



DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO EM VBA ACCESS PARA ANÁLISE DE DISJUNTORES AT/MAT

ANDRÉ FILIPE PEREIRA PONTE

outubro de 2016

DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO EM VBA ACCESS PARA ANÁLISE DE DISJUNTORES AT/MAT

André Filipe Pereira Ponte



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2016

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: André Filipe Pereira Ponte, Nº 1110433, 1110433@isep.ipp.pt

Orientação científica: Tiago Branco Andrade, tba@isep.ipp.pt

Empresa: REN- Redes Energéticas Nacionais

Supervisão: António Canhoto, antonio.canhoto@ren.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2016

Dedico esta dissertação à minha família e amigos.

Agradecimentos

Ao Professor Tiago Andrade, por me ter acompanhado ao longo do ano na concretização deste projeto sem me negar qualquer tipo de ajuda, pela disponibilidade e incentivo constante.

Ao Eng^o António Canhoto, pelos conhecimentos e conselhos que me transmitiu, pela total disponibilidade e por me fazer tirar proveito de um dia menos bom com um simples momento mais descontraído.

Ao Eng^o João Lobo, pelos conhecimentos transmitidos, pela disponibilidade e pela motivação que me deu ao longo de todo o projeto.

Ao Carlos Lopes e à Inês Almeida, pela companhia, conselhos, ajuda constante, pelas gargalhadas sem fim e pelos amigos que se tornaram para mim.

À Amélia, Emília e Graça e pela amizade, companhia e pelos conselhos que me deram.

À Mariana Pereira, minha companheira de sempre, por estar presente em todos os momentos, pela paciência e motivação.

Ao, Bruno Barbosa e Diogo Silva pela grande amizade e por me acompanharem ao longo destes anos.

Aos meus queridos pais e irmão, por fazerem de mim o que sou hoje, pelos conselhos sábios e por fazerem com que eu nunca desista dos meus objetivos.

Resumo

O processo atual de gestão de dados de manutenção passa por guardar os dados retirados pelas equipas de manutenção em ficheiros *Excel*, os quais serão armazenados em pastas na rede da REN. Esse processo, apesar de eficaz no que diz respeito ao armazenamento, é inadequado relativamente ao tratamento de dados e à tomada de decisão.

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão estatística em VBA Access, que permita de forma autónoma analisar o comportamento de todos os disjuntores existentes na rede de alta tensão, identificando os equipamentos que podem influenciar o bom funcionamento da rede. A finalidade deste projeto passa pelo armazenamento de dados numa base de dados única, que permite facilitar o registo por parte das equipas de manutenção e simplificar a tomada de decisões por parte dos gestores, o que por sua vez aumentará a fiabilidade dos ativos e diminuirá os custos de operação dos mesmos.

A ferramenta possibilita a avaliação do estado dos disjuntores permitindo o planeamento das manutenções, que até então eram realizadas com base no tempo, ou seja, manutenções periódicas que podem variar segundo o estado do equipamento, sendo na maioria dos casos de carácter fixo. Na aplicação é pretendido que as manutenções passem a ser realizadas com base no estado, ou seja, derivadas da atividade do equipamento e dos resultados obtidos através da avaliação do mesmo. Para além das manutenções, o *software* permitirá ainda a avaliação dos equipamentos na rede, permitindo aos gestores de redes avaliar as atividades desempenhadas pelos ativos, e a partir daí decidir se o equipamento deve ser retirado de funções, quais os equipamentos que apresentam maior fiabilidade (por fabricante) e até os locais onde existe maior tensão na rede.

Palavras-Chave

Disjuntor, SF₆, Inspeções, VBA Access, Análise Gráfica.

Abstract

The current process of data management involves storing the data from the maintenance teams in Excel files, which are then stored in the REN data network. This process, although effective with regard to storage, is inappropriate in relation to data processing and decision making.

This study aims to develop a statistical management tool in VBA Access, which allows independently analyse the behaviour of all the circuit breakers in high voltage network and identifying the equipment that may affect the proper functioning of the network. The purpose of this project through is to storage in a single database, which facilitates the registration by the maintenance teams and simplifies decision-making by managers, which in turn will increase the reliability of assets and decrease the operating costs.

The tool would allow the assessment of the status of circuit breakers allowing the planning of maintenance, which until then were made based on time, or periodic maintenance that may vary according to the condition of the equipment, and in most cases fixed. In the application it is intended to pass the maintenance to be performed based on the state, or derived from activity of the equipment and the results obtained by evaluating the equipment. In addition to maintenance, the software will also allow the evaluation of equipment on the network, allowing network managers to evaluate the activities carried out by assets, and from there decide whether the equipment should be removed, which equipment will have higher reliability (my suppliers) and even the locations where there is greater tension on the network.

Keywords

Circuit Breaker, SF₆, Inspections, Access VBA, Graphical Analysis.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
ACRÓNIMOS	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2.OBJETIVOS	2
1.3.ESTRUTURA DO DOCUMENTO	3
2. DISJUNTORES DE ALTA E MUITO ALTA TENSÃO	5
2.1.DISJUNTORES	5
2.2.CLASSIFICAÇÃO DOS DISJUNTORES	6
2.3.TIPOS DE DISJUNTORES	9
2.4.HEXAFLUORETO DE ENXOFRE.....	14
2.5.CONCLUSÕES	18
3. PARQUE DE DISJUNTORES DA REN	19
3.1.POPULAÇÃO DE DISJUNTORES	19
3.2.IDADE	21
3.3.DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO POR APLICAÇÃO	23
3.4.DISTRIBUIÇÃO DOS DISJUNTORES DA RNT POR TIPO DE ACIONAMENTO	24
3.5.TIPO DE INSTALAÇÃO E ISOLAMENTO.....	24
3.6.DISTRIBUIÇÃO DOS DISJUNTORES DA RNT POR TIPO DE DIELÉTRICO	26
3.7.CONCLUSÕES	27
4. POLÍTICAS E ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO	29
4.1.ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO	29
4.2.MANUTENÇÃO DE DISJUNTORES AT/MAT DA REN	34
4.3.ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO ADOTADAS PELA REN	35
4.4.CONCLUSÕES	43

5. INDICADORES DE DESEMPENHO.....	45
5.1.CARACTERIZAÇÃO DE FALHAS EM DISJUNTORES.....	45
5.2.TAXA DE FUGAS DE SF ₆	50
5.3.Nº DE MANOBRAS EM DISJUNTORES.....	53
5.4.Nº DE INCIDENTES EM DISJUNTORES.....	53
5.5.CONCLUSÕES.....	54
6. FERRAMENTA EM VBA ACCESS DE APOIO À ANÁLISE DE DADOS DE DISJUNTORES AT/MAT.....	55
6.1.LINGUAGEM UTILIZADA (VBA ACCESS).....	56
6.2.INTERAÇÃO ENTRE OS SOFTWARES DE GESTÃO DE DADOS: SAP, GESTINC E GESTDISJ.....	56
6.3.ARQUITETURA DA BD GESTDISJ.....	59
6.4.CASO DE ESTUDO.....	80
7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	87
7.1.CONCLUSÕES.....	87
7.2.DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	88
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	90

Índice de Figuras

Figura 1- Configuração externa tipo <i>Dead Tank</i> (Megger).	8
Figura 2- Configuração externa tipo <i>Live Tank</i> (Megger).	8
Figura 3- Disjuntor de Grande Volume de Óleo.	10
Figura 4- Disjuntor de Pequeno Volume de Óleo.	10
Figura 5- Disjuntor a ar comprimido.	11
Figura 6- Características de pressão, temperatura e densidade do SF ₆ (adaptado de (IEP, 2009)).	15
Figura 7- População de disjuntores da REN.	20
Figura 8- Evolução dos parques de disjuntores nos últimos 10 anos.	20
Figura 9- Exemplo representativo da Curva da Banheira. (Barbosa, 2013)	22
Figura 10- Distribuição dos disjuntores por classe de idade.	22
Figura 11- Distribuição da população de disjuntores por tipo de aplicação.	23
Figura 12- Distribuição dos Disjuntores por Tipo de Acionamento.	24
Figura 13- Distribuição dos Disjuntores por Tipo de Instalação e isolamento.	26
Figura 14- Distribuição dos Disjuntores por Tipo de Dielétrico.	27
Figura 15- Estratégias de Manutenção (adaptado de (REN, 2014)).	30
Figura 16- Exemplos de degradação de contatos principais (1) e dos contactos de arco fixo (2) de disjuntores a óleo.	35
Figura 17- Exemplos de degradação da Tubeira PTFE (1) e dos contatos de arco móvel (2) de disjuntores de SF ₆ .	35

Figura 18- Estratégias de Manutenção utilizadas pela REN a disjuntores.	36
Figura 19- Zonas Criticas de pressão.	38
Figura 20- Indicação da pressão do compartimento através de um Densímetro.	38
Figura 21- Detetor de fugas de SF ₆ digital.	38
Figura 22- Atividades que decorrem de uma Inspeção B.	39
Figura 23- Indicação da pressão do compartimento através de um monómetro com o registo da temperatura ambiente.	40
Figura 24- Aparelho multi-analisador de SF ₆ .	41
Figura 25- Exemplo de resultado de medição obtidos pelo multi-analisador.	41
Figura 26- Representação de ensaio de medição de resistência de contacto.	41
Figura 27- Taxa de MaF e MiF por ano de ocorrência.	48
Figura 28- Percentagem de MaF e MiF por nível de tensão.	48
Figura 29- Evolução da Taxa de Reenchimentos num intervalo de 8 anos.	52
Figura 30- <i>Layout</i> da página principal da aplicação GestInc.	57
Figura 31- Esquema representativo da utilização de dados realizada entre as aplicações GestDisj., GesteInc e SAP.	58
Figura 32- Menu principal da versão <i>online</i> .	60
Figura 33- Menu principal da versão <i>offline</i> .	60
Figura 34- <i>Layouts</i> da funcionalidade “Consultar”.	61
Figura 35- <i>Layouts</i> da funcionalidade "Preencher".	62
Figura 36- Menu principal da Função Plano de Inspeções.	64
Figura 37- <i>Layout</i> do botão "Plano de Inspeções".	65

Figura 38-Opção de adicionar manualmente um disjuntor.	65
Figura 39-Consultar Plano de Inspeções em Curso.	66
Figura 40- Menu da secção "Estatísticas".	67
Figura 41- Estrutura típica do menus "Estatística".	68
Figura 42- Filtro para o equipamento.	69
Figura 43-Filtro misto para o equipamento ou família de disjuntores.	69
Figura 44- Estrutura da função de análise gráfica da secção histórico.	70
Figura 45- Menu comparar por equipamento.	70
Figura 46- Menu comparar família.	70
Figura 47- Exemplo de um relatório impresso na secção “Caracterização de Populações”.	71
Figura 48- Exemplo representativo da secção “Estatística” de uma análise à endurance mecânica.	72
Figura 49- Exemplo representativo da secção “Histórico” de uma análise à endurance mecânica.	72
Figura 50- Exemplo de uma análise anual ao número de manobras e arranques de bomba.	73
Figura 51- Exemplo de uma análise relativa ao número de manobras e correntes de curto-circuito ocorridas num equipamento.	74
Figura 52- Exemplo da secção “Histórico” do menu “Endurance Elétrica”.	74
Figura 53- Exemplo da análise a gráfica no módulo “Endurance Elétrica”.	75
Figura 54- Exemplo dos dados relativos ao disjuntor obtidos na secção “Gráficos”.	75
Figura 55- Análise relativa a MiF.	76

Figura 56- Análise relativa a MaF.	76
Figura 57- Layout da "Caraterização de populações" do menu "Estatísticas".	77
Figura 58- Análise do nº de Fugas de SF ₆	78
Figura 59- Exemplo do nº de fugas ocorridas em todos os equipamentos da RNT.	78
Figura 60- Exemplo da análise gráfica à análise de fugas por Tipo de Disjuntor.	79
Figura 61-Layout da página "Ajuda".	80
Figura 62- Análise ao ponto de orvalho.	81
Figura 63- Análise ao SF ₆ .	82
Figura 64- Análise ao SO ₂ .	82
Figura 65- Análise do número de incidentes ocorridos no equipamento A.	83
Figura 66-Acumulado das correntes de curto circuito por pólo.	84
Figura 67- Análise do número de manobras ocorridos no equipamento A.	84
Figura 68- Análise do número de manobras registadas durante as inspeções A.	85

Índice de Tabelas

Tabela 1- Níveis máximos de impureza definidos pela CEI 60480	17
Tabela 2- Legislação e normas aplicáveis na REN ao uso e manipulação do SF ₆	17
Tabela 3- Vantagens e desvantagens de uma manutenção periódica (adaptado de (REN, 2014))	31
Tabela 4- Vantagens e desvantagens de uma manutenção periódica (adaptado de (REN, 2014))	32
Tabela 5- Vantagens e desvantagens de uma manutenção baseada na fiabilidade (adaptado de (REN, 2014))	33
Tabela 6- Nível de gravidade e limites temporais para a correcção de sobreaquecimentos (adaptado de (REN, 2005))	37
Tabela 7- Codificação das notas de Avaria para as MaF	46
Tabela 8- Codificação das notas de Avaria para as MiF	47
Tabela 9- Taxa de MaF e MiF por Tipo de Aplicação	49
Tabela 10- Taxa de MaF e MiF por tipo de Isolamento	49
Tabela 11- Taxa de MaF e MiF por meio extintor	50
Tabela 12- MaF e MiF por tipo de acionamento	50
Tabela 13- Classe mecânica dos disjuntores por tipo de aplicação (Norma 62210-100)	53
Tabela 14- Número de incidentes ocorridos por corrente de defeito	54
Tabela 15- Funcionalidades presentes na versão <i>online</i> e <i>offline</i>	60

Acrónimos

AIS	–	<i>Air-Insulated Switchgear</i>
AlF ₃	–	Trifluoreto de alumínio
AT	–	Alta Tensão
BARR	–	Barramento
BD	–	Base de Dados
CBM	–	<i>Condition Based Maintenance</i>
CEI	–	Comissão Eletrotécnica Internacional
CF ₄	–	Tetrafluoreto de Carbono
CH ₄	–	Metano
CO ₂	–	Dióxido de Carbono
CuF ₂	–	Floreto de Cobre
COR	–	Elemento de Rede
GIL	–	Conduas Isoladas a Gás de Alta Tensão
GIS	–	Gas-insulated switchgear
GVO	–	Grande Volume de óleo
GWP	–	Global Warming Potential
HFC	–	Hidrocarbonetos Fluorados
KPI	–	<i>Key Performance Indicator</i>

MaF	–	<i>Major Failure</i>
MAT	–	Muito Alta Tensão
MiF	–	<i>Minor Failure</i>
N ₂ O	–	Óxido Nitroso
ODP	–	Ozone Depletion Potential
PBC	–	Bateria de Condensadores
PBP	–	Painel By-Pass
PFC	–	Hidrocarbonetos Perfluorados
PGR	–	Painel Grupo Gerador
PIB	–	Painel de Interbarras
PLC	–	Painel Linha/Cabo
PLN	–	Painel de Linha
PMO	–	Painel de Módulo
PRS	–	Painel de Reatância Shunt
PTFE	–	Politetrafluoretileno
PTR	–	Painel de Transformador
PVO	–	Pequeno Volume de Óleo
RCM	–	<i>Reliability Centred Maintenance</i>
REN	–	Redes Energéticas Nacionais
RNT	–	Rede Nacional de Transporte
SAS	–	Sistema de Armazenamento Seletivo

- SEE – Sistema Eléctrico de Energias
- SF₄ – Tetrafluoreto de Enxofre
- SF₆ – Hexafluoreto de Enxofre
- SQL – *Structured Query Language*
- TBM – *Time Based Maintenance*
- VBA – *Visual Basic for Applications*
- WF₆ – Hexafluoreto de Tungsténio

1. INTRODUÇÃO

O presente projeto foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica de Sistemas Elétricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto. O tema abordado está relacionado com os disjuntores que constituem a Rede Nacional de Transporte (RNT), sendo o objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta estatística. O tema foi desenvolvido em colaboração com a Direção de Engenharia de Ativos (ELEX-EA) da REN-Rede Elétrica Nacional, situada em Vermoim, Maia. Neste capítulo será feito um enquadramento e explicada a motivação, objetivos e estrutura da Dissertação.

