor no Fecho	Nível 1	0,079	Fator de Redundância	Nível 5	0,193
Tempo de Fecho	Nível 1	0,087			
Tempo de Abertura	Nível 5	0,087			
Fator de Localização					
Corrosão	Nível 2	0,049			
Índice de Saúde			Índice de Criticidade		
2,23			3,40		

Após a aplicação da metodologia das ponderações ao seccionador com o número de série “Sec1”, do caso de estudo 3, obtém-se um índice de saúde igual a 2,23 e um índice de criticidade igual a 3,40. De forma a avaliar e interpretar os resultados obtidos, deve-se proceder à construção de uma matriz de risco. Seguidamente procede-se à sua leitura e retira-se as conclusões acerca do estado e risco deste ativo.

7.3.2 Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 3

Para a avaliação do estado de saúde e criticidade do dispositivo do caso de estudo 3, foram utilizadas as variáveis de análise aplicadas aos seccionadores. A aplicação da metodologia de entradas pré-definidas permite obter os índices de saúde e criticidade atuais e futuros do ativo. A Tabela 75 permite verificar os dados de entrada aplicados nesta metodologia, obtendo-se os resultados dos índices de saúde e criticidade, atuais e futuros previstos.

Tabela 75 - Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 3

Dados do Dispositivo						
Dispositivo	Número de Série	Ano Atual	Ano de Fabrico	Nível de Tensão	Tipo de Isolamento	Ambiente
Seccionador	Sec1	2025	1998	400 kV	AIS	Interno
Localização do Ativo						
	Distância à Costa	Corrosão	Altitude			
	2,087 km	C2	101 m			
Informações de Criticidade						
	Tipo de Acesso ao Ativo	Carga Afetada	Fator de Redundância	Meios de Contenção		
	Tipo B	60,8%xREF	Não	Não		
Medição da Condição do Ativo						
	Número de Manobras	Resistência de Contactos	Resistência de Isolamento	Tempo de Fecho e Abertura	Medição da Corrente do Motor	
	Baixo	Como Novo	Como Novo	Inválido	Válido	
Observação da Condição do Ativo						
	Inspeção Visual		Inspeção Termográfica			
	Um Pouco Deteriorado		Pontos B e C			
Pontuação de Saúde Atual					Porcentagem de Criticidade	
5,34					161,32%	
Índice de Saúde Atual					Índice de Criticidade Atual	
IS2					C3	
Pontuação de Saúde Futura		Número de Anos de Previsão Futura		Porcentagem de Criticidade		
8,29		5		161,32%		
Índice de Saúde Futuro					Índice de Criticidade Futuro	
IS5					C3	

Após a aplicação da metodologia das entradas pré-definidas ao disjuntor com o número de série "Sec1", do caso de estudo 3, obtém-se uma pontuação de saúde atual igual a 5,34, o que representa um índice de saúde atual igual a H12. O valor da pontuação de saúde futura é igual a 8,29, o que representa um índice de saúde futura igual a H5. O valor percentual de criticidade atual e futuro é igual a 161,32%, correspondendo a um índice de criticidade atual e futuro igual a C3.

7.4 Caso de Estudo 4

No quarto caso de estudo foram gerados dados de entrada acerca das características do dispositivo, da sua localização, das suas características de condição, performance, de redundância e desempenho do ativo, de forma aleatória. Este é um ativo com uma idade próxima da vida útil recomendada do ativo. Através da Tabela 76 pode-se verificar todos os dados acerca deste ativo em estudo.

Tabela 76 - Informação das Características do Ativo de Caso de Estudo 4

Dados Característicos	
Dispositivo	Seccionador
Nível de Tensão	400 kV
Tipo de Isolamento Externo	GIS
Tipo de Painel	Painel de Linha
Meios de Contenção	Não
Localização	
Ambiente	Interno
Distância ao Mar	1,784 km
Nível de Corrosão	C2
Altitude	64m
Dificuldade de Acesso	Tipo C/Difícil Acesso
Informações de Performance e Condição	
Idade	2008
Número de Manobras	$\geq 100\% \times \text{REF}_{\text{máx}}$ e $< 110\% \times \text{REF}_{\text{máx}}$
Resistência de Contacto	$< \text{REF}$
Resistência de Isolamento	$\geq \text{REF}$
Tempo de Fecho	$\in [\text{REF}_{\text{min}}; \text{REF}_{\text{máx}}]$
Tempo de Abertura	$\in [\text{REF}_{\text{min}}; \text{REF}_{\text{máx}}]$
Medição da Corrente da Bobina (Fecho)	Não $\in [\text{REF}_{\text{min}}; \text{REF}_{\text{máx}}]$
Medição da Corrente da Bobina (Abertura)	$\in [\text{REF}_{\text{min}}; \text{REF}_{\text{máx}}]$
Inspeção Visual	Um Pouco Deteriorado
Inspeção Termográfica	Ponto B e C
Redundância e Desempenho	
Carga Afetada	$14,8\% \times \text{REF}$
Fator de Redundância	Sim

7.4.1 Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 4

Sendo o ativo em questão, um seccionador, para a avaliação de estado deste dispositivo foram utilizadas as variáveis e respetivas classificações apresentadas na Tabela 20, os valores de peso, de cada variável, utilizados correspondem aos valores calculados através do modelo de análise hierárquica para os seccionadores, apresentados na Tabela 32. A Tabela 77 permite entender melhor a classificação atribuída a cada variável em função dos valores de entrada apresentados na Tabela 76, permite também verificar os pesos correspondentes de cada variável e os índices de saúde e criticidade do ativo obtidos pelo método das ponderações.

Tabela 77 - Aplicação do Método das Ponderações ao Caso de Estudo 4

Variável	Classificação	Peso da Variável	Variável	Classificação	Peso da Variável
Performance e Idade			Financeiro		
Idade	Nível 3	0,139	Valor Total do Ativo	Nível 5	0,160
Número de Manobras	Nível 5	0,170	Dificuldade de Acesso ao Ativo	Nível 5	0,107
Condição			Ambiental		
Inspeção Visual	Nível 3	0,066	Volume de Óleo Perdido	Nível 1	0,114
Inspeção Termográfica	Nível 3	0,070	Volume de SF6 Perdido	Nível 1	0,114
Resistência de Contactos	Nível 1	0,086	Meios de Contenção	Nível 5	0,076
Resistência de Isolamento	Nível 1	0,088	Desempenho da Rede		
Medição da Corrente do Motor na Fecho	Nível 5	0,079	Carga Afetada	Nível 1	0,235
Medição da Corrente do Motor no Fecho	Nível 1	0,079	Fator de Redundância	Nível 1	0,193
Tempo de Fecho	Nível 1	0,087			
Tempo de Abertura	Nível 1	0,087			
Fator de Localização					
Corrosão	Nível 2	0,049			
Índice de Saúde			Índice de Criticidade		
2,63			2,37		

Após a aplicação da metodologia das ponderações ao seccionador com o número de série “Sec2”, do estudo de caso 4, obtém-se um índice de saúde igual a 2,63 e um índice de criticidade igual a 2,37.