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

A motivação do trabalho concretizado está diretamente relacionado com a necessidade da REN em ter uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão em relação à periodicidade com que os disjuntores devem ser submetidos a manutenção.

A REN caracteriza-se por ser uma organização que tem como principal objetivo o transporte de energia elétrica em Alta Tensão (AT) e Muito Alta Tensão (MAT) entre os produtores e os centros de consumo, a gestão global do sistema e o transporte e gestão do sistema de gás. O disjuntor é um equipamento de elevada importância para o sistema elétrico de energia (SEE) uma vez que este é o ativo responsável pela separação entre dois elementos da rede.

A gestão de ativos é um dos temas mais preocupantes para a REN que detêm ativos físicos. A sua importância tem aumentado, particularmente, devidos a restrições de orçamento e à redução de investimentos. Atualmente, a grande questão que se vive no sector empresarial, não é identificar os recursos mínimos necessários para alcançar um nível de fiabilidade desejável, mas sim a fiabilidade máxima que se consegue alcançar com um número mínimo de equipamentos.

Os custos associados às estratégias devem ser tratados com especial rigor, sendo que no caso da REN existem incentivos regulatórios ao aumento do período de vida útil e da fiabilidade dos equipamentos. É, portanto, necessário rever as atuais estratégias de manutenção aplicadas pela REN, no sentido de incorporar manutenções baseadas no estado, com o objetivo de desenvolver manutenções baseadas na eficiência, análise de custo e ciclo de vida dos equipamentos.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é desenvolver uma ferramenta de análise de dados que auxilie na tomada de decisão, sendo esta suportada por uma interface gráfica para fácil leitura de dados.

Com a finalidade de orientar a estrutura do trabalho, foi definido o seguinte conjunto de actividades:

- Identificar a estado da arte das diferentes tecnologias de disjuntores AT/MAT;
- Caracterização da população de disjuntores existente na RNT;
- Análise das estratégias de manutenção aplicadas pela REN;
- Estudo dos fatores que influenciam o desempenho dos disjuntores;
- Aprendizagem das linguagens de programação VBA e SQL;
- Desenvolvimento da aplicação de análise de dados.

Por fim, será realizado um caso de estudo com a finalidade de validar a utilização da metodologia de manutenção baseada no estado dos equipamentos como ferramenta de

calendarização das manutenções e análise de estado dos equipamentos que integram o RNT.

1.3. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

O presente documento encontra-se dividido em 7 capítulos.

O capítulo 1 tem como objetivo apresentar um enquadramento da estrutura e objetivos a atingir com a elaboração do relatório.

No capítulo 2 são apresentados os aspectos técnicos e princípios de funcionamento dos disjuntores e dos seus constituintes, demonstrando também as tecnologias de corte utilizadas por estes equipamentos. É ainda realizada uma abordagem ao hexafluoreto de enxofre (SF₆), relativamente aos seus níveis de impurezas aceitáveis, legislação e normas aplicáveis na REN ao seu uso e manipulação.

O capítulo 3 destina-se à análise do parque de disjuntores da REN. Os disjuntores que integram a RNT são analisados segundo nível de tensão, idade, tipo de aplicação, tipo dielétrico e tipo de instalação.

No que diz respeito ao capítulo 4, refere-se aos principais tipos de manutenção existentes, mostrando ainda qual a metodologia de manutenção actualmente utilizada pela REN.

No capítulo 5 é efectuada uma contextualização e análise dos indicadores de performance que influenciam no funcionamento dos disjuntores.

O capítulo 6 está relacionado com a aplicabilidade da aplicação desenvolvida e a interatividade entre as diferentes bases de dados que a suportam. É também efectuado um caso de estudo para validação da aplicação.

O capítulo 7 destina-se a uma conclusão da metodologia implementada, destacando os contributos que esta poderá apresentar para a empresa. São também apresentados aspetos para desenvolvimentos futuros e como a abordagem implementada poderia melhorar outros setores da organização

2. DISJUNTORES DE ALTA E MUITO ALTA TENSÃO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar os vários tipos de disjuntores que podem existir na rede eléctrica de AT e MAT. Neste, são enunciadas as características dos disjuntores por tipo de dielétrico.

2.1. DISJUNTORES

O sistema eléctrico é composto por um vasto número equipamentos. Durante um defeito ou curto-circuito, estes são sujeitos a esforços mecânicos e eléctricos que podem resultar em danos permanentes nos equipamentos de rede.

Com o intuito de salvaguardar a integridade dos equipamentos, os defeitos devem ser eliminados e o sistema deverá ser capaz de retomar o seu funcionamento o mais rapidamente possível. O sistema deve ainda ter a capacidade de realizar operações de comutação dos circuitos (abertura e fecho) para isolar partes do sistema eléctrico para efeitos de protecção, controlo e reparação. Os equipamentos encarregues de abrir ou fechar circuitos são os disjuntores.

Os disjuntores são equipamentos mecânicos capazes de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais de funcionamento e em condições de defeito (curto-circuito).

Estes podem ser operados manualmente ou automaticamente e agem de forma a garantir a proteção dos sistemas elétricos. Espera-se que estes equipamentos estejam prontos a entrar em funcionamento em qualquer situação, mesmo depois de um longo período em que não tenham surgido solicitações.

Os disjuntores de alta tensão devem cumprir as seguintes funções:

- Serem capazes de suportar qualquer tipo de sobretensão para a sua gama de operação;
- Quando estão no estado fechado, serem aptos de suportar correntes de curto-circuito por um período tempo sem que ocorram sobreaquecimentos ou falhas mecânicas dos seus componentes;
- Comportarem-se como um bom condutor quando se encontram na posição fechada e como um bom isolador quando estão na posição aberta;
- Interromperem ou colocarem de novo em serviço um circuito no menor período de tempo possível.

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS DISJUNTORES

Os disjuntores podem ser agrupados essencialmente através dos seguintes critérios: a tensão a que se destinam, a tecnologia de corte, o tipo de aplicação e o local de instalação.

- **Nível de tensão**

Neste grupo, os disjuntores podem ser classificados segundo o nível de tensão a que se destinam. Essa distinção divide-os em dois grupos:

1. Disjuntores de baixa tensão, que são os equipamentos utilizados para tensões inferiores a 1000 V. (Standard, 62271-100 , 2001)
2. Disjuntores de alta tensão, que são aplicados a tensões iguais ou superiores a 1000 V. (Standard, 62271-100 , 2001)

Na REN, os disjuntores que operam nos níveis de tensão de 150, 220 e 400 kV são categorizados como pertencendo à MAT.

- **Tecnologia de corte**

Os meios de interrupção são os fatores que ditam o *design* geral dos disjuntores. Este resulta de um desenvolvimento na tecnologia derivado da necessidade de a rede suportar níveis de tensão mais altos.

A utilização de óleo ou o ar, numa primeira fase, como meio de extinção foi feita no início do século XX. Estes equipamentos ainda se encontram em funcionamento, não tendo sofrido novas alterações. Na década de 70, surgiram os disjuntores a SF₆ e vácuo, tornando-se até aos dias de hoje os principais meios interruptores utilizados em instalações AT/MAT. (Cruz, 2014)

- **Tipo de instalação**

Em termos de instalação, os disjuntores podem ser agrupados nos tipos de instalação interior ou exterior. A única diferença entre ambas é o tipo de revestimento utilizado. A câmara de corte e os mecanismos de operação são, na maior parte dos casos os mesmos para ambos os tipos de disjuntores, desde que sejam usados para os mesmos níveis de tensão e adotem as mesmas tecnologias de corte.

Relativamente às instalações interiores são as que os disjuntores se encontram no interior de infra-estruturas protegidos das adversidades do meio exterior.

No que diz respeito às instalações exteriores, os equipamentos estão expostos às condições climáticas. Do ponto de vista do seu desenho estrutural, os disjuntores que se encontram em instalações exteriores podem ser classificados como *Dead tank* ou *Live tank*.

O *Dead tank* trata-se de um disjuntor no qual a câmara de corte está inserida num invólucro de metal ligado ao potencial da Terra; no *Live tank* a câmara de corte está colocada na parte interior de um isolador que pode ser de porcelana ou polímero. Durante o seu funcionamento, este não se encontra ligado à Terra e, conseqüentemente, exposto à alta tensão, razão pela qual é assim intitulado. (Cruz, 2014)

As principais vantagens da configuração *Dead tank* são o seu design compacto, fácil instalação e o facto de estar adequado a áreas com elevada frequência sísmica. (Megger)



Figura 1- Configuração externa tipo *Dead Tank* (Megger).

Para os países/ entidades que adotem a norma da Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI), como é o caso da REN, é utilizada a configuração do tipo *Live Tank*. As suas principais vantagens estão relacionadas com menores custos dos disjuntores, redução do espaço de montagem necessário e menor quantidade de meio interruptor (Ex. Óleo, SF₆). (Cruz, 2014)



Figura 2- Configuração externa tipo *Live Tank* (Megger).

- **Tipo de Aplicação**

Todos os disjuntores apresentam o mesmo princípio de funcionamento, podendo, no entanto ser aplicados em diferentes locais e com diversas funções. Os diferentes tipos de painéis nos quais um disjuntor pode ser instalado são:

- Barramento (BARR);
- Bateria de Condensadores (PBC);
- Painel By-Pass (PBP);
- Painel Grupo Gerador (PGR);
- Painel de Interbarras (PIB);
- Painel de Linha (PLN);
- Painel de Módulo (PMO);
- Painel de Reatância Shunt (PRS);
- Painel de Transformador (PTR);
- Painel Linha/Cabo (PLC).

2.3. TIPOS DE DISJUNTORES

Atualmente existem no mercado vários tipos de disjuntores, sendo esses caracterizados pela tecnologia de extinção do arco elétrico. Os quatro principais tipos correspondem a disjuntores a óleo, a ar comprimido, a vácuo e a SF₆.

2.3.1. DISJUNTORES A ÓLEO

Os disjuntores a óleo podem ser divididos em duas tecnologias diferentes:

1. Grande Volume de óleo (GVO)

Os GVO's são o tipo mais antigo de disjuntores, que usam o óleo como meio interruptor. Neste tipo, os contactos ficam no interior de um tanque com óleo, que é utilizado para interrupção das correntes e para isolamento entre as parte ativas e a Terra. Estes equipamentos são usados em média e alta tensão até 230 kV com um tanque que necessita de aproximadamente 50000 litros de óleo. (Garzon, 2002)



Figura 3- Disjuntor de Grande Volume de Óleo.

2. Pequeno Volume de óleo (PVO)

De forma a reduzir o espaço dos tanques dos disjuntores de GVO's, e conseqüentemente, reduzir a necessidade de óleo e custos, foram desenvolvidos os PVO's. Estes foram projetados com uma câmara de extinção onde o fluxo de óleo é forçado sobre o arco, aumentando a eficiência na extinção do arco e reduzindo o volume de óleo necessário no equipamento. (Choonhapran, 2008) (Van der Sluis, 2001)



Figura 4- Disjuntor de Pequeno Volume de Óleo.

A maior diferença entre estes e os GVO's é o facto de os PVO's usarem o óleo principalmente como meio extintor, sendo o isolamento dos equipamentos que constituem o disjuntor feito com materiais como a porcelana. (Van der Sluis, 2001) (Choonhapran, 2008)

2.3.2. DISJUNTORES A AR COMPRIMIDO

Os disjuntores a ar comprimido foram inicialmente desenvolvidos em 1927, sendo utilizados comercialmente por volta de 1940. Esta tecnologia dominou as redes de alta tensão até ao aparecimento dos disjuntores a SF₆, chegando mesmo a ser o único tipo de disjuntor disponível para tensões superiores a 345 kV. (Garzon, 2002)

Os disjuntores a ar comprimido utilizam o Azoto contido no ar para extinguir o arco elétrico. A interrupção do arco nestes equipamentos é efetuada através da introdução de um fluxo de ar axial ou transversal de alta pressão sobre o arco. O ar é comprimido no interior de um reservatório, sendo libertado a alta velocidade na direção do arco quando os contactos são abertos. (Choonhapran, 2008) (Van der Sluis, 2001)

Este equipamento é normalmente utilizado na alta e muito alta tensão. Quando comparado com o óleo, o ar tem as vantagens de ser quimicamente estável, abundante e corresponde a um meio extintor não inflamável. Para além disso, estes equipamentos têm um tempo de interrupção curto, podem ser utilizados em locais onde existem riscos de incêndio e requerem pouca manutenção. (Choonhapran, 2008)



Figura 5- Disjuntor a ar comprimido.

As desvantagens destes equipamentos são os elevados níveis de ruído provocados pela sua operação e os custos elevados associados à produção, armazenamento e manutenção destes sistemas. (Choonhapran, 2008)

2.3.3. DISJUNTORES A VÁCUO

Trata-se de um tipo de disjuntores que tira vantagens do vácuo por causa das suas características dielétricas e das suas capacidades de difusão como meio interruptor.

As primeiras experiências com disjuntores a vácuo tiveram início em 1926, por R. Sorrensen e H. Mendelhall. No entanto, foi apenas em 1960 com a evolução da indústria metalúrgica que se tornou possível o desenvolvimento de materiais e métodos de fabrico que garantissem uma câmara com vácuo adequado, livre de impurezas e fugas e o desenvolvimento de interruptores mais práticos. (Van der Sluis, 2001)

Os disjuntores a vácuo são utilizados em instalações até 145 kV (ex. Siemens 8VN1 com isolamento a gás e o Siemens 3AV1 com isolamento a ar), sendo que a sua resistência dielétrica é consideravelmente mais elevada do que a dos outros meios de interrupção. Uma separação dos contactos de 1 cm é suficiente para extinguir o arco neste equipamentos. (Choonhapran, 2008) (Cruz, 2014)

A interrupção do arco elétrico, ao contrário do que acontece nos outros tipos de disjuntores, não se deve à existência de um meio extintor. Neste equipamento, o arco é mantido por iões resultantes da nuvem de partículas proveniente dos contactos aquando da formação do arco. A intensidade de corrente é proporcional à quantidade de vapor, ou seja, o plasma diminui quando esta decresce e se aproxima de zero. Após a interrupção da corrente, as partículas recuperam a sua rigidez depositando-se novamente na superfície dos contactos. (Garzon, 2002)

2.3.4. DISJUNTORES A SF₆

As propriedades dielétricas do SF₆ foram descobertas em 1920, sendo este gás utilizado como meio interruptor em disjuntores por volta de 1940. O equipamento começou, no entanto, a ser comercializado por volta de 1959. (Van der Sluis, 2001)

Nos seus *designs* iniciais, este equipamento assemelhava-se a um disjuntor a ar comprimido. No entanto, é importante destacar algumas diferenças entre estes e os disjuntores a ar comprimido. Ao contrário do que acontece nos disjuntores a ar, nos disjuntores a SF₆, o gás não pode ser

libertado para o meio ambiente após a sua utilização. Após a interrupção de uma corrente, o gás (SF_6) deve ser armazenado no interior do equipamento para que retome o seu estado inicial e seja utilizado em interrupções futuras. (Van der Sluis, 2001)

O SF_6 é um gás que se liquefaz, quando comprimido e exposto à temperatura ambiente, sendo por isso necessária a instalação de um sistema de aquecimento para manter o gás no estado gasoso e filtros dessecantes para absorver a água.

Nos disjuntores a SF_6 , a corrente continua a fluir após a separação dos contactos, através de um arco de plasma de SF_6 ionizado. Estes equipamentos são desenvolvidos para que quando exista a formação de um arco elétrico seja libertado um fluxo de gás constante, de forma a diminuir a temperatura do arco e assim permitir a sua extinção quando a corrente atinge o valor zero. (Iturregi, Torres, Zamora, & Abarrategui, 2009)

Os disjuntores que usam o SF_6 como meio extintor são os seguintes:

- Tecnologia de dupla pressão (*double-pressure*);
- Tecnologia de pressão única a sopro (*puffer*).
- Tecnologia de pressão única a Auto Expansão (*self-blast*)

2.3.4.1. DISJUNTORES A SF_6 DE DUPLA PRESSÃO

Os disjuntores de pressão dupla são caracterizados como a primeira geração de disjuntores, na medida em que estes equipamentos utilizavam um princípio similar ao utilizado nos disjuntores a ar. Os contactos eram colocados no interior do um tanque cheio com SF_6 e o arco era extinto através do SF_6 comprimido, sendo o gás armazenado num recipiente de alta pressão. Devido à pressão do tanque, eram instalados nestes equipamentos sistemas de aquecimento, de forma a manter o gás no estado gasoso. (Garzon, 2002) (Van der Sluis, 2001)

A maior desvantagem destes equipamentos era a liquefação do gás e a conseqüente necessidade de um sistema de aquecimento. Estes fatores introduziam uma probabilidade maior de o disjuntor ficar inutilizado visto que, se o equipamento de aquecimento não funcionasse, o disjuntor não podia desempenhar as suas funções. (Garzon, 2002)

Uma outra desvantagem deste equipamento é o facto de necessitar de um compressor para bombagem e pressurização do gás no interior do reservatório. Este equipamento, para além de aumentar o valor do disjuntor, pode retirar confiabilidade ao mesmo. (Van der Sluis, 2001)

2.3.4.2. DISJUNTORES A SF₆ DE PRESSÃO ÚNICA A SOPRO

No que diz respeito aos disjuntores de pressão única a sopro, são equipamentos de segunda geração utilizados em níveis de tensão mais altos com capacidade de curto-circuito até 63 kV. Estes disjuntores funcionam de acordo com o princípio de pressão única, onde o disjuntor é preenchido com SF₆ à pressão nominal. O diferencial de pressão, que é necessário extinguir o arco, é criado pela manobra de abertura dos contactos sem haver necessidade de utilizar um compressor. Quando ocorre o movimento de abertura, o cilindro e o sistema de contactos movem-se comprimindo o gás contra um pistão fixo. O gás comprimido é então expelido a grande velocidade pela tubeira, extinguindo o arco. (Choonhapran, 2008)

Por este motivo, torna-se desnecessária a utilização de todos os mecanismos associados ao sistema de aquecimento, compressor e reservatório de alta pressão utilizados nos disjuntores a SF₆ de pressão dupla. (Van der Sluis, 2001)

2.3.4.3. DISJUNTORES A SF₆ DE PRESSÃO ÚNICA A AUTO EXPANSÃO

Para os níveis de tensão mais baixos foram desenvolvidos os disjuntores a SF₆ de pressão única a auto expansão (ou de terceira geração). A câmara de corte deste equipamento é composta por dois compartimentos com a mesma pressão. A energia resultante da formação do arco é usada para gerar a pressão de arrefecimento na câmara de corte. Este tipo de disjuntor é normalmente utilizado em níveis de tensão até 123 kV.

A maior diferença entre os dois disjuntores de pressão única a sopro ou a auto expansão é o facto de os disjuntores a sopro usarem a energia mecânica fornecida pelos mecanismos que constituem o disjuntor para comprimir o gás, ao passo que, os disjuntores a auto expansão utilizam a energia calorífica libertada pelo arco para aumentar a pressão do gás. (Garzon, 2002) (Van der Sluis, 2001)

2.4. HEXAFLUORETO DE ENXOFRE

O Hexafluoreto de enxofre (SF₆) é um gás sintético que apresenta uma elevada eletronegatividade. Em condições normais de pressão e temperatura, o referente gás é inodoro e incolor. Não é inflamável nem tóxico, mas é cerca de cinco vezes mais pesado que o ar.

Este gás possui uma série de combinações únicas, contendo uma elevada rigidez dielétrica (cerca de três vezes a do ar), uma elevada capacidade de interrupção térmica (até dez vezes a do ar) e

uma elevada capacidade de transferência de calor (duas a cinco vezes a do ar) tornando-o numa ótima opção para ser usado em equipamentos elétricos de alta tensão destinados ao transporte e distribuição de energia. (Cigré 276, 2005)

Embora o SF₆ possua uma condutividade térmica inferior à do ar, possui uma condutividade térmica maior devido à sua menor viscosidade e à sua maior densidade. Em aparelhos, a gama de pressão normal do SF₆, encontra-se compreendida entre 0.1 MPa e 0.9 MPa. As suas características de pressão, temperatura e densidade são ilustradas na Figura 1. (IEP, 2009)

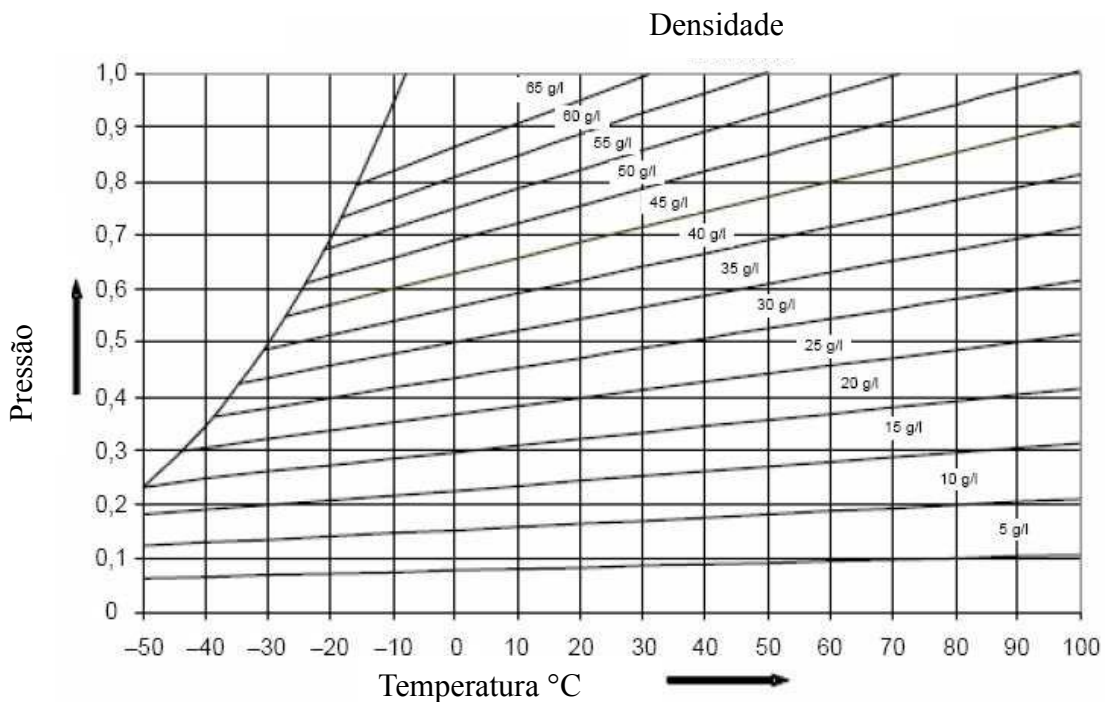


Figura 6- Características de pressão, temperatura e densidade do SF₆ (adaptado de (IEP, 2009)).

Devido à sua elevada temperatura de dissociação, este é um gás excelente para a extinção do arco elétrico. Quando o arco é resfriado, este mantém-se condutor até uma temperatura relativamente baixa, minimizando assim a corrente de corte até ao zero constante. Desta forma, são evitadas as sobretensões elevadas. (IEP, 2009)

Para além da sua utilização em equipamentos de alta tensão, este pode ser utilizado em outras aplicações, tais como: produção de alumínio, produção de semicondutores, ciclos de combustão nucleares, janelas de isolamento acústico, radares de alto desempenho, medições meteorológicas e aplicações militares. Algumas destas aplicações encontram-se atualmente proibidas, como é o caso da produção de alumínio e janelas de isolamento acústico, devido ao SF₆ ser um gás de efeito estufa. (IEP, 2009)

2.4.1. EFEITOS DO SF₆ SOBRE O AMBIENTE

No que diz respeito à produção e utilização de gás, as fugas de gás podem originar três aspetos para o meio ambiente: a destruição da camada de ozono, a ecotoxicologia e o aumento do efeito estufa.

- **Destruição da camada de ozono**

A destruição da camada do ozono é caracterizada pelo aquecimento global e por alterações climáticas. A utilização de SF₆ e os produtos derivados da sua utilização não contribuem para a destruição da camada do ozono, pois este não possui cloro nem bromo. O seu potencial de destruição do ozono ou *Ozone Depletion Potential* (ODP) é 0, quando comparado com o CFC-11 que tem um potencial de destruição do ozono de 1. (Cigré 276, 2005)

- **Exotoxicologia**

A ecotoxicologia é caracterizada pelo efeito tóxico de substâncias naturais e artificiais sobre todas as formas de vida que constituem a biosfera. Este apresenta uma solubilidade em água muito baixa, não apresentando perigo para águas superficiais e subterrâneas. O SF₆ não é cancerígeno, mutagénico, nem provoca danos à constituição genética.

- **Efeito estufa**

O SF₆ é um gás de efeito estufa com uma elevada capacidade de absorção da radiação infravermelha, sendo o seu potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential*, GWP) de 23900, quando comparado ao CO₂ com um potencial de aquecimento global de 1. O período de vida que está compreendido entre 650-3200 anos. (Cigré 276, 2005)

2.4.2. PRODUTOS DE DECOMPOSIÇÃO DO SF₆

O aparecimento do arco elétrico durante as operações de corte ou de eliminação de falhas, a temperaturas acima de 500°C, origina a decomposição do SF₆ nos elementos que o constituem. (Standard, 60480, 2004) A decomposição das moléculas de SF₆ podem originar a formação de produtos gasosos e sólidos, sendo os mais comuns:

- CuF₂- Floreto de Cobre
- AlF₃- Trifluoreto de alumínio
- WF₆- Hexafluoreto de Tungsténio

- CF₄- Tetrafluoreto de Carbono
- SF₄- Tetrafluoreto de Enxofre

A temperaturas inferiores a 1000°C os átomos recombinam-se, podendo no entanto reagir com materiais no interior do disjuntor, tais como partículas resultantes da vaporização dos elétrodos ou plásticos.

Ao longo do tempo, a combinação de humidade com certos subprodutos em decomposição origina ácidos (como Dióxido de enxofre (SO₂) ou Fluoreto de Tionilo (SOF₂)), que corroem o interior do tanque de manobra, aumentando assim a probabilidade de ocorrência de fugas e avarias. Na Tabela 1 são definidos os níveis de impureza aceitáveis para o gás SF₆ para gás reutilizado, de acordo com a norma CEI 60480.

Tabela 1-Níveis máximos de impureza definidos pela CEI 60480

Impurezas	CEI 60480
Ar e CF ₄	3%
SO ₂	12 ppm _v
Ponto de Orvalho (Limite admissível)	- 5 °C

2.4.3. LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICADAS NA REN

O Protocolo de Quioto é o principal acordo mundial que visa a redução dos gases de efeito estufa sintéticos. Os gases de efeito estufa abrangidos pelo Protocolo de Quioto são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrocarbonetos fluorados (HFC), os hidrocarbonetos perfluorados (PFC) e o SF₆. (IEP, 2009)

Para reduzir a emissão destes gases, a REN tem implementado um plano de procedimentos que visa, em especial, a redução do SF₆, utilizado como isolante elétrico. A Tabela 2 ilustra a legislação e normas aplicadas na REN.

Tabela 2- Legislação e normas aplicáveis na REN ao uso e manipulação do SF₆

Legislação/Norma	Descrição
Regulamento (CE) n°842/2006	Regulamento do Conselho Europeu sobre certos gases

	fluorados com efeito de estufa tem por objetivo conter, prevenir e reduzir a emissão de gases com efeito estufa.
Regulamento (CE) nº 1494/2006	Formato dos rótulos e os requisitos adicionais de rotulagem relativamente a produtos e equipamentos que contenham gases fluorados com efeito estufa.
Regulamento (CE) nº 305/2008	Estabelece mínimos e condições de reconhecimento mútuo da certificação pessoal que procede à recuperação de determinados gases fluorados com efeito de estufa em comutadores de alta tensão.
CEI 62271-303	Utilização e manuseamento de SF ₆ .
CEI 6164	Aplicação de SF ₆ em Aparelhagem AT-Utilização e manipulação de SF ₆ .
CEI 60376	Especificação de grau técnico para uso de SF ₆ em equipamentos elétricos.
CEI 60480	Diretrizes para a verificação e tratamento de SF ₆ retirado de equipamentos elétricos e especificação para a sua reutilização.

2.5. CONCLUSÕES

Neste capítulo, fez-se a caracterização dos disjuntores que podem integrar uma rede AT/MAT.

Os disjuntores são equipamento fundamentais ao funcionamento da RNT, visto que, conferem ao operador de rede controlo, permitindo ou não o fluxo de corrente. Estes podem ser agrupados segundo o nível de tensão, a tecnologia de corte, o tipo de aplicação e o local de instalação.

O SF₆ é um gás sintético que não apresenta cor ou cheiro, é estável, não corrosivo, não inflamável e não é tóxico. Este apresenta uma elevada resistência elétrica, sendo por isso a tecnologia mais utilizada na interrupção de correntes.

3. PARQUE DE DISJUNTORES DA REN

Neste capítulo será realizada uma análise com maior detalhe das características da população de disjuntores de AT/MAT utilizados pela REN. Nesta análise descritiva serão contabilizados os números de equipamentos na rede, pelos respectivos perfis de idade, tipos de aplicação, tipo de accionamento, tipo de instalação e tipo dielétrico.

3.1. POPULAÇÃO DE DISJUNTORES

Atualmente existem na RNT cerca de 1400 disjuntores em serviço, estando esses divididos por quatro níveis de tensão (400kV, 220kV, 150kV e 60kV). A Figura 7 ilustra o número dos disjuntores que se encontram em serviço por nível de tensão.