7.4.2 Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 4

Para a avaliação do estado de saúde e criticidade do dispositivo do caso de estudo 4, foram utilizadas as variáveis de análise aplicadas aos seccionadores. A aplicação da metodologia de entradas pré-definidas permite obter os índices de saúde e criticidade atuais e futuros do ativo. A Tabela 78 permite verificar os dados de entrada aplicados nesta metodologia, obtendo-se os resultados dos índices de saúde e criticidade, atuais e futuros previstos.

Tabela 78 - Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas ao Caso de Estudo 4

Dados do Dispositivo						
Dispositivo	Número de Série	Ano Atual	Ano de Fabrico	Nível de Tensão	Tipo de Isolamento	Ambiente
Seccionador	Sec2	2025	2008	400 kV	GIS	Interno
Localização do Ativo						
	Distância à Costa		Corrosão		Altitude	
	1,784 km		C2		64 m	
Informações de Criticidade						
	Tipo de Acesso ao Ativo	Carga Afetada		Fator de Redundância	Meios de Contenção	
	Tipo C	14,8%xREF		Sim	Não	
Medição da Condição do Ativo						
	Número de Manobras	Resistência de Contacto	Resistência de Isolamento	Tempo de Fecho e Abertura	Medição da Corrente do Motor	
	Médio Alto	Como Novo	Como Novo	Válido	Inválido	
Observação da Condição do Ativo						
	Inspeção Visual		Inspeção Termográfica			
	Um Pouco Deteriorado		Ponto B e C			
Pontuação de Saúde Atual					Percentagem de Criticidade	
5,5					51,13%	
Índice de Saúde Atual					Índice de Criticidade Atual	
HI3					C1	
Pontuação de Saúde Futura		Número de Anos de Previsão Futura			Percentagem de Criticidade	
11,13		5			51,13%	
Índice de Saúde Futuro					Índice de Criticidade Futuro	
HI5					C1	

Após a aplicação da metodologia das entradas pré-definidas ao disjuntor com o número de série "Sec2", do caso de estudo 4, obtém-se uma pontuação de saúde atual igual a 5,5, o que representa um índice de saúde atual igual a HI5. O valor da pontuação de saúde futura é igual a 11,13, o que representa um índice de saúde futura igual a H5. O valor percentual de criticidade atual e futuro é igual a 51,13%, correspondendo a um índice de criticidade atual e futuro igual a C3.

7.5 Análise dos Estudos de Caso

De forma a proceder à avaliação de estado e criticidade dos ativos estudados nos hipotéticos casos de estudo criados, para os quais foram aplicadas ambas as metodologias em estudo, pode-se apresentar os valores obtidos, em gráficos representativos de matrizes de risco. Estas matrizes permitem uma análise visual mais intuitiva e facilita uma análise hierárquica, no que diz respeito à de necessidade de ações a efetuar aos ativos.

7.5.1 Análise dos Resultados Obtidos pelo Método das Ponderações

Os resultados obtidos pela aplicação do método das ponderações aos quatro casos de estudo apresentam-se na Figura 12, com a análise desta figura é possível entender de uma maneira mais intuitiva a necessidade relativa de efectuar ações, entre os ativos em questão.

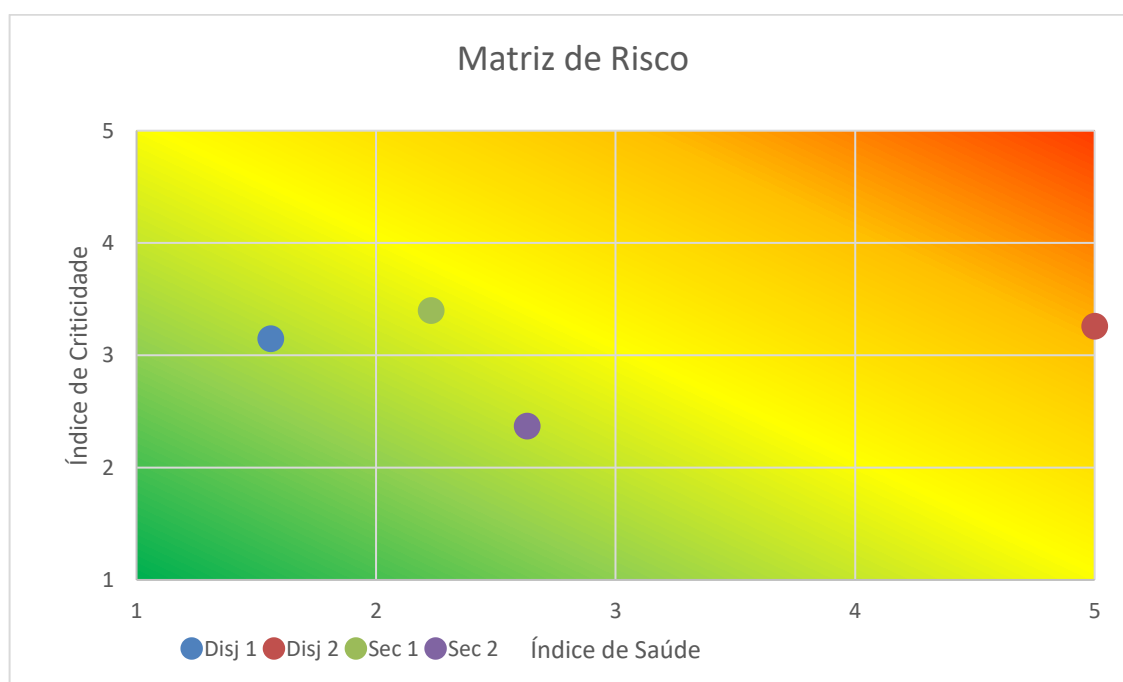


Figura 12 - Matriz de Risco Resultante Através da Aplicação do Método das Ponderações

Analisando a Figura 12, é notável que o ativo do caso de estudo 2, “Disj2”, em comparação com os restantes ativos, apresenta um índice de saúde superior, pelo que este ativo deve ser prioritário em ações de manutenção a realizar. Em relação à criticidade, os ativos dos casos de estudo, 1, 2 e 3, apresentam uma criticidade semelhante. O ativo do caso de estudo 4 apresenta uma menor criticidade em relação aos restantes. Visto que os ativos “Sec1” e “Sec2” estão situados numa zona do gráfico, próximos entre si, em que um apresenta um maior valor de criticidade e o outro um maior valor de índice de saúde, deve-se efectuar uma análise mais detalhada a estes ativos, para atribuir uma prioridade relativa de manutenção a estes ativos. Através desta análise, até ao momento, o ativo do caso de estudo 1, “Disj1”, mostra-se como sendo o ativo menos prioritários em ações de manutenção a realizar, porém,

como este apresenta um valor relativamente elevado de criticidade, deve-se continuar a monitorizar o estado do mesmo.