População de disjuntores da RNT por nível de tensão

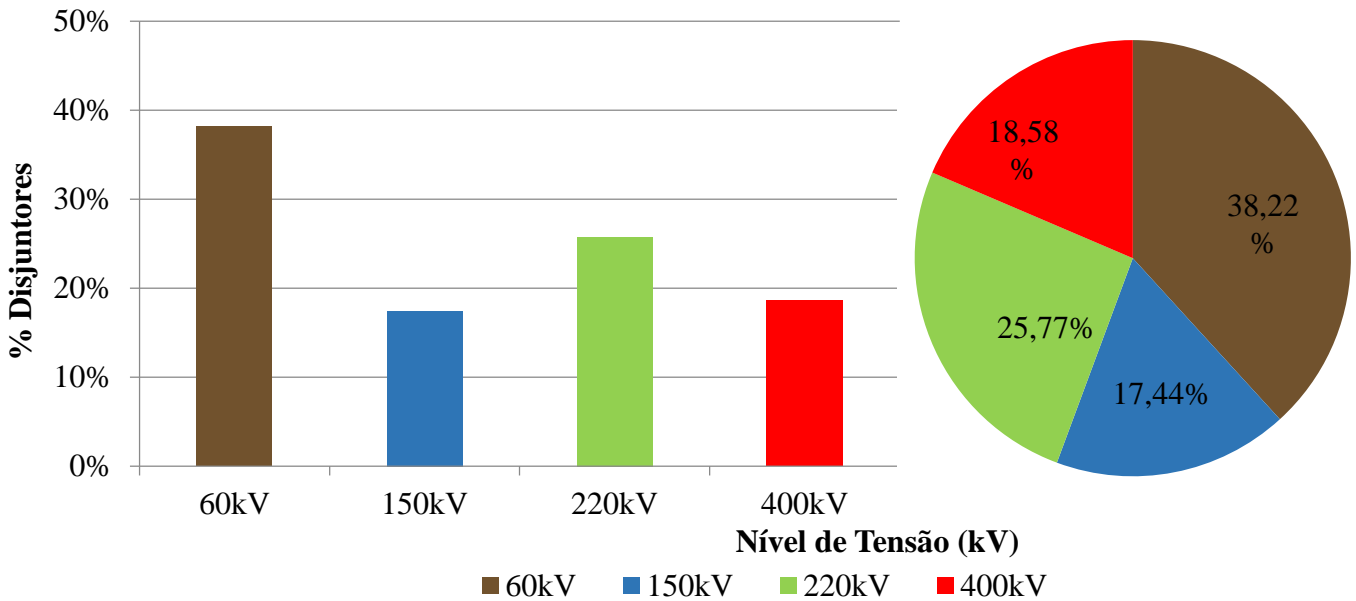


Figura 7- População de disjuntores da REN.

Após a observação da Figura 7, é possível concluir que existe uma superioridade na instalação de disjuntores com o nível de tensão de 60 kV, com um total de 38,22% de todos os disjuntores em serviço na RNT. Pode ainda verificar-se que os disjuntores que operam a 400kV apresentam valores superiores aos dos que operam a 150kV.

A Figura 8 representa a evolução do parque de disjuntores nos últimos 10 anos.

Evolução do Parque de Disjuntores nos últimos 10 anos

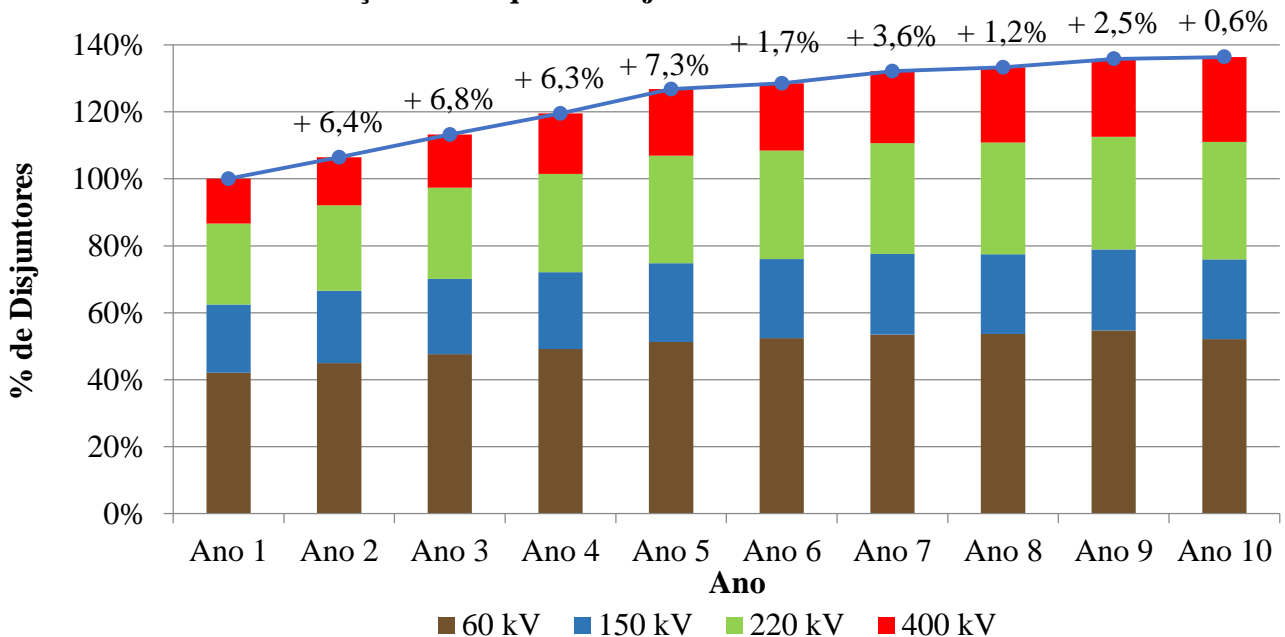


Figura 8- Evolução dos parques de disjuntores nos últimos 10 anos.

Note-se que os dados presentes na análise do parque de disjuntores nos últimos 10 anos (Figura 8) são relativos ao 4º trimestre e foram retirados do relatório trimestral realizado pela Direção de Exploração da REN.

Relativamente à Figura 8, pode-se verificar que existe um crescimento gradual no número de disjuntores, sendo de destacar o crescimento do nível de 400 kV. No período em análise, foi registado um aumento de 36,4% em relação ao Ano 1 no parque da RNT.

3.2. IDADE

Com o crescimento da população e conseqüente necessidade de fornecer eletricidade a toda população, a RNT tem tendência para ficar mais complexa com o decorrer do tempo. Este rápido crescimento demonstra-se negativo para os equipamentos instalados há mais tempo, tendo estes que ser substituídos por outros que suportem as novas exigências do sistema. Linhas de transmissão muito longas e que conduzem níveis muito altos de potência exigem níveis e tensão maiores para se obter menos perdas na transmissão sendo, por isso, necessários disjuntores mais robustos e com capacidades de interrupção maiores.

A análise deste capítulo é baseada na idade dos equipamento da RNT, tendo por objetivo relacionar a evolução da taxa de falhas com a idade do disjuntor. Este estudo terá como base a teoria da “curva da banheira” que se encontra dividida em três patamares ou zonas de diferentes criticidades.

Na primeira fase, início de vida do equipamento, é esperado que o equipamento tenha um número de falhas elevado, devido a problemas de fabrico, defeitos de infância ou até erros na instalação. Após a correção desses erros, é dada entrada na segunda fase, onde se espera que o equipamento apresente uma frequência de falhas baixa ao longo do tempo. No final de vida do disjuntor, a terceira fase, o número de falhas tem tendência para aumentar, devido à idade e desgaste dos componentes do disjuntor. (Barbosa, 2013)

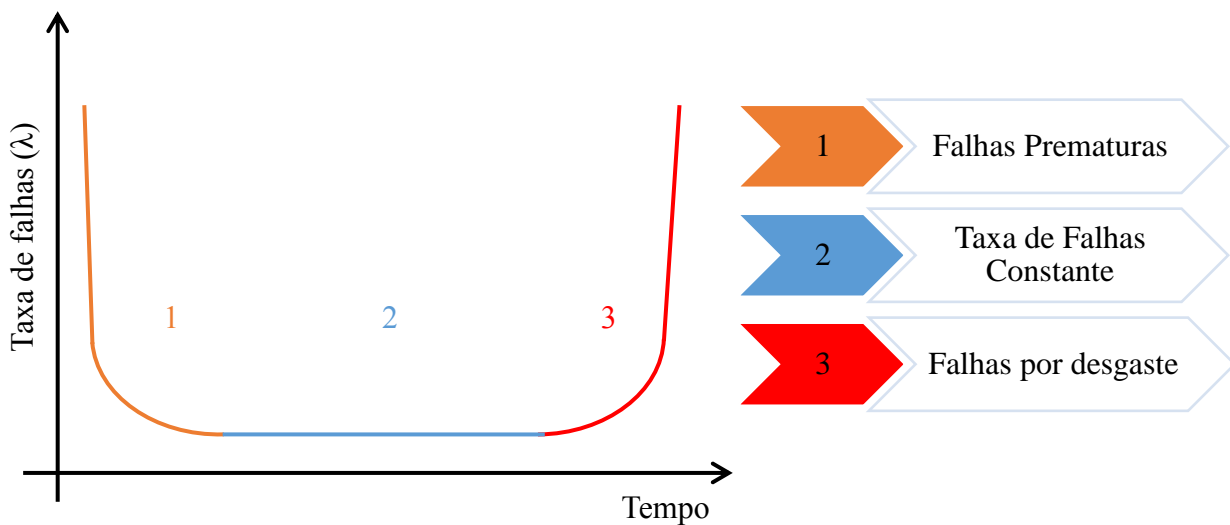


Figura 9- Exemplo representativo da Curva da Banheira. (Barbosa, 2013)

O referente estudo é atualmente utilizado como base para se programar as inspeções, auxiliar na decisão de substituir equipamentos e evitar custos desnecessários com a manutenção. No que diz respeito à Figura 10, encontra-se a distribuição dos disjuntores por classes de idade e nível de tensão associado.

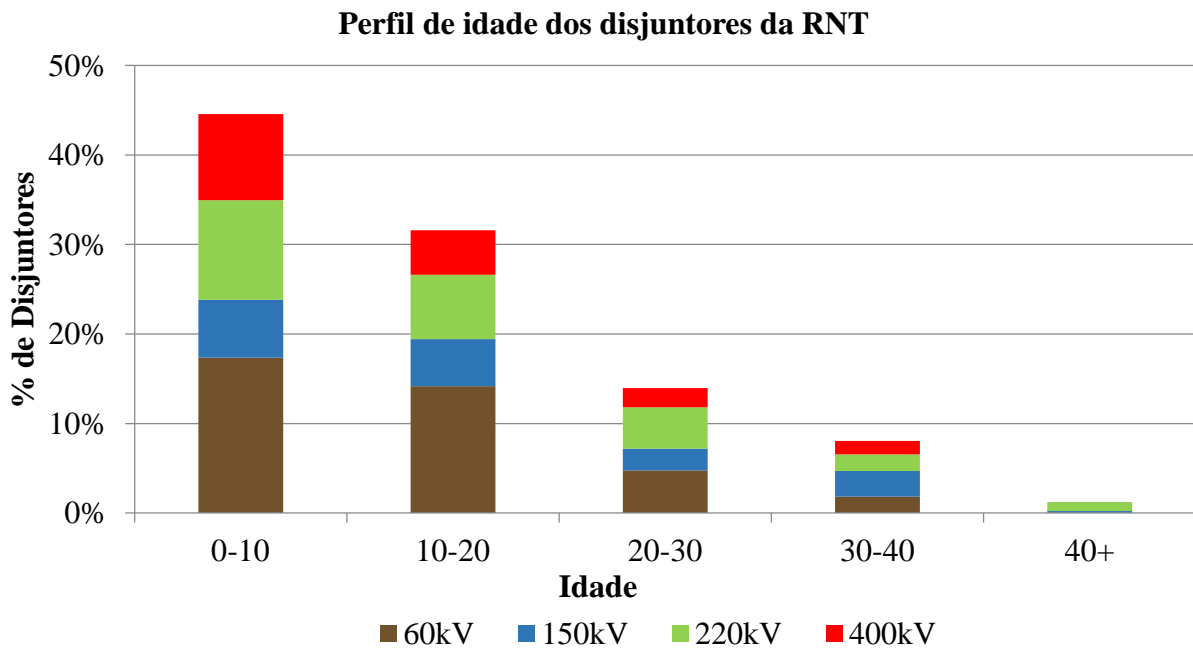


Figura 10- Distribuição dos disjuntores por classe de idade.

Através da análise da Figura 10, pode-se verificar que a população de disjuntores que integram a RNT é relativamente jovem. O aumento no número de novos equipamentos é o reflexo dos investimentos realizados pela organização em equipamentos mais fiáveis e que necessitem de

uma menor quantidade de manutenções. A idade média dos equipamentos que integram o RNT é de aproximadamente 10 anos.

Ainda relativamente aos disjuntores, é importante ter em atenção a diferença entre a idade e o tempo serviço. É importante destacar que a idade de um equipamento é iniciada à data da sua construção e o seu tempo de serviço é relativo ao tempo em que o disjuntor esteve instalado na RNT a efetuar ações de proteção e controlo.

3.3. DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO POR APLICAÇÃO

As exigências relativas às características dos disjuntores são cada vez maiores. Tem-se verificado um aumento na instalação de baterias de condensadores a fim de regular e estabilizar as tensões da rede. O corte nas linhas em vazio, especialmente em Sistemas Elétricos de Energia (SEE) desenvolvidos, é uma manobra comum para o controlo de tensão e o corte em baterias de condensadores têm consequências para o funcionamento dos disjuntores. Estes originam um aumento no número de manobras e consequentemente no corte de correntes capacitivas. O corte capacitivo, sob o ponto de vista de endurance elétrico é o que representa maior solicitação ao disjuntor, não só sob o ponto de vista de reacendimentos como, também no desgaste das partes ativas. Na Figura 11 é apresentada a distribuição dos disjuntores por tipo de aplicação e respetivo nível de tensão.

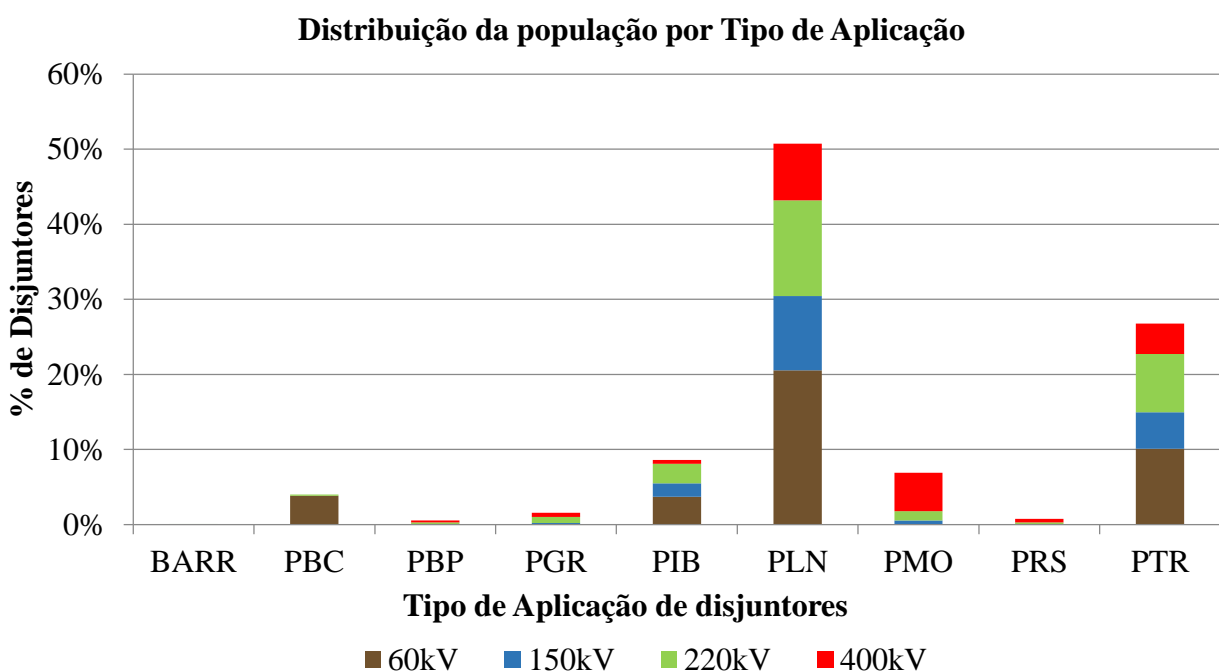


Figura 11-Distribuição da população de disjuntores por tipo de aplicação.

3.4. DISTRIBUIÇÃO DOS DISJUNTORES DA RNT POR TIPO DE ACIONAMENTO

O sistema de accionamentos num disjuntor consiste no armazenamento de energia para realizar a abertura e fechos dos pólos do disjuntor. A REN utiliza três tecnologias, nomeadamente o accionamento a molas, hidráulico e híbrido.

No que diz respeito à classe de tensão, verifica-se uma preferência por disjuntores com accionamento hidráulico para níveis de tensão mais elevados e disjuntores a molas para níveis mais baixos. Uma das razões desta escolha pode ser derivada do fator de que os disjuntores que operam em níveis de tensão mais elevado necessitam de mais energias para realizar as operações de comutação. (Cigré 510, 2012)

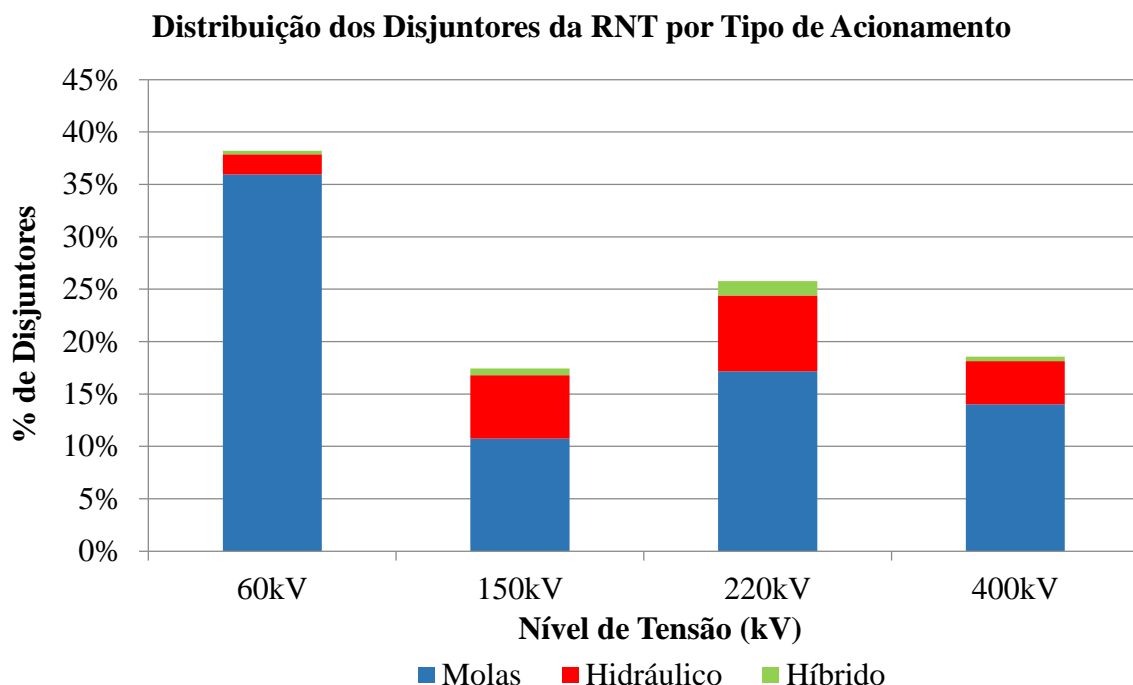


Figura 12-Distribuição dos Disjuntores por Tipo de Acionamento.

Através da análise da Figura 12, é possível concluir que o accionamento por molas é o mais utilizado em todos os níveis de tensão, sendo a sua utilização na RNT de aproximadamente 78%.

3.5. TIPO DE INSTALAÇÃO E ISOLAMENTO

Tem-se verificado um aumento da procura de energia cada vez maior no sector energético provocada por uma população cada vez maior. Existe portanto, uma necessidade de as empresas garantirem o fornecimento de energia tendo de adotar novos métodos. Uma das áreas chave é o isolamento das subestações e dos equipamentos que as integram.

Existem atualmente dois tipos de instalações, que podem ser interiores ou exteriores. Nestas, os disjuntores podem apresentar dois tipos de isolamentos:

- Isolamento a ar ou *air-insulated switchgear* (AIS)
- Isolamento a gás ou *gas-insulated switchgear* (GIS)

O princípio de funcionamento de uma subestação a AIS é igual ao de uma a GIS. A única diferença entre estas é o isolamento dos equipamentos que constituem o disjuntor.

As instalações a AIS são utilizadas em áreas onde o espaço, as condições meteorológicas, a e sísmicas não apresentam um problema. Estes tipos instalações encontram-se normalmente em espaços a céu aberto. As instalações AIS em espaços interiores são normalmente utilizadas áreas altamente poluídas ou em eu o ar apresenta alto teor de sal, sendo que nesta a qualidade do ar é comprometida. As desvantagens deste tipo de instalação devem-se à maior necessidade de espaço, necessitam de maior manutenção e também a problemática paisagista (estética).

As vantagens das instalações a GIS são o facto de oferecerem maior segurança para as equipas de manutenção, menores custos de manutenção devido ao *design*, proteção contra meios externos e fácil montagem. Estes equipamentos são mais compactos o que favorece a sua instalação em áreas densamente povoadas. As desvantagens de instalações GIS são o seu elevado custo de aquisição (quando comparadas com equipamentos idênticos AIS), necessidade de pessoal altamente qualificado devido à sua maior complexidade e maior dificuldade na resolução de falhas devido ao seu *design* mais compacto e questões ambientais.

A Figura 13 apresenta a distribuição dos disjuntores por tipo de instalação e isolamento nos diferentes níveis de tensão.

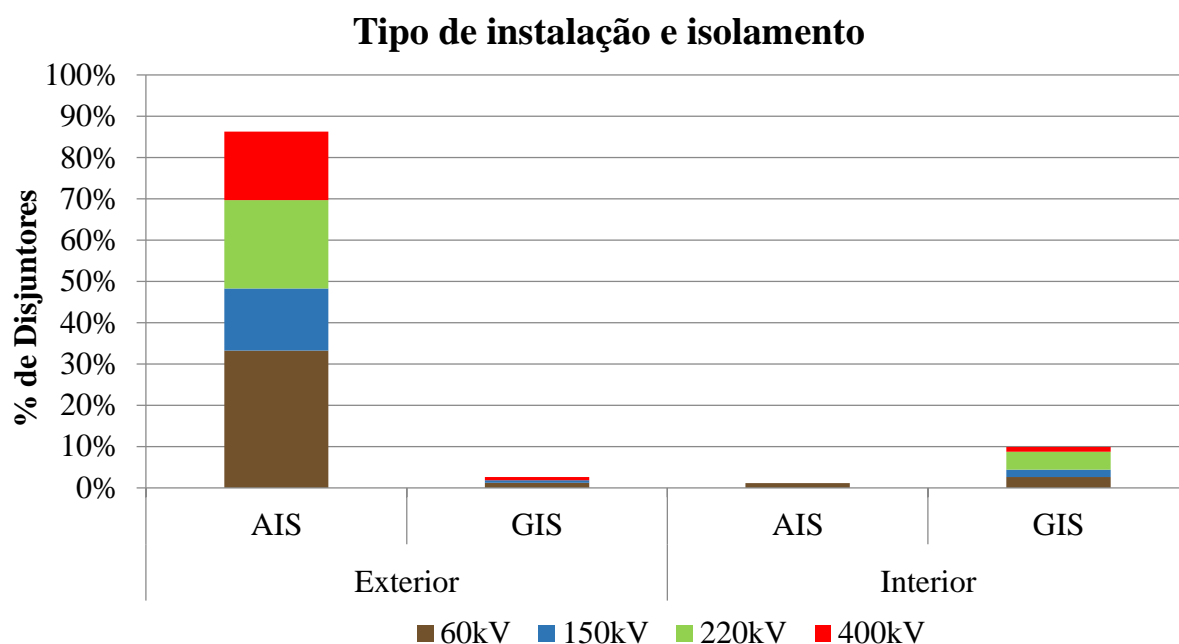


Figura 13- Distribuição dos Disjuntores por Tipo de Instalação e isolamento.

Pode-se verificar, através da análise da Figura13, que existe uma maior existência na construção de subestações exteriores com isolamentos a ar, sendo que estas constituem 86% do total.

3.6. DISTRIBUIÇÃO DOS DISJUNTORES DA RNT POR TIPO DE DIELÉTRICO

A tensão transitória de restabelecimento (TTR) é defenida como a tensão que surge nos pólos do disjuntor após a extinção do arco. A capacidade de corte de correntes de curto-circuito de um disjuntor para suportar sobretensões varia de acordo com o princípio utilizado na extinção do arco (F.Maciel Barbosa).

Existem dois factores fundamentais para evitar o seu reacendimento após a respectiva extinção, sendo estes a velocidade de regeneração do dielétrico após a passagem da corrente por zero e a velocidade de fecho e abertura do disjuntor.

Os disjuntores PVO's apresentam dificuldades no corte de correntes de curto-circuito pouco elevadas (as quais se encontram associadas as TTR mais severas), pois a pressão do óleo e portanto a sua capacidade de corte é mais baixa. (F.Maciel Barbosa)

Os disjuntores a SF₆ apresentam boas características de corte devido a este ser um gás que apresenta uma elevada capacidade de interrupção térmica e rigidez diéletrica o que resulta numa diminuição muito rápida da condutividade a seguir á passagem da corrente por zero. (F.Maciel Barbosa)

De forma a minimizar os gastos de manutenção e operação, e para melhorar a qualidade dos serviços da RNT, têm existido grandes alterações nos tipos dielétricos utilizados. A Figura 14 apresenta a distribuição dos disjuntores presentes na rede, divididos por tipo dielétrico.

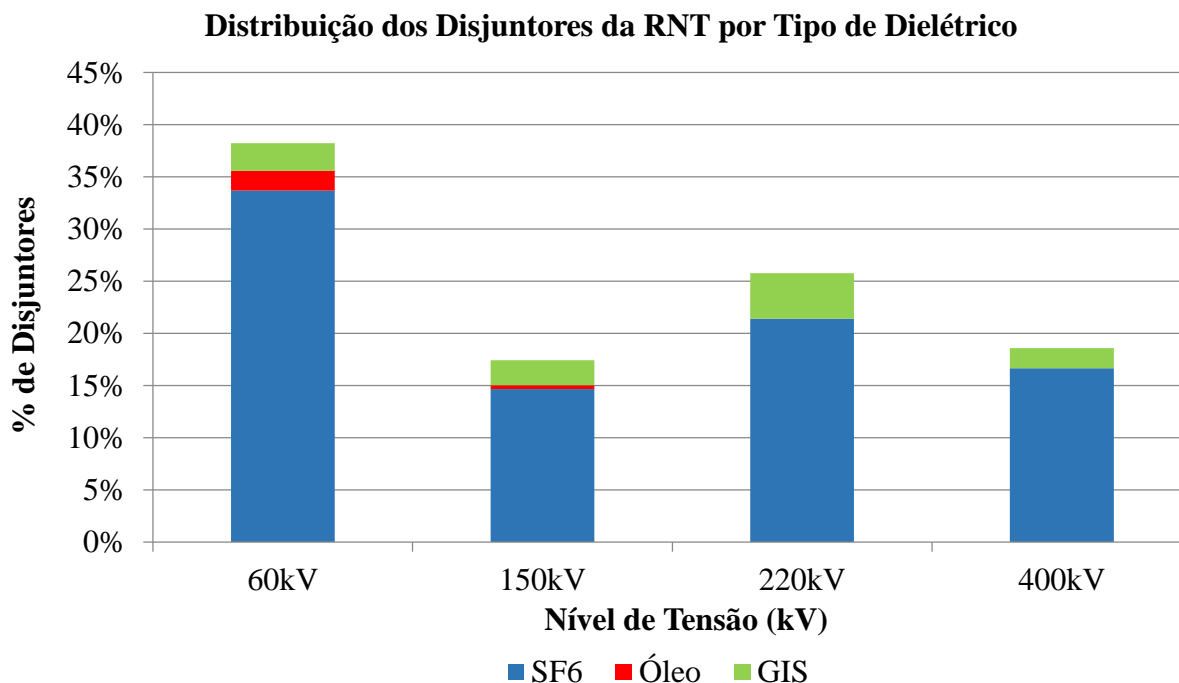


Figura 14- Distribuição dos Disjuntores por Tipo de Dielétrico.

No que diz respeito ao tipo de dielétrico, são utilizados na RNT atualmente dois agentes de corte o óleo e o SF₆. Embora se encontrem diferenciados os disjuntores de instalações AIS e GIS, estes utilizam a mesma tecnologia de corte (SF₆).

A partir da observação do gráfico percebe-se que cerca de 98% dos disjuntores em funcionamento utilizavam SF₆, com uma idade média de 10 anos. Dos equipamentos em serviço na RNT, apenas 2% utilizam óleo como agente extintor, sendo que estes disjuntores estão presentes nos níveis de tensão de 60kV e 150kV e têm uma idade média de 25 anos, mostrando a tendência da empresa em substituir disjuntores pelo tipo dielétrico a SF₆.

3.7. CONCLUSÕES

Este capítulo permitiu verificar a evolução do parque de disjuntores nos últimos 10 anos. O parque revelou um crescimento de 38,22% face ao primeiro ano. Esta evolução resulta de um grande investimento efectuado na última década não só na renovação de equipamentos, como na construção de novos parques, sendo a idade média de um disjuntor de 10 anos.

4. POLÍTICAS E ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo enumerar as principais estratégias de manutenção e qual a influência que estas têm na elaboração de uma plano de manutenção de um disjuntor. Um plano de manutenção é caracterizado como um ferramenta de diagnóstico que permite a calendarização das atividades de manutenção, com o intuito de conhecer o estado do equipamento, detetar anomalias que comprometem o seu funcionamento e assim aplicar técnicas de prevenção e manutenção.

4.1. ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

As estratégias de manutenção de ativos encontram-se divididas em dois tipos; nomeadamente manutenções corretivas e preventivas. A manutenção preventiva pode ainda ser dividida em manutenção sistemática (baseada tempo), na qual o ativo é intervencionado em períodos de tempo fixos, manutenção condicionada (baseada no estado e fiabilidade), que é realizada apenas quando é necessário e a melhorativa, que se destina à melhoria dos aspectos técnicos do equipamento.