7.5.2 Análise dos Resultados Obtidos pelo Método das Entradas Pré-Definidas

Os resultados obtidos dos valores dos índices criticidade e índices de saúde atual, pela aplicação do método das entradas pré-definidas aos quatro casos de estudo, apresentam-se na Figura 13, a análise desta figura permite o auxílio na análise do estado e criticidade dos ativos em questão.

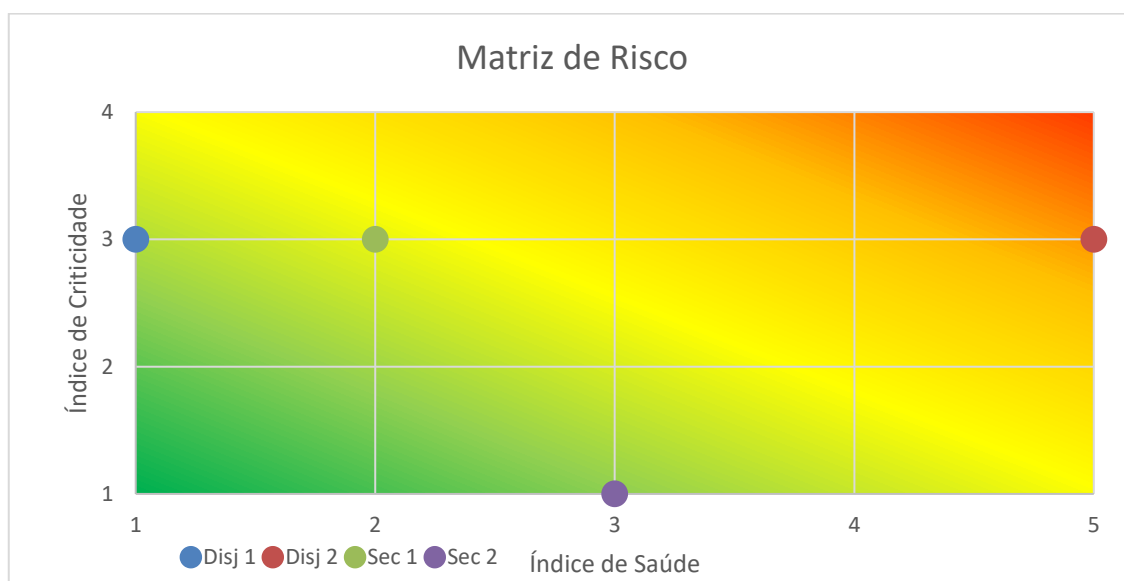


Figura 13 - Matriz de Risco Atual Resultante Através da Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas

Fazendo uma análise à Figura 13, é possível verificar, tal como na análise da aplicação do método das ponderações aos casos de estudo, que o ativo do caso de estudo 2, “Disj2”, em comparação com os restantes ativos, apresenta um índice de saúde notavelmente superior. Este ativo deve ter prioridade em futuras ações de manutenção a realizar. Os ativos dos casos de estudo, 1, 2 e 3 apresentam o mesmo valor de índice de criticidade. O ativo do caso de estudo 4 apresenta um menor valor criticidade em relação aos restantes. De modo a atribuir uma importância relativa entre os ativos “Sec1” e “Sec2”, sendo esta uma análise que necessita de mais cuidado, deve-se proceder à previsão futura do estado e criticidade dos ativos. O ativo do caso de estudo 1, “Disj1”, até ao momento, mostra-se como sendo o ativo menos prioritário em ações de manutenção a realizar, porém, como este apresenta um valor relativamente elevado de criticidade, deve-se continuar a monitorizar o estado do mesmo.

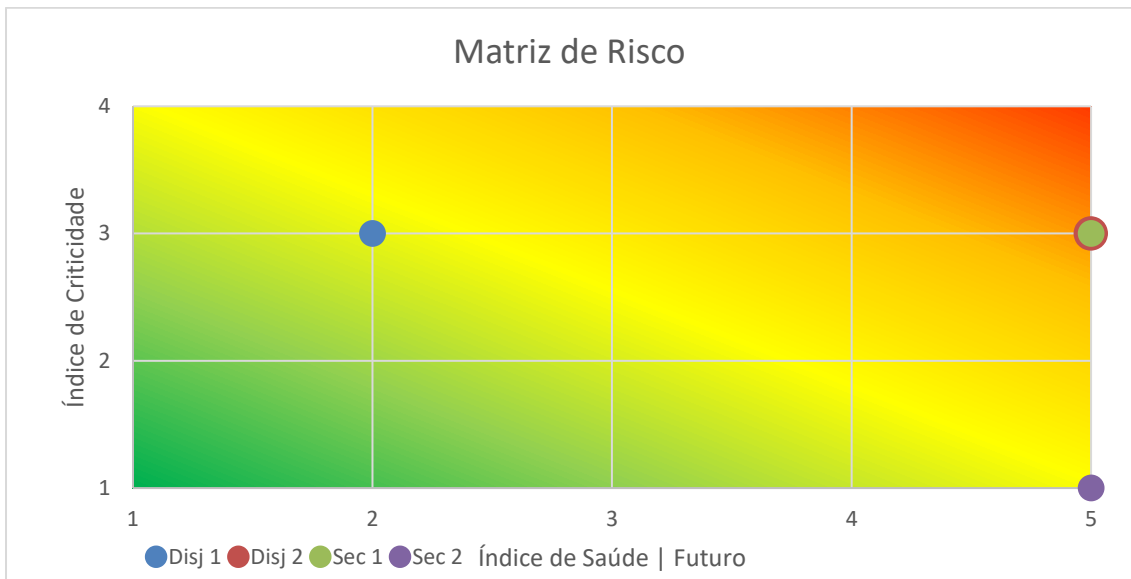


Figura 14 - Matriz de Risco Futura Resultante Através da Aplicação do Método das Entradas Pré-Definidas

Através da Figura 14 é possível verificar os valores prováveis dos índices de criticidade e índices de saúde futuros, no tempo de 5 anos, de cada ativo dos casos de estudo correspondentes. Com a ajuda desta análise gráfica, é possível verificar que nos próximos 5 anos, é provável que os ativos “Sec1” e “Sec2” aumentem bastante e os seus valores do índice de estado, igualando este valor. Como o ativo “Sec1” apresenta um valor de criticidade superior ao ativo “Sec2”, o ativo do caso de estudo 3 deve ter prioridade em ações de manutenção a realizar, em relação ao ativo do caso de estudo 4.

Conclusão

Com a realização deste trabalho foi possível entender de melhor forma como está caracterizada a rede nacional de transporte de energia elétrica, bem como, conhecer melhor os elementos pertencentes a este tipo de redes e também perceber e conhecer as necessidades de manutenção dos ativos do sistema.

Durante a elaboração deste trabalho foi possível entender as políticas de manutenção a aplicar aos ativos de uma rede elétrica. O correto funcionamento dos ativos pertencentes ao sistema de transporte de energia elétrica é necessário para que a transmissão de eletricidade seja feita de uma maneira eficiente, eficaz e segura. De modo a conseguir que estes dispositivos estejam dentro das melhores condições de operação, são necessárias ações de manutenção, reparação e substituição destes equipamentos. Pode-se aplicar diferentes políticas de manutenção consoante os ativos e consoante o custo de manutenção dos mesmos. Em situações em que a falha de um dispositivo não resulta em graves consequências para o sistema, pode-se aplicar uma manutenção corretiva. Em situações em que as consequências de falha de um ativo são altas, ou situações que o custo da reparação total do dispositivo é elevado, podem aplicar-se políticas de manutenção preventiva, como manutenção preventiva por operação ou com base no tempo. Nestas situações, pode-se também aplicar políticas de manutenção preditiva, de maneira a prever o acontecimento de uma falha nos ativos, manutenções estas baseadas em condição, fiabilidade ou risco. A aplicação correta das diferentes políticas de manutenção pretende reduzir a ocorrência de falhas no sistema e também diminuir os custos de reparação de equipamentos.

Foram estudadas duas metodologias diferentes para a análise do estado e risco de ativos elétricos, sendo estas, o método das ponderações e o método das entradas pré-definidas. A aplicação deste tipo de metodologias estudadas e apresentadas ao longo deste documento, facilita a análise do estado e criticidade de os ativos. Assim, estas metodologias apresentam-se como ferramentas de apoio à gestão e tomadas de decisão sobre intervenções a realizar nos ativos.

Para avaliar os resultados obtidos por ambas as metodologias, procedeu-se à elaboração de vários casos hipotéticos de estudo aos dois ativos identificados. Apesar de os resultados obtidos pelas duas metodologias não serem exatamente iguais, estes são semelhantes no que diz respeito à ordenação hierárquica dos ativos em estudo, ou seja, a representatividade da importância de intervenção entre os ativos é de igual ordem em ambas as metodologias.

Proposta de Trabalhos Futuros

Em trabalhos futuros são propostas as seguintes tarefas:

- Poderá ser desenvolvida a aplicação da previsão dos índices de saúde e de estado, nos métodos das ponderações, através da previsão da evolução de cada um dos critérios de avaliação.

- Pode-se melhorar e continuar a desenvolver ambas as metodologias, aprimorando e customizando as variáveis de entrada adaptadas para cada modelo destes ativos, em função de diferentes políticas. Com acesso a dados históricos reais de falhas ocorridos, é possível calibrar de melhor forma as ponderações das variáveis de estado e criticidade de cada ativo em ambos os métodos.

- Pode-se ainda alargar a aplicação de ambas as metodologias a outros ativos de muito alta tensão. Idealmente, poderá automatizar-se este sistema fazendo uma monitorização contínua dos indicadores de condição dos ativos e conectar os dados obtidos de forma automática a estas metodologias.

Referências

- [1] REN, “REN | Eletricidade.” Accessed: Dec. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.ren.pt/pt-pt/atividade/eletricidade>
- [2] ERSE, “Transporte - ERSE.” Accessed: Dec. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/transporte/>
- [3] REN, “REN Datahub | Território.” Accessed: Dec. 06, 2024. [Online]. Available: <https://datahub.ren.pt/pt/redes/rede-eletrica/>
- [4] E. Csanyi, “HV Transmission Line Components (Towers, Conductors, Substations, ROWs and Roads) | EEP.” Accessed: Dec. 18, 2024. [Online]. Available: <https://electrical-engineering-portal.com/hv-transmission-line-components-towers-conductors-substations-rows-and-roads#contents>
- [5] S. Basics, “The Key Components of an Electrical Substation.” Accessed: Dec. 18, 2024. [Online]. Available: <https://substationbasics.com/the-key-components-of-an-electrical-substation/>
- [6] S. W. Blume, “Transmission Lines,” in *Electric Power System Basics for the Nonelectrical Professional*, Wiley, 2017, pp. 43–52. doi: 10.1002/9781119180227.ch3.
- [7] S. Sivanagaraju and S. Satyanarayana, *Electric Power Transmission and Distribution*. 2009.
- [8] REN, “LINHAS DE TRANSPORTE DE ELETRICIDADE | Perguntas Frequentes.” Accessed: Jan. 03, 2025. [Online]. Available: https://www.ren.pt/media/b3slae3n/ren_linhas-de-transporte-de-eletricidade.pdf
- [9] A. Pansini, “Conductor Supports,” in *Guide to Electrical Power Distribution Systems*, River Publishers, 2005, ch. 2, pp. 13–14.
- [10] IEC, *IEC 60076-1 Power transformers – Part 1: General*. 2011.
- [11] M. Bolotinha, *Transformadores de Potência*. 2019.
- [12] H. D. Nogueira, “Transformadores: Noções de tensão de curto-circuito e razão de transformação.” Accessed: Dec. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/transformadores-nocoes-de#:~:text=Ao%20quociente%20entre%20o%20n%C3%BAmero%20de%20espiras%20do,maior%20%C3%A9%20a%20tens%C3%A3o%20menor%20%C3%A9%20a%20intensidade.>
- [13] REN, “CARACTERIZAÇÃO DA REDE NACIONAL DE TRANSPORTE PARA EFEITOS DE ACESSO À REDE SITUAÇÃO A 31 DE DEZEMBRO DE 2023,” 2023.
- [14] S. W. Blume, “Substations,” in *Electric Power System Basics for the Nonelectrical Professional*, Wiley, 2017, pp. 53–89. doi: 10.1002/9781119180227.ch4.
- [15] R. D. . Garzon, *High voltage circuit breakers : design and applications*. Marcel Dekker, 1997.
- [16] J. D. McDonald, *Electric Power Substations Engineering*, 3rd ed. 2012.