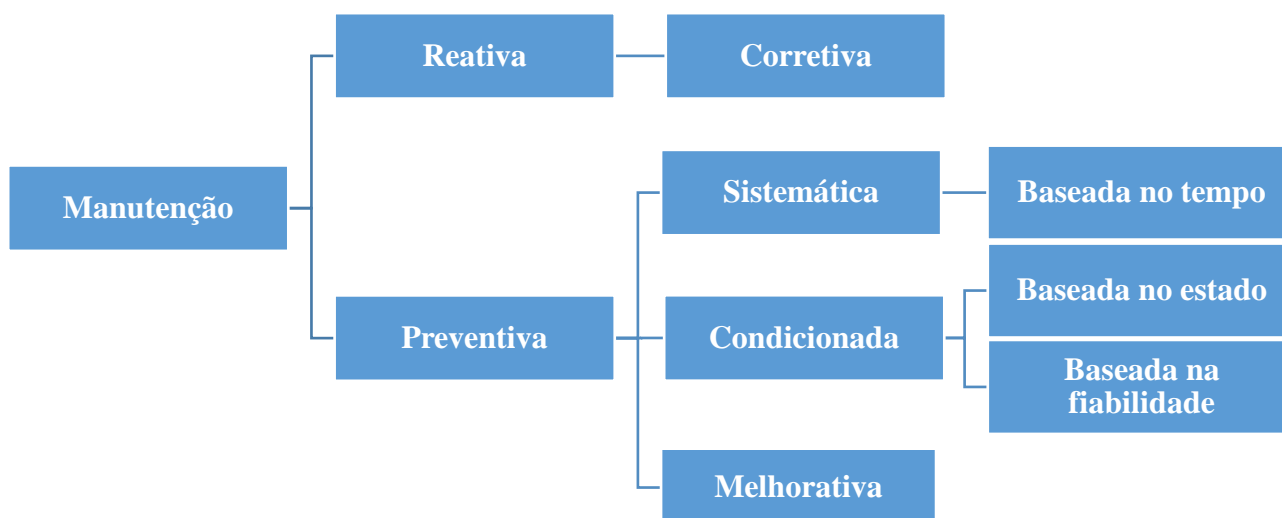


Figura 15- Estratégias de Manutenção (adaptado de (REN, 2014)).

A política de manutenção de Linhas e Equipamentos das Subestações da REN têm como objetivo garantir os elevados padrões de qualidade do serviço, condições de saúde e segurança, minimização dos impactos ambientais e diminuição de custos na gestão dos seus ativos, sendo a manutenção preventiva condicionada a mais adequada ao efeito.

4.1.1. MANUTENÇÃO REATIVA OU CORRETIVA

A manutenção reativa corretiva é a que ocorre quando é detetada uma avaria no equipamento, ou seja, quando este deixa de poder realizar a função a que se destina.

Uma estratégia de manutenção que pode contemplar o recurso à manutenção corretiva é em equipamentos de baixa criticidade ou para equipamentos cuja avaria não pode ser determinada ou as consequências das falhas não são significativas. (REN, 2014) (Milje, 2011)

Este tipo de manutenção acarreta maiores custos de manutenção, pois pode implicar a existência de equipamentos de reserva, mão-de-obra e equipamentos fora de serviço durante períodos mais alargados.

4.1.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva tem como objetivo reduzir a probabilidade de ocorrência de avaria, diminuir a velocidade de degradação dos equipamentos e aumentar a fiabilidade do equipamento, reduzindo quando possível a mão-de-obra necessária a cada intervenção.

Neste tipo de manutenção está presente numa estratégia pró-ativa, visto que, as manutenções necessitam de um tempo prévio relativamente a cada intervenção. Este tipo de manutenção encontra-se dividida em:

- Manutenção Periódica ou Baseada no Tempo (Time based Maintenance -TBM)
- Manutenção Baseada no Estado (Condition based Maintenance - CBM)
- Manutenção Baseada na Fiabilidade (Reliability centred Maintenance -RCM)

4.1.2.1. MANUTENÇÃO SISTEMÁTICA

Trata-se de uma estratégia que é utilizada para equipamentos cujo processo de envelhecimento é conhecido ou previsível, sendo que os períodos de realização são variáveis e dependem da experiência da organização ou da sugestão do fabricante. A manutenção sistemática ou periódica é praticada em intervalos de tempo regulares (sendo baseada no tempo) ou no número de operações do equipamento.

Este tipo de manutenção tem a desvantagem de por vezes não ser utilizada mesmo quando o equipamento se encontra a funcionar devidamente. Neste caso, a realização de uma manutenção desnecessária pode originar custos dispensáveis. Por outro lado, a não realização da manutenção pode afetar o desempenho do ativo e, a consequente degradação dos seus componentes. A Tabela 3 ilustra as vantagens e desvantagens deste tipo de manutenção.

Tabela 3- Vantagens e desvantagens de uma manutenção periódica (adaptado de (REN, 2014))

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Precaver a falha de um ativo. • Ampliar a segurança, disponibilidade e fiabilidade do ativo. • Compor um plano adequado para evitar a falha de um ativo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos de manutenção elevados. • Ativos intervencionados desnecessariamente, podendo até piorar o estado do equipamento, por erro humano ou manipulação excessiva.

4.1.2.2. MANUTENÇÃO CONDICIONADA

- Manutenção Condicionada Baseada no Estado

A manutenção baseada no estado é uma manutenção de carácter preventivo que decorre de uma avaliação. Tem em consideração o estado atual e futuro do equipamento, para que assim o

período de vida útil do equipamento possa ser estendido, fazendo com que a necessidade de manutenções ou intervenções desnecessárias seja diminuída. Este tipo de manutenção permite reduzir os custos de manutenção e aumenta a fiabilidade e disponibilidade dos ativos. (Milje, 2011)

A monitorização do estado dos equipamentos é realizada através de uma inspeção visual ou de uma inspeção *online*.

Para que esta manutenção seja realizada com sucesso, é necessário que exista uma robusta base de dados (BD) sobre o comportamento do equipamento. Esta, pode ser conseguida através de diagnósticos e análises de desempenho, histórico e dados de operação e manutenções passadas do ativo. Na Tabela 4 podem-se verificar as vantagens e desvantagens deste tipo de abordagem.

Tabela 4- Vantagens e desvantagens de uma manutenção periódica (adaptado de (REN, 2014))

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Evitar a falha dos equipamentos. • Aumentar a segurança, disponibilidade e fiabilidade do equipamento. • Reduzir os custos de manutenção. • Executar um plano adequado para prevenir a falha de um equipamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependência do fornecedor da tecnologia para monitorização do equipamento. • Equipamentos de monitorização mais dispendiosos e complexos. • Envolvimento de uma nova abordagem dentro da empresa. • Nem todos os parâmetros do estado do equipamento são simples de controlar.

• **Manutenção Baseada na Fiabilidade**

A manutenção baseada na fiabilidade consiste na otimização dos tempos de manutenção dos equipamentos, destacando-se neste tipo de manutenção a função do equipamento e a importância do seu estado para a rede.

Tabela 5- Vantagens e desvantagens de uma manutenção baseada na fiabilidade (adaptado de (REN, 2014))

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Evitar a falha de um equipamento. • Aumentar a segurança, disponibilidade e fiabilidade do equipamento. • Diminuir os custos de manutenção • Elabora um plano adequado para prevenir a falha de um equipamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevados custos de implementação e necessidade de recursos intensivos para tratamento de dados. • Equipamentos de monitorização mais dispendiosos e complexos. • Nova abordagem na área da manutenção dentro da empresa. • Nem todos os parâmetros do estado do equipamento são simples de controlar. • O cálculo do risco explícito pode ser de difícil implementação em sistemas de ativos complexos (variedade de equipamentos e componentes). • Ausência de históricos sólidos.

4.1.2.3. MANUTENÇÃO MELHORATIVA

No que diz respeito à manutenção melhorativa, consiste na modificação das condições iniciais do equipamento (ou instalação) de forma a melhorar a *performance* do mesmo. As melhorias podem implicar recondiçãoamento (*upgrading*), ou seja, ações que visem melhorar as características técnicas originais dos ativos. (REN, 2014)

A substituição de equipamentos mostra-se como uma opção quando o equipamento não garante o nível de fiabilidade pretendido. Nesse caso, é necessário substituir o ativo, tendo sempre em atenção a melhor relação custo/ benefício.

As razões que podem levar à substituição do equipamento são a baixa fiabilidade, os elevados custos de operação e manutenção, a descontinuação do fabrico e a consequente falha de peças para substituição por obsolescência tecnológica dos equipamentos.

4.2. MANUTENÇÃO DE DISJUNTORES AT/MAT DA REN

Relativamente à manutenção dos disjuntores da RNT, tem como finalidade assegurar a segurança e o correto funcionamento do equipamento. Cada inspeção e medida de manutenção tem como finalidade detetar o desgaste do equipamento e das peças que o constituem, assegurar que as peças ainda operacionais mantenham o seu bom estado, substituir determinadas peças a título preventivo e assegurar o bom estado da proteção anticorrosiva.

O desgaste dos disjuntores pode ser do tipo elétrico ou mecânico. Estes podem ter diferentes origens e resultar em diferentes problemas pelo que devem ser analisados separadamente.

O desgaste mecânico é provocado pelo número de manobras realizadas pelo equipamento ao longo do seu funcionamento. Este desgaste é provocado pelas manobras de abertura ou fecho, sendo que este desgaste se reflecte nas molas, no sistema hidráulico, nas engrenagens e nos motores que constituem o disjuntor.

O desgaste elétrico resulta de uma manobra que implica a interrupção de correntes de funcionamento ou de curto-circuito. Neste caso não só existe um desgaste mecânico das partes ativas, existe também um desgaste dos contactos provocado pelo arco elétrico e a degradação do SF₆.

A degradação do disjuntor poderá ocorrer pelos esforços elétricos provocados pela extinção do arco. (Cruz, 2014) As seguintes maneiras de esta se poder manifestar são:

- Alargamento da tubeira de Politetrafluoretileno (PTFE) devido ao corte, perda de pressão durante o processo de interrupção;
- Desgaste dos contactos devido ao corte de correntes assimétricas; fecho de correntes (indutivas, capacitivas);
- Poluição ou degradação das características do gás SF₆.

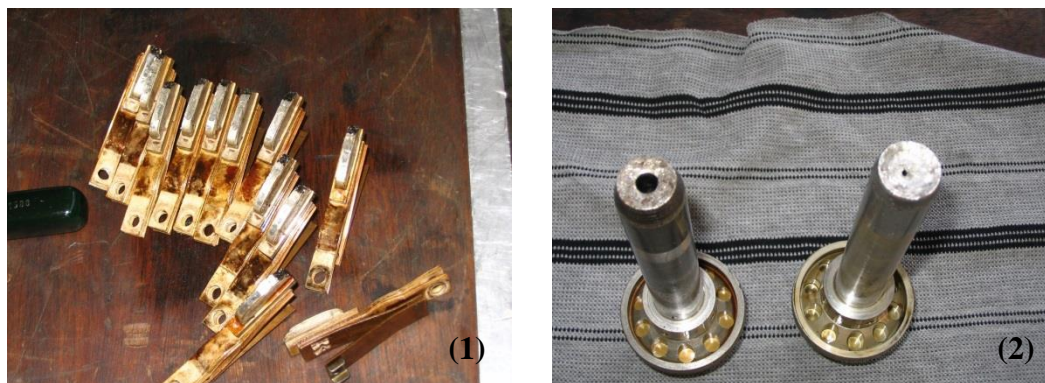


Figura 16- Exemplos de degradação de contatos principais (1) e dos contactos de arco fixo (2) de disjuntores a óleo.

Como se pode observar pela Figura 16 são evidentes os sinais de desgaste nos contatos principais (foto 1) e no contatos de arco fixo (foto 2) para um disjuntor a óleo. Na Figura 17, é demonstrada a degradação da tubeira PTTE (foto 1) e dos contatos de arco fixo (foto 2) para um disjuntor a SF₆.

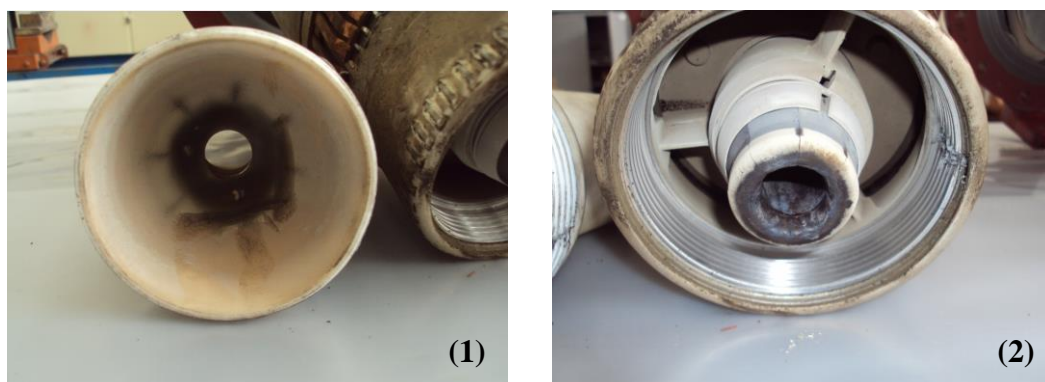


Figura 17- Exemplos de degradação da Tubeira PTFE (1) e dos contatos de arco móvel (2) de disjuntores de SF₆.

Os disjuntores com maior número de manobras sofrem mais desgaste mecânico do que os com poucas manobras, sendo assim importante distinguir o desgaste mecânico provocado pelo número de manobras (número de manobras mecânicas) do desgaste mecânico provocado pelo corte de correntes de serviço e correntes de curto-circuito.

4.3. ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO ADOTADAS PELA REN

A política de manutenção de disjuntores da REN está assente em duas abordagens distintas: corretiva e preventiva. A manutenção corretiva, sendo cada vez menos frequentes, é realizada após se detetar um problema no equipamento. Este tipo de manutenção tem como finalidade

repor o equipamento à capacidade de ser colocado de novo em serviço. A manutenção preventiva é periódica, realizada para períodos de tempo fixos, e tem por objetivo executar reparações no equipamento que reduzam a sua probabilidade de falhar e prolonguem o seu período de vida útil.

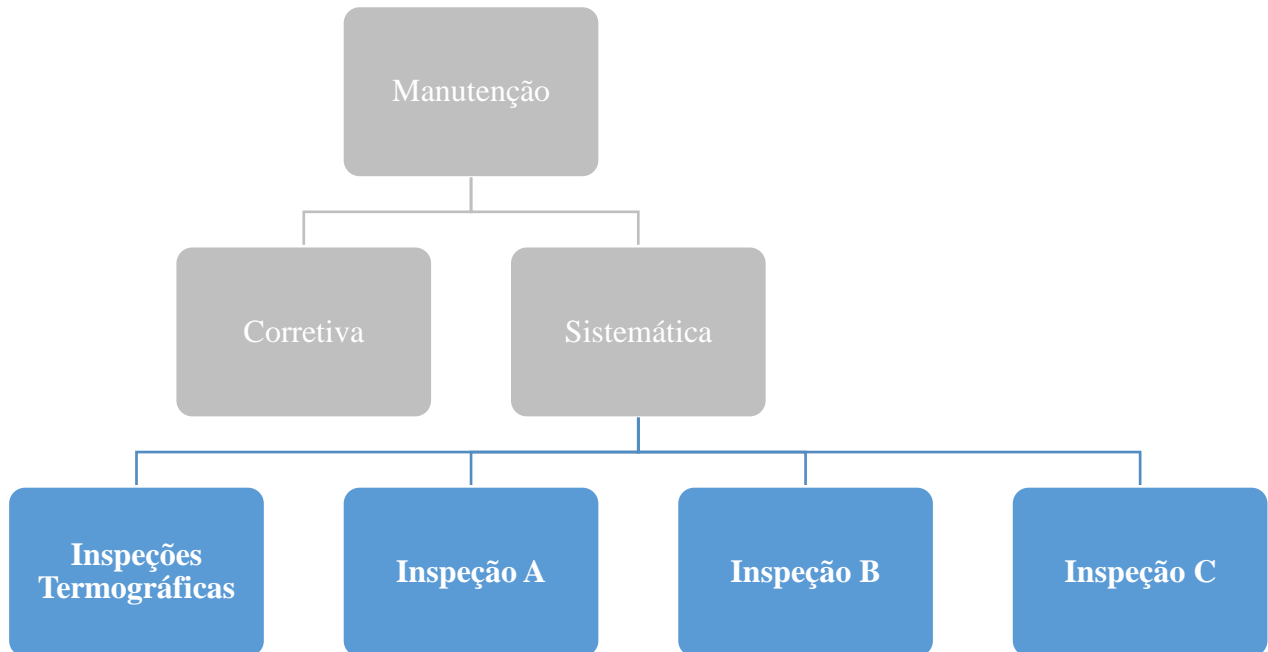


Figura 18- Estratégias de Manutenção utilizadas pela REN a disjuntores.