- [17] M. Bolotinha, “Conceitos De Subestações De Muito Alta, Alta e Média Tensão - Manual Fascículo 1 - Enquadramento e Princípios Gerais,” Sep. 2021.
- [18] N. Jankulovski, “The Blue portfolio – a cleaner future .” Accessed: Jan. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/blue-high-voltage-products.html>
- [19] ABB, “ABB launches carbon reducing high-voltage breaker.” Accessed: Jan. 03, 2025. [Online]. Available: <https://new.abb.com/news/detail/18580/abb-launches-carbon-reducing-high-voltage-breaker>
- [20] CIGRE Green Books, “International Council on Large Electric Systems (CIGRE) Study Committee A3: High Voltage Equipment | Switching Equipment,” 2018.
- [21] M. Bolotinha, “DISJUNTORES DE MUITO ALTA, ALTA E MÉDIA TENSÃO,” May 2018.
- [22] Siemens Energy, “Seccionadores e Chaves de Ligação à Terra.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.siemens-energy.com/br/pt/home/products-services/product-offerings/disconnectors-earthing-switches.html>
- [23] C. L. Wadhwa, *Electrical Power Systems*, 2nd ed. 2006.
- [24] A. Pansini, “Substations,” in *Guide to Electrical Power Distribution Systems*, River Publishers, 2005, ch. 2, pp. 174–175.
- [25] CHINT Global, “Key Differences Between Air Insulated Substations and Gas Insulated Substations.” Accessed: Jul. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.chintglobal.com/global/en/about-us/news-center/blog/air-insulated-substations-vs-gas-insulated-substations.html>
- [26] A. S. Ribeiro, P. R. D. Monteiro, and T. T. Borges, “Comparative performance analysis of AIS and GIS substations: A case study,” in *Interconnections of Knowledge: Multidisciplinary Approaches*, Seven Editora, 2024. doi: 10.56238/sevened2024.010-049.
- [27] B. Xu, X. S. Han, M. Li, and D. L. Xiao, “System maintenance scheduling: Review and prospect,” in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, IEEE, May 2012, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISGT-Asia.2012.6303358.
- [28] X. Du and W. Liu, “Evaluation of power system reliability based on the maintenance state,” in *2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*, IEEE, Jul. 2011, pp. 1016–1020. doi: 10.1109/DRPT.2011.5994042.
- [29] REN, “RELATÓRIO DA QUALIDADE DE SERVIÇO,” 2018.
- [30] Bocheng Gao, L. Guo, Lin Ma, and Kai Wang, “Corrective maintenance process simulation algorithm research based on process interaction,” in *Proceedings of the IEEE 2012 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-2012 Beijing)*, IEEE, May 2012, pp. 1–5. doi: 10.1109/PHM.2012.6228942.
- [31] M. S. Alvarez-Alvarado *et al.*, “Power System Reliability and Maintenance Evolution: A Critical Review and Future Perspectives,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 51922–51950, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3172697.

- [32] H. Erbiyik, "Definition of Maintenance and Maintenance Types with Due Care on Preventive Maintenance," in *Maintenance Management - Current Challenges, New Developments, and Future Directions*, IntechOpen, 2023. doi: 10.5772/intechopen.106346.
- [33] A. 'Gomstyn, A. 'Jonker, "What is preventive maintenance? ."
- [34] H. . Cheng, *Implementation strategies and tools for condition based monitoring at nuclear power plants*. IAEA, 2007.
- [35] M. Patel, J. Vasa, and B. Patel, "Predictive Maintenance: A Comprehensive Analysis and Future Outlook," in *2023 2nd International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT)*, IEEE, Nov. 2023, pp. 1–7. doi: 10.1109/INCOFT60753.2023.10425122.
- [36] P. Mallioris, E. Aivazidou, and D. Bechtsis, "Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic multi-sector mapping," *CIRP J Manuf Sci Technol*, vol. 50, pp. 80–103, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.cirpj.2024.02.003.
- [37] J. Moubray, *Reliability-centred Maintenance*, 2nd ed. 1997.
- [38] M. Catelani, L. Ciani, D. Galar, and G. Patrizi, "Optimizing Maintenance Policies for a Yaw System Using Reliability-Centered Maintenance and Data-Driven Condition Monitoring," *IEEE Trans Instrum Meas*, vol. 69, no. 9, pp. 6241–6249, Sep. 2020, doi: 10.1109/TIM.2020.2968160.
- [39] M. Lehtonen, "On the optimal strategies of condition monitoring and maintenance allocation in distribution systems," in *2006 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, IEEE, Jun. 2006, pp. 1–5. doi: 10.1109/PMAPS.2006.360278.
- [40] H. N. Teixeira, I. Lopes, and A. C. Braga, "Condition-based maintenance implementation: a literature review," *Procedia Manuf*, vol. 51, pp. 228–235, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.033.
- [41] E. Ingemarsdotter, M. L. Kambanou, E. Jamsin, T. Sakao, and R. Balkenende, "Challenges and solutions in condition-based maintenance implementation - A multiple case study," *J Clean Prod*, vol. 296, p. 126420, May 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126420.
- [42] A. Bakri and M. A.-F. Mohd Szali Januddi, "Risk-Based Inspection and Maintenance," 2020, pp. 53–67. doi: 10.1007/978-3-030-46586-5_5.
- [43] REN, "Plano de Desenvolvimento e Investimento da Rede Nacional de Transporte 2025-34," Dec. 2024.
- [44] A. Setiawan, W. Adiati, and R. A. Prasajo, "An Approach of The Analytic Hierarchy Process to Acquire The Weighting Factor of High Voltage Circuit Breaker Health Index," in *2020 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, IEEE, Sep. 2020, pp. 317–322. doi: 10.1109/ICT-PEP50916.2020.9249791.
- [45] M. S. Murtado and R. Setiabudy, "Health index analysis on asset management and the influence of electricity and environmental safety aspects on overhead transmission line 150 kV Anyer – Asahimas," *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, vol. 5, no. 4, pp. 115–120, Nov. 2022, doi: 10.24036/jptk.v5i4.29823.

- [46] Office of Gas and Electricity Markets Great Britain, "DNO COMMON NETWORK ASSET INDICES METHODOLOGY Health & Criticality-Version 2.1."
- [47] L. A. Chmura, "Life-cycle assessment of high-voltage assets using statistical tool," 2014. Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://resolver.tudelft.nl/f2e60853-b77d-4790-8868-cfbb2684d4f7>
- [48] M. Brandão, "Otimização de Investimentos para a Modernização da Rede Nacional de Transporte de Eletricidade," Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.
- [49] R. A. Prasojo, A. Setiawan, Suwarno, N. U. Maulidevi, and B. Anggoro Soedjarno, "Development of Analytic Hierarchy Process Technique in Determining Weighting Factor for Power Transformer Health Index," in *2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, IEEE, Oct. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011040.
- [50] U. Khayam, T. Wahyuningsih, M. Kodrat, A. Zaeni, and Rachmawati, "GIS Overhaul Prioritization Based on the GIS Health Index," in *2024 10th International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, IEEE, Oct. 2024, pp. 328–331. doi: 10.23919/CMD62064.2024.10766216.
- [51] L. Promseela, C. Suwanasri, S. Saribut, T. Suwanasri, and R. Phadungthin, "Risk Assessment for Power Circuit Breaker by Using Failure Modes, Effects and Criticality Analysis," in *2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, IEEE, Oct. 2020, pp. 149–152. doi: 10.1109/ICPEI49860.2020.9431429.
- [52] S. O *et al.*, "A Study on the Monitoring Parameters for Power Asset Management of Switchgear," in *2022 9th International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, IEEE, Nov. 2022, pp. 305–308. doi: 10.23919/CMD54214.2022.9991476.
- [53] N. Zhou and Y. Xu, "A Multi-Evidence Fusion Based Integrated Method for Health Assessment of Medium Voltage Switchgears in Power Grid," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 38, no. 2, pp. 1406–1415, Apr. 2023, doi: 10.1109/TPWRD.2022.3215242.
- [54] N. Zhou, Y. Xu, S. Cho, and C. T. Wee, "A Systematic Review for Switchgear Asset Management in Power Grids: Condition Monitoring, Health Assessment, and Maintenance Strategy," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 38, no. 5, pp. 3296–3311, Oct. 2023, doi: 10.1109/TPWRD.2023.3272883.
- [55] D. Bimbingan, D. F. Dakhlan, I. Kurniawan, and I. Sudarmaja, "Determination of Weighting Factor for High Voltage Equipment Replacement Priority Index using Analytic Hierarchy Process," in *2023 4th International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)*, IEEE, Aug. 2023, pp. 210–215. doi: 10.1109/ICHVEPS58902.2023.10257534.
- [56] A. Alves, "Gestão de Ativos Aplicada a Seccionadores de Corrente Alternada," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2018. Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10400.22/11895>
- [57] S. Asefi *et al.*, "Measurement and Operation Based Condition Monitoring Methodology for High Voltage Circuit Breakers," in *2022 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, IEEE, Oct. 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISGT-Europe54678.2022.9960521.

- [58] E. Csanyi, "The Most Important Tests for Medium Voltage Metal-Enclosed Switchgear (You SHOULD Perform)," The Most Important Tests for Medium Voltage Metal-Enclosed Switchgear (You SHOULD Perform). Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://electrical-engineering-portal.com/tests-medium-voltage-metal-enclosed-switchgear>
- [59] E. Csanyi, "3 Most Important Routine Tests For Successful Verification Of A Low Voltage Switchgear," 3 Most Important Routine Tests For Successful Verification Of A Low Voltage Switchgear. Accessed: Jun. 11, 2025. [Online]. Available: <https://electrical-engineering-portal.com/routine-tests-low-voltage-switchgear>
- [60] F. N. Rudsari, A. A. Razi-Kazemi, and M. A. Shoorehdeli, "Fault Analysis of High-Voltage Circuit Breakers Based on Coil Current and Contact Travel Waveforms Through Modified SVM Classifier," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 34, no. 4, pp. 1608–1618, Aug. 2019, doi: 10.1109/TPWRD.2019.2915110.
- [61] K. Obarcanin and F. Ramovic, "A Method for Condition Assessment of the High Voltage Disconnect Switch Electric Motor Drive," in *2023 International Conference on Modeling, Simulation & Intelligent Computing (MoSiCom)*, IEEE, Dec. 2023, pp. 302–306. doi: 10.1109/MoSiCom59118.2023.10458760.
- [62] Zhibin Qiu, Jiangjun Ruan, Daochun Huang, and Yuchen Huang, "Mechanical fault diagnosis of high voltage outdoor disconnecter based on motor current signal analysis," in *2014 International Conference on Power System Technology*, IEEE, Oct. 2014, pp. 1193–1198. doi: 10.1109/POWERCON.2014.6993501.
- [63] S. Asefi *et al.*, "Measurement and Operation Based Condition Monitoring Methodology for High Voltage Circuit Breakers," in *2022 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, IEEE, Oct. 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISGT-Europe54678.2022.9960521.
- [64] EUROLAB Laboratory Inc., "Teste de Isolamento de Disjuntores de Alta Tensão." Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.eulabtest.com/pt/testing-the-insulation-of-high-voltage-circuit-breakers>
- [65] Geoportal, "Mapa Nacional de Corrosão Atmosférica." Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: https://geoportal.ineg.pt/pt/bds/mapa_corrosao/#!/
- [66] A. Mural and P. Gaudron, "Network Asset Criticality Framework." Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.aer.gov.au/system/files/Transgrid%20-%20Network%20Asset%20Criticality%20Framework%20-%202016%20Nov%202021%20-%20Public.pdf>
- [67] Transpower, "Asset Criticality Framework." Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: https://static.transpower.co.nz/public/uncontrolled_docs/TP%20Asset%20Criticality%20Framework%202018%20-%20FINAL.pdf?VersionId=jwjSWceDwev_ro7iJDoyP0mit3qMRDk
- [68] Y. Xu, X. Zhang, X. Wu, and J. Zhang, "A Weighted Evaluation Model for Fault Prediction of Medium Voltage Switchgear Based on BP Neural Network," in *2023 IEEE 7th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, IEEE, Sep. 2023, pp. 2414–2418. doi: 10.1109/ITOEC57671.2023.10291958.

- [69] I. P. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, "Boletim Descargas Elétricas Atmosféricas," Mar. 2024. Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/documentos/2024/Boletim_anual_DEA_2023.pdf
- [70] N. Zhou and Y. Xu, "A Prioritization Method for Switchgear Maintenance Based on Equipment Failure Mode Analysis and Integrated Risk Assessment," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 39, no. 2, pp. 728–739, Apr. 2024, doi: 10.1109/TPWRD.2023.3335351.
- [71] K. Witchawut, P. Fuangpian, T. Suwanasri, and C. Suwanasri, "Condition Assessment of a Gas Insulated Substation," in *2018 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, IEEE, Mar. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/IEECON.2018.8712240.
- [72] R. P. P. Smeets and A. G. A. Lathouwers, "Capacitive current switching duties of high-voltage circuit breakers: background and practice of new IEC requirements," in *2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37077)*, IEEE, 2000, pp. 2123–2128. doi: 10.1109/PESW.2000.847681.