4.3.1. INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS

As inspeções termográficas consistem num método de inspeção dos equipamentos elétricos e mecânicos, realizada anualmente, que através de uma câmara de infravermelhos ilustra a distribuição de calor nos diversos equipamentos. A vantagem desta manutenção está relacionada com o facto de não interferir na exploração da rede, permitindo um controlo à distância dos equipamentos em serviço. (REN, 2005)

O sentido de um ponto quente baseia-se na avaliação da temperatura por comparação a pontos semelhante, submetidos ao mesmo regime de funcionamento. Os sobreaquecimentos podem ser classificados em quatro níveis de gravidade, sendo os níveis e limites de tempo para a sua reparação registados na Tabela 6.

Tabela 6- Nível de gravidade e limites temporais para a correcção de sobreaquecimentos (adaptado de (REN, 2005))

Temperatura (°C)	Criticidade		Acção a implementar
	Grau	Atitude	
>30	A	Reparação imediata	No prazo máximo de 1 mês.
20-30	B	Reparação a curto prazo	No prazo máximo de 3 meses.
10-20	C	Inspeção a médio prazo	No prazo máximo de 6 meses.
≤10	D	Vigilância a médio prazo	No prazo máximo de 1 ano.

Visto que o SF₆ apresenta uma reduzida capacidade de transferência de calor, um sobreaquecimento detetado por termografia revela uma anomalia grave localizada no interior do polo do disjuntor. Esta requer uma intervenção imediata ao equipamento e a sua retirada de serviço.

4.3.2. INSPEÇÃO A

As inspeções periódicas ou visuais têm um carácter periódico e são realizadas mensalmente. Estas, executadas por pessoal interno, têm como objetivo garantirem o bom funcionamento e estados dos equipamentos nas subestações, sendo realizadas com os equipamentos em serviço. Durante estas inspeções devem ser tidos em conta os seguintes aspetos:

- Contador de manobras: registar o número de manobras, para separar o número de disparos e operações de manutenção e controlo;
- Estruturas de suporte: sinais de corrosão, peças soltas ou danificadas;
- Coluna de isolamento: porcelana limpa e sem danos;
- Inspeção visual ao mecanismo de molas;
- Verificação dos circuitos de aquecimento;
- Verificar a pressão de SF₆ no densímetro.

O densímetro de gás é utilizado para a monitorização da densidade de gás em disjuntores/ equipamentos a SF₆. Este destina-se à ativação de alarme, quando os valores de alarme são alcançados. Existe uma segundo patamar que ao ser atingido é bloqueada qualquer função do disjuntor, uma vez que este não possui condições de efetuar um abertura ou fecho com

segurança. Nesta situação, é obrigatória a intervenção ao disjuntor para que possam ser repostas às condições normais de funcionamento.

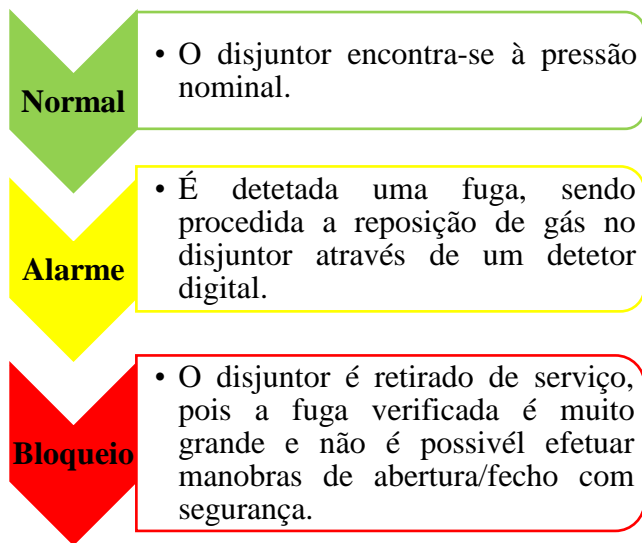


Figura 19- Zonas Críticas de pressão.



Figura 20- Indicação da pressão do compartimento através de um Densímetro.

A Figura 20 ilustra a deteção de uma fuga de SF₆ através de um detetor digital.



Figura 21- Detetor de fugas de SF₆ digital.

4.3.3. INSPEÇÕES B

O tipo de Inspeções B são baseadas no tempo e realizadas com uma periodicidade de cinco anos por pessoal interno à empresa. Esta manutenção inclui as seguintes actividades enunciadas na Figura 22.

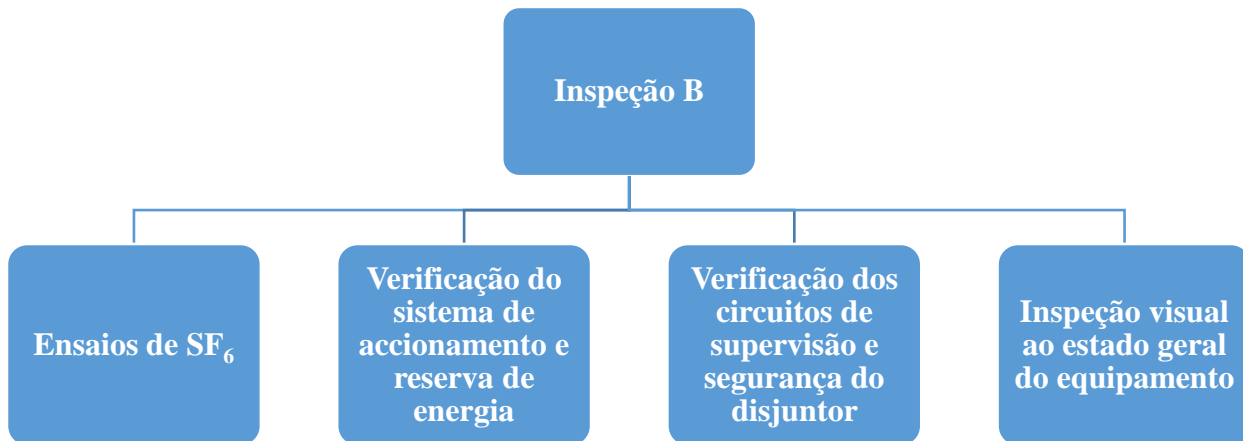


Figura 22- Atividades que decorrem de uma Inspeção B.

4.3.3.1. ENSAIOS FUNCIONAIS DE SF₆

Todos os ensaios funcionais e manipulação (operações de enchimento, recuperação, reutilização e armazenamento) do SF₆ são realizados pelas equipas de Manutenção da REN. Estes ensaios e inspeções consistem em:

- **Verificar a pressão do densímetro, sinalização de alarmes de bloqueio**

O objetivo será comparar a pressão do SF₆ lida no densímetro e no manómetro do disjuntor. Após ser registado o valor de pressão, o gás deve ser retirado do compartimento, até se atingirem os patamares de alarme e disparo. Os valores de pressão registados aquando do alarme devem ser registados e comparados com os valores de referência (manual do fabricante). Recomenda-se ainda que aquando da realização das medições, seja registado o valor da temperatura e pressão a fim de verificar se estes se encontram em conformidade com o diagrama da curva de enchimento de SF₆ e valores de atuação do densímetro.

Caso os valores de pressão desçam abaixo dos valores referidos na curva de enchimento de SF₆, o enchimento do disjuntor deve ser corrigido.

- **Verificar o manómetro do gás**

É verificada se a pressão lida no manómetro é igual ao do manómetro de teste da equipa de manutenção.



Figura 23- Indicação da pressão do compartimento através de um monómetro com o registo da temperatura ambiente.

- **Medição da qualidade do SF₆**

As medições da qualidade do gás podem ser efetuadas em laboratório ou no local. As medições mais frequentes são: medição o teor de humidade do gás SF₆, a concentração de SF₆ em % de volume e a concentração de SO₂ em ppm_v (acidez residual do gás). Os níveis máximos de impurezas permitidos no SF₆ são descritos na Tabela 1.

Teor de humidade do gás SF₆

A humidade pode causar subprodutos corrosivos e tóxicos durante o processo do arco elétrico, é importante que o teor de humidade a SF₆ seja mantido no mínimo. Se a temperatura do pontos de orvalho (*dew point*) for superior a -5 °C, o gás deve ser analisado recorrendo a um equipamento próprio para o efeito. (Megger)

Teor de ar do gás SF₆

O teor de ar presente no SF₆ deve ser medido por meio de um medidor de teor de SF₆. Caso o teor mínimo apresente uma percentagem de SF₆ inferior a 97%, deve-se proceder à regeneração do gás.

Medir a acidez do gás SF₆

A interrupção do arco elétrico em disjuntores a SF₆, origina a decomposição do gás em subprodutos. A combinação destes subprodutos com a humidade presente no equipamento resulta em SO₂, que é altamente corrosivo e pode danificar o interior do equipamento. Para absorver estes subprodutos e qualquer humidade existente no interior do disjuntor são utilizados dessecantes (alumina). (Megger)

A quantidade residual de produtos de decomposição gasosos relativos ao teor de acidez (SO_2) não deve ultrapassar os 12 ppm_v, caso contrário, será necessário substituir o gás do disjuntor.



Figura 24-Aparelho multi-analisador de SF₆.

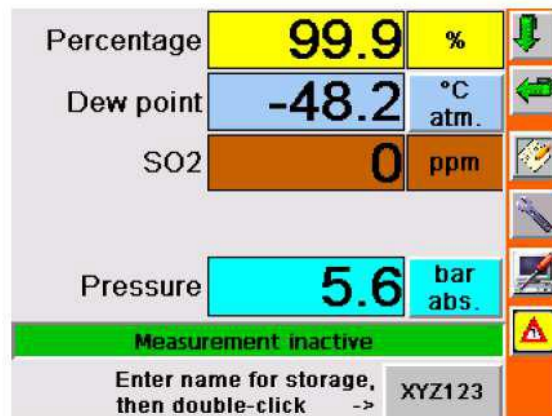


Figura 25- Exemplo de resultado de medição obtidos pelo multi-analisador.

- **Verificação do desgaste dos contactos de arco**

A verificação do desgaste dos contactos do disjuntor é realizada através da medição da resistência de contacto. Esta é realizada com o disjuntor na posição de fechado, com um microhmímetro a medir a resistência de contacto entre as tomadas de corrente. Os valores de resistência lidos no microhmímetro são definidos pelo fabricante. Nesta verificação deve registar-se a temperatura ambiente.

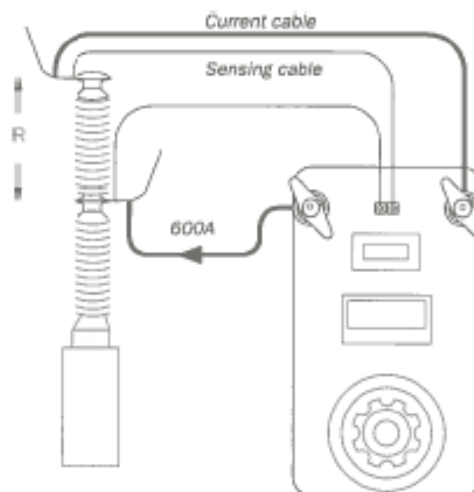


Figura 26- Representação de ensaio de medição de resistência de contacto.

4.3.3.2. VERIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ACIONAMENTO E RESERVA DE ENERGIA

É necessário realizar testes aos tempos de abertura e fecho do disjuntor a fim de se certificar o tempo de abertura e fecho de cada polo e a diferença de simultaneidade dos polos. Estas medições devem ser realizadas para operações separadas de abertura e fecho. Os valores de referência para as operações de abertura e fecho e discordância entre polos são definidos pelo fabricante.

É ainda realizado um teste para confirmar se o disjuntor tem capacidade para cumprir as seguintes sequências de manobra ciclo OCO (Abrir-Fechar-Abrir) e o ciclo CO (Abrir-Fechar). Estas sequências traduzem a capacidade de operação das molas e da pressão do SF₆.

4.3.3.3. VERIFICAÇÃO DOS CIRCUITOS DE SUPERVISÃO E SEGURANÇA DO DISJUNTOR

É realizada uma inspeção aos circuitos de supervisão e segurança do disjuntor, sendo esta composta pelas seguintes testes:

- Comprovar a capacidade de bloqueio por falta de SF₆. Durante os ensaios de bloqueio de SF₆, nomeadamente, quando for realizada uma manobra de fecho, verificar se o disjuntor se mantém fechado.
- Para disjuntores com accionamento a mola, quando o disjuntor se encontra na posição de fechado, verificar se durante o processo de carregamento da mola se o relé de fecho não atua.
- Verificar do bloqueio ao fecho o tempo de funcionamento do motor (Manual do fabricante) para rearme de mola. Medir também a corrente do motor durante o processo referido.
- Comprovar se o dispositivo de anti-bombagem impede que o pólo se feche e abra, no caso de ser realizada uma acção de fecho e abertura em simultâneo.

4.3.3.4. INSPEÇÃO VISUAL AO ESTADO GERAL DO EQUIPAMENTO

Realiza-se uma inspeção visual mais detalhada ao estado geral do equipamento. Esta inspeção inclui as seguintes atividades:

- Verificação de armários de comando;
- Verificação do estado da pintura e corrosão;
- Verificação do estado das bielas de transmissão;

- Verificação do registo de sinalizações e informações no Sistema de Armazenamento Seletivo (SAS) – Este sistema destina-se a guardar todos os eventos ocorridos nos parques da RNT;
- Reaperto as placa de bornes;
- Verificação do estado de ligações do circuito de terra AT;
- Verificação do estado das Molas.

4.3.4. INSPEÇÕES C

A inspeção C é caracterizada por uma revisão mais aprofundada ao estado do equipamento. Normalmente, este tipo de inspeção é efetuada pelo próprio fabricante, pois obriga a um conhecimento mais profundo da tecnologia e natureza dos materiais que constituem o equipamento, ocorrendo com uma periodicidade de 15-20 anos. Este é o intervalo de tempo indicado, sendo analisado e suportado pelos resultados obtidos nas inspeções A e B. O equipamento terá de ser desmontado do local e transportado até à fábrica para que se possa realizar o acondicionamento do equipamento, ou seja, a abertura dos polos para inspeção e substituição de equipamentos e peças degradadas. Durante estas inspeções devem ser realizadas as seguintes etapas:

- Desmontagem da câmara de corte;
- Análise do estado dos contactos;
- Substituição de tubeiras PTFE, guias de sopragem, *kits* completos de juntas, alumina, acessórios diversos e gás de SF₆;
- Realização de vácuo e enchimento de SF₆ do disjuntor.