Anexos

Anexo A

If any of the Factors is greater than 1:

- Var_1 = Maximum of Factors
 - Var_2 = Excluding Var_1 ,
 - For remaining Factors where $(Factor - 1) > 0$
 - Sum $(Factor - 1)$ for the highest $n-1$ of these; where $n = Max. No. of Combined Factors$
 - Var_3 = $Var_2 / Factor\ Divider\ 1$
 - Combined Factor = $Var_1 + Var_3$
- Else
- Var_1 = Minimum of Factors
 - Var_2 = Second Lowest of Factors
 - Var_3 = $(Var_2 - 1) / Factor\ Divider\ 2$
 - Combined Factor = $Var_1 + Var_3$

Where:

- *Max. No. of Combined Factors specifies how many Factors are able to simultaneously affect the Combined Factor.*
- *Factor Divider 1 and Factor Divider 2 are constants that specify the degree to which additional “good” or “bad” Factors are able further drive the Combined Factor.*

Figura 15 – Código Utilizado na Aplicação da Técnica MMI

Anexo B

Avaliação dos fatores				
	Indicador	Input	Nível	
Performance	Ano de Fabrico	2015	2	Indicador de Saúde 1,56
	Stress Operacional (Número de Curto-Circuitos)	Baixo	1	
	Número de Manobras	< 50%xREFmáx	1	
Condição	Anomalias/Inspeção Visual	Bom Estado	1	
	Termografia (Pontos Quentes)	Ponto B e C	3	
	Resistência de Contacto	>= REF e < 110%xREF	3	
	Resistência de Isolamento	>= REF	1	
	Fugas no Meio de Corte	Sem Fugas	1	
	Medição da Corrente da Bobina (Abertura)	∈ [REFmin;REFmáx]	1	
	Tempo de Fecho (ms)	∈ [REFmin;REFmáx]	1	
	Tempo de Abertura (ms)	∈ [REFmin;REFmáx]	1	
Qualidade do Isolamento	Não Deteriorado	1		
Fator de Localização	Indicador de Corrosão (Mapa de Corrosão)	C5	5	

Figura 16 – Modelo para o Cálculo do Índice de Saúde do Caso de Estudo 1 Utilizando o Método das Ponderações

Dispositivo	Disjuntor	Isolante	SF6	
Avaliação dos fatores				
	Indicador	Input	Nível	
Financeiro	Valor Total do Ativo	Disjuntor_60_kV_AIS	4	Indicador de Saúde 3,15
	Dificuldade de Acesso ao Ativo	Muito Dificil	5	
Ambiental	Volume de óleo perdido	Sem Fugas	1	
	Volume de SF6 perdido	Sem Fugas	1	
	Meios de Contenção	Não	5	
Qualidade de Serviço	Carga Potencialmente Afetada	124%xREF	5	
	Fator de Redundância	Sim	1	

Figura 17 - Modelo para o Cálculo do Índice de Criticidade do Caso de Estudo 1 Utilizando o Método das Ponderações

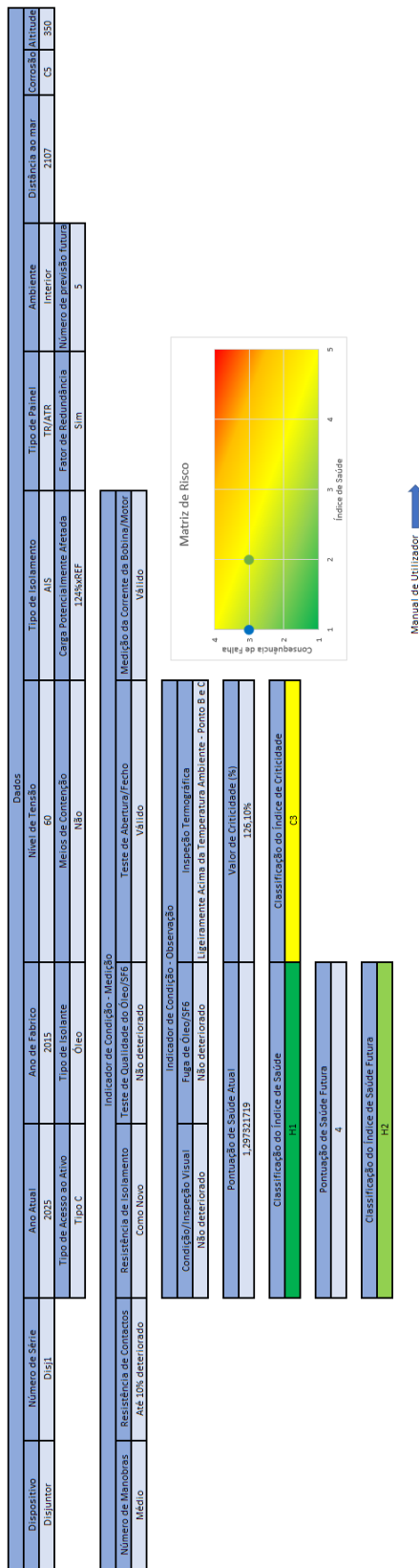


Figura 18 - Modelo para o Cálculo dos Índices de Saúde e de Criticidade do Caso de Estudo 1 Utilizando o Método das Entradas Pré-Definidas

Avaliação dos fatores				
	Indicador	Input	Nível	
Performance	Ano de Fabrico	1999	4	
	Stress Operacional (Número de Curto-Circuitos)	Baixo	1	
	Número de Manobras	>= 110%REFmáx	5	
Condição	Anomalias/Inspeção Visual	Estado Moderado	3	
	Termografia (Pontos Quentes)	Ponto B e C	3	
	Resistência de Contacto	>= 120%REF	5	
	Resistência de Isolamento	<=90% REF	5	
	Fugas no Meio de Corte	Fuga Ligeira	3	
	Medição da Corrente da Bobina (Abertura)	∈ [REFmin;REFmáx]	1	
	Tempo de Fecho (ms)	<=90% REF	5	
	Tempo de Abertura (ms)	∈ [REFmin;REFmáx]	1	
	Qualidade do Isolamento	Um Pouco Deteriorado	3	
				Indicador de Saúde 5,00
Fator de Localização	Indicador de Corrosão (Mapa de Corrosão)	C4	4	

Figura 19 - Modelo para o Cálculo do Índice de Saúde do Caso de Estudo 2 Utilizando o Método das Ponderações

Dispositivo	Disjuntor	Isolante	SF6	
Avaliação dos fatores				
	Indicador	Input	Nível	
Financeiro	Valor Total do Ativo	Disjuntor_60_kV_AIS	4	
	Dificuldade de Acesso ao Ativo	Fácil Acesso	1	
Ambiental	Volume de óleo perdido	Sem Fugas	1	
	Volume de SF6 perdido	Fugas Ligeiras	3	
	Meios de Contenção	Não	5	
Qualidade de Serviço	Carga Potencialmente Afetada	51,2%REF	3	
	Fator de Redundância	Não	5	
				Indicador de Saúde 3,26

Figura 20 - Modelo para o Cálculo do Índice de Criticidade do Caso de Estudo 2 Utilizando o Método das Ponderações

Avaliação dos fatores				
	Indicador	Input	Nível	
Performance	Ano de Fabrico	1998	4	Indicador de Saúde 2,23
	Número de Manobras	< 50%×REFmáx	1	
Condição	Anomalias/Inspeção Visual	Um Pouco Deteriorado	3	
	Termografia (Pontos Quentes)	Ponto A	5	
	Resistência de Contacto	<REF	1	
	Resistência de Isolamento	>=REF	1	
	Tempo de Fecho (ms)	∈ [REFmin;REFmáx]	1	
	Tempo de Abertura (ms)	∈ [REFmin;REFmáx]	1	
	Medição do Consumo do Motor Fecho	∈ [REFmin;REFmáx]	1	
Medição do Consumo do Motor Abertura	Não ∈ [REFmin;REFmáx]	5		
Fator de Localização	Indicador de Corrosão (Mapa de Corrosão)	C2	2	

Figura 22 - Modelo para o Cálculo do Índice de Saúde do Caso de Estudo 3 Utilizando o Método das Ponderações

Dispositivo	Seccionador	Isolante	Nenhum	
Avaliação dos fatores				
	Indicador	Input	Nível	
Financeiro	Valor Total do Ativo	Seccionador_400kV_AIS	5	Indicador de Saúde 3,40
	Dificuldade de Acesso ao Ativo	Dificuldade Média	3	
Ambiental	Volume de óleo perdido	Sem Fugas	1	
	Volume de SF6 perdido	Sem Fugas	1	
	Meios de Contenção	Não	5	
Qualidade de Serviço	Carga Potencialmente Afetada	60,8%×REF	3	
	Fator de Redundância	Não	5	

Figura 23 - Modelo para o Cálculo do Índice de Criticidade do Caso de Estudo 3 Utilizando o Método das Ponderações

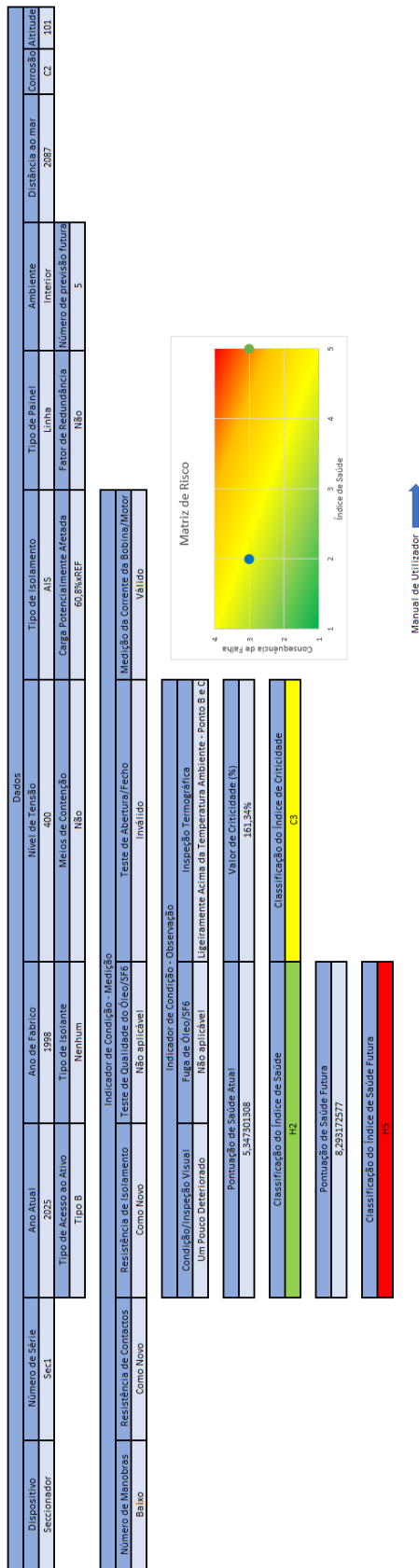


Figura 24 - Modelo para o Cálculo dos Índices de Saúde e de Criticidade do Caso de Estudo 3 Utilizando o Método das Entradas Pré-Definidas

Avaliação dos fatores				
	Indicador	Input	Nível	
Performance	Ano de Fabrico	2008	3	Indicador de Saúde 2,63
	Número de Manobras	$\geq 100\% \times \text{REFmáx}$ e $< 110\% \times \text{REFmáx}$	5	
Condição	Anomalias/Inspeção Visual	Um Pouco Deteriorado	3	
	Termografia (Pontos Quentes)	Pontos B e C	3	
	Resistência de Contacto	$< \text{REF}$	1	
	Resistência de Isolamento	$\geq \text{REF}$	1	
	Tempo de Fecho (ms)	$\in [\text{REFmin}; \text{REFmáx}]$	1	
	Tempo de Abertura (ms)	$\in [\text{REFmin}; \text{REFmáx}]$	1	
	Medição do Consumo do Motor Fecho	$\text{Não} \in [\text{REFmin}; \text{REFmáx}]$	1	
	Medição do Consumo do Motor Abertura	$[\text{REFmin}; \text{REFmáx}]$	5	
Fator de Localização	Indicador de Corrosão (Mapa de Corrosão)	C2	2	

Figura 25 - Modelo para o Cálculo do Índice de Saúde do Caso de Estudo 4 Utilizando o Método das Ponderações

Dispositivo	Seccionador	Isolante	Nenhum	
Avaliação dos fatores				
	Indicador	Input	Nível	
Financeiro	Valor Total do Ativo	Seccionador_400kV_GIS	5	Indicador de Saúde 2,37
	Dificuldade de Acesso ao Ativo	Difícil Acesso	5	
Ambiental	Volume de óleo perdido	Sem Fugas	1	
	Volume de SF6 perdido	Sem Fugas	1	
	Meios de Contenção	Não	5	
Qualidade de Serviço	Carga Potencialmente Afetada	$14,8\% \times \text{REF}$	1	
	Fator de Redundância	Não	1	

Figura 26 – Modelo para o Cálculo do Índice de Criticidade do Caso de Estudo 4 Utilizando o Método das Ponderações

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

ISEP, Porto, 17 de junho de 2025

Miguel Sousa e Lisboa