Com isto, pretende-se aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos, a sua fiabilidade e reduzir a probabilidade de falhas e avarias.

4.4. CONCLUSÕES

A manutenção em disjuntores REN tem como objetivo analisar o estado de degradação das peças que constituem o equipamento e proceder caso necessário a sua substituição, sendo assim essencial a utilização de uma estratégia de manutenção.

A política de manutenção de disjuntores da REN está assente em duas abordagens distintas: corretiva e preventiva. A manutenção corretiva, sendo cada vez menos frequentes, é realizada após se detetar um problema no equipamento. Este tipo de manutenção tem como finalidade

repor o equipamento à capacidade de ser colocado de novo em serviço. A manutenção preventiva é periódica, realizada para períodos de tempo fixos, e tem por objetivo executar reparações no equipamento que reduzam a sua probabilidade de falhar e prolonguem o seu período de vida útil.

São realizadas atualmente quatro tipos de manutenções a título preventivo, sendo estas a inspeção Termográfica, que ilustra a distribuição de calor nos diversos equipamentos, a inspeção A, de caráter periódico que são realizadas mensalmente, a Inspeção B, que são inspeções mais profundas realizadas com uma periodicidade de cinco anos e a inspeções C, efetuada pelo próprio fabricante com uma periodicidade de 15-20 anos.

5. INDICADORES DE DESEMPENHO

Os *Key Performance Indicator* (KPI) são indicadores que permitem avaliar o estado e desempenho dos equipamentos para assim desenvolver planos de manutenção adequados a cada equipamento da RNT. Os indicadores que permitem avaliar o desempenho dos disjuntores são:

- Caracterização de Falhas em disjuntores;
- Taxa de Fugas de SF₆;
- N° de Manobras em Disjuntores;
- N° de Incidentes em Disjuntores.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DE FALHAS EM DISJUNTORES

O disjuntor é um dos equipamentos mais importantes, este é capaz de interromper correntes de falha e impedir que outros equipamentos sejam destruídos. Os disjuntores com altos índices de falha devem ser inspecionados de forma a prevenir a ocorrência de falhas que de futuro possam originar maiores custos. A deterioração dos equipamentos existentes na rede dependem da qualidade do equipamento, do *stress* elétrico a que está sujeito, das manutenções realizadas e também de questões ambientais como a temperatura, humidade e poluição. Estes fatores para além de influenciarem o desempenho do disjuntor aceleram o seu processo de deterioração.

Nestes casos é necessário que as atividades de manutenção sejam realizadas no seu período devido.

Uma falha é definida como uma falta de capacidade de um equipamento em desenvolver a função ou funções para que foi desenvolvido. (Cigré 510, 2012)

As falhas maiores ou *Major Failure* (MaF) consistem em falhas completas do equipamento com perda de uma ou mais funções fundamentais ao seu funcionamento, esta resulta normalmente na remoção obrigatória do equipamento de serviço num período de 30 minutos para a realização de uma manutenção não programada. As falhas menores ou *Minor Failure* (MiF) consistem na falha de uma ou mais funções que não causem uma MaF (Cigré 510, 2012). A Tabela 7 e Tabela 8 apresenta os critérios de seleção e codificação das Notas de Avaria SAP para MaF e MiF na REN.

Tabela 7-Codificação das notas de Avaria para as MaF

Codificação	Descrição da Falha
MASO	Abriu sem ordem
MCEP	Contornamento entre polos
MCPE	Contornamento polo aberto (externo)
MCPI	Contornamento polo aberto (interno)
MCTE	Contornamento à terra (externo)
MCTI	Contornamento à terra (interno)
MEAF	Encravamento à abertura ou ao fecho
MFSO	Fechou sem ordem
MNAO	Não abre sobre ordem
MNCC	Não cortou corrente
MNEC	Não estabeleceu a corrente

MNFO	Não fecha sobre ordem
MNSC	Não suporta a corrente
MOIU	Outras falhas que obrigam à intervenção dentro de 30 min.

Tabela 8- Codificação das notas de Avaria para as MiF

Codificação	Descrição da Falha
NDCP	Defeito num componente
NFAR	Fuga de ar
NFAZ	Fuga de azoto
NFOE	Fuga de óleo hidráulico (externa)
NFOH	Fuga de óleo hidráulico (interna)
NFOI	Fuga de óleo isolante
NFSF	Fuga de SF6
NOIN	Outras falhas que obrigam à intervenção dentro de 30 min.

Este estudo baseia-se nas falhas ocorridas num intervalo de 8 anos, tendo em conta o número de equipamentos que operam actualmente na RNT. Foram contabilizadas aproximadamente neste período 550 falhas, sendo aproximadamente 90% destas MiF e 10% MaF. Na Figura 27, podemos analisar o número de falhas maiores e menores ocorridas para o este período tendo em conta o número total de falhas ocorridas na RNT.

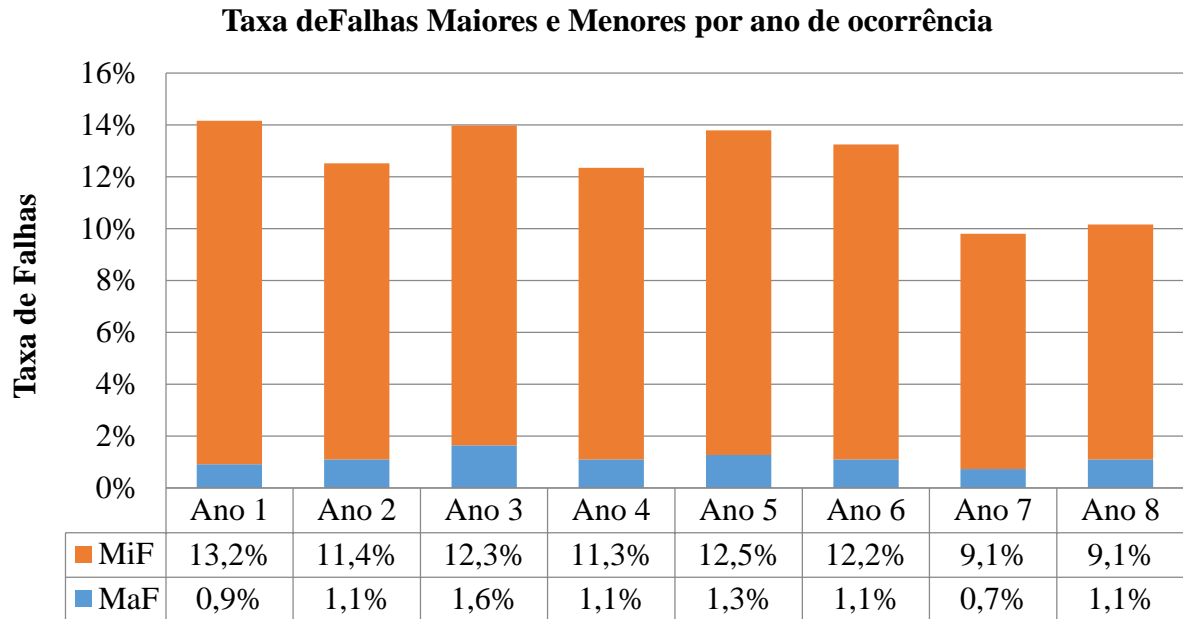


Figura 27- Taxa de MaF e MiF por ano de ocorrência.

Após análise da Figura 27, pode-se concluir que existe um maior número de falhas menores sendo que este tem mostrado ao longo dos anos uma tendência decrescente.

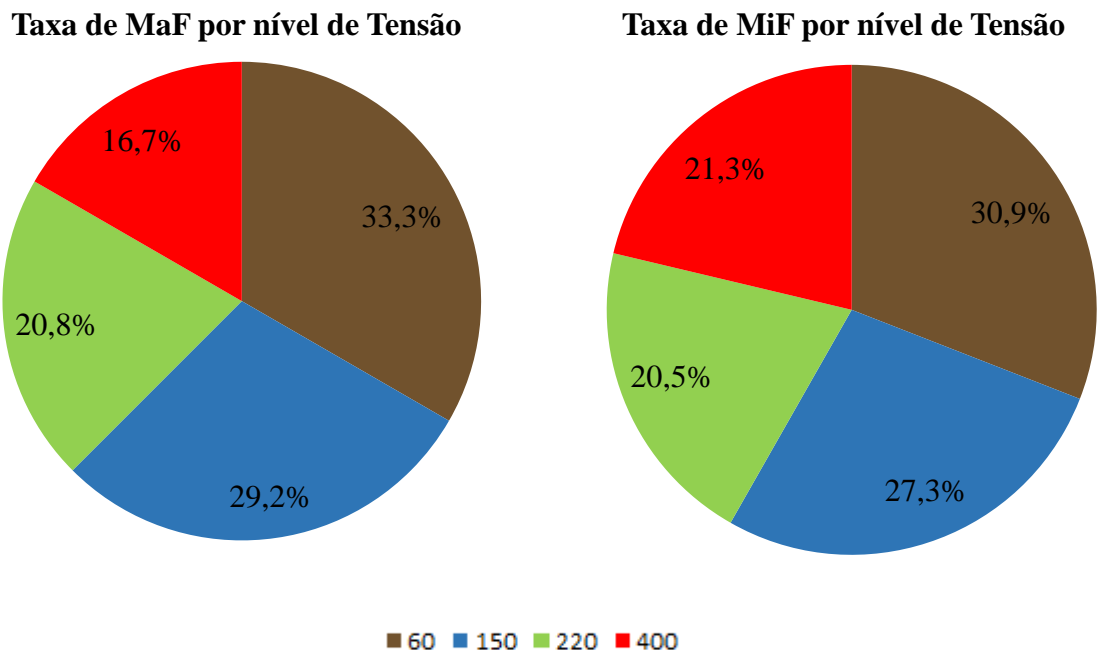


Figura 28- Percentagem de MaF e MiF por nível de tensão.

Relativamente ao número de falhas por nível de tensão em análise, podemos observar na Figura 28 que os níveis de tensão mais afetados por falhas são nomeadamente o de 60 kV e 150 kV. Estes equivalem a 56% da potência instalada no parque, representando 60% das falhas.

Na Tabela 9 é apresentada a distribuição da Taxa de falhas por tipo de aplicação. Como seria esperado os PLN e os PTR são os mais afetados por falhas correspondendo a 83.1% das falhas registradas.

Tabela 9- Taxa de MaF e MiF por Tipo de Aplicação

Aplicação	MaF	MiF	Nº Disjuntores
BARR	0,0%	0,5%	0,5%
PBC	0,7%	1,3%	2,0%
PBP	0,2%	1,8%	2,0%
PGR	0,0%	1,6%	1,6%
PIB	0,0%	6,6%	6,6%
PLN	5,9%	45,8%	51,6%
PMO	0,4%	3,3%	3,7%
PRS	0,0%	0,4%	0,4%
PTR	1,6%	29,9%	31,5%

O parque de disjuntores é composto maioritariamente por equipamentos isolados a ar. Neste âmbito foi estudada a distribuição das falhas dos disjuntores por tipo de isolamento (Tabela 10).

Tabela 10- Taxa de MaF e MiF por tipo de Isolamento

Isolamento	MaF	MiF	Nº Disjuntores
AIS	7,6%	86,2%	93,8%
GIS	1,3%	4,9%	6,2%

O maior número de falhas ocorre em instalações AIS, que correspondem a uma taxa de falhas de 93,8% para instalação na rede de 87,5%.

Tabela 11- Taxa de MaF e MiF por meio extintor

Meio extintor	MaF	MiF	Nº Disjuntores
Óleo	1,3%	16,0%	17,2%
SF ₆	7,6%	75,1%	82,8%

A Tabela 11 apresenta a taxa de distribuição das falhas dos disjuntores por tipo de elemento dielétrico. Como podemos ver, existe um elevado número de falhas em disjuntores a óleo, quando comparados com a sua quantidade em serviço. No entanto, a empresa já se encontra num processo de substituição desses equipamentos, por disjuntores a SF₆.

Tabela 12- MaF e MiF por tipo de acionamento

Acionamento	MaF	MiF	Nº Disjuntores
Hidráulico	4,8%	60,7%	65,5%
Molas	3,7%	28,0%	31,7%
Híbrido	0,4%	2,4%	2,8%

Através da análise da Tabela 12, pode-se concluir, que a maioria das falhas acontece em disjuntores hidráulicos devido a fugas de óleo, sendo que estes apenas representam 2% da população de disjuntores instalados na RNT atualmente. Atualmente a REN tem focado os seus esforços na aquisição de disjuntores a molas, que são mais fiáveis. Como se pode concluir, estes estados são fundamentais para o suporte de decisão na substituição.

5.2. TAXA DE FUGAS DE SF₆

A metodologia de registo e contabilização de fugas de SF₆ em disjuntores em serviço é baseada nos registos da pressão (*P*) e temperatura (*T*) antes e depois de cada intervenção.

Esta metodologia foi inicialmente utilizada considerando que o SF₆ se comporta como gás perfeito. No entanto, a utilização de SF₆ em equipamentos REN, aproxima-o muitas vezes da sua zona de saturação, sendo por isso os desvios relativamente ao comportamento de um gás perfeito, significativos. Assim sendo, optou-se pela utilização do princípio dos estados

correspondentes no qual para o mesmo volume reduzido (V_r) e à mesma temperatura reduzida (T_r) os gases apresentam a mesma pressão reduzida (P_r). (REN, 2012)

A interação entre as moléculas de um gás real podem ser traduzidas através do fator de compressibilidade (Z) de um gás, que pode ser expresso pela equação:

$$P * i = Z * n * R * T$$

Considerando assim que a massa de SF₆ libertada para a atmosfera é igual à massa utilizada no disjuntor até que este atinja novamente a pressão de serviço e utilizando o princípio dos gases perfeitos, tem-se:

$$n_i = \frac{P_i * V}{R * T_i} * \frac{1}{Z_i}$$

$$n_f = \frac{P_f * V}{R * T_f} * \frac{1}{Z_f}$$

$$m = (n_f * n_i) * M$$

Onde:

- T_i e P_i :Temperatura e pressão inicial verificadas antes de se iniciar a operação de reposição da massa de SF₆ libertada.
- T_f e P_f :Temperatura e pressão final verificadas após se finalizar a operação de reposição da massa de SF₆ libertada.
- R : Constante dos gases perfeitos
- V : Volume do compartimento de SF₆ dentro do disjuntor (Valores específicos para cada disjuntor)
- Z_i : Fator de compressibilidade calculado à pressão (P_i) e a temperatura (T_i)
- Z_f : Fator de compressibilidade calculado à pressão (P_f) e a temperatura (T_f)
- n_i : nº de moles inicial de SF₆ calculados à pressão (P_i) e temperatura (T_i) iniciais antes da reposição da massa de SF₆ libertada
- n_f : nº de moles final de SF₆ calculados à pressão (P_f) e temperatura (T_f) finais após a reposição da massa de SF₆ libertada
- M : Massa molar de SF₆

- m : massa de SF₆ libertada.

A utilização desta metodologia foi validada através da metodologia que se encontrava anteriormente em vigor. Esta, requeria a pesagem das garrafas de SF₆ no início e fim de cada intervenção, para reposição da pressão do gás.

As notas de avaria são realizadas sempre que existe uma intervenção na qual seja necessária a reposição de gás no disjuntor. Nesta, o técnico responsável pela intervenção identifica o equipamento em SAP que se possa identificar o volume do compartimento de SF₆ e regista os valores de pressão e temperatura medidos no início e fim da intervenção, assim como a data e hora da sua realização.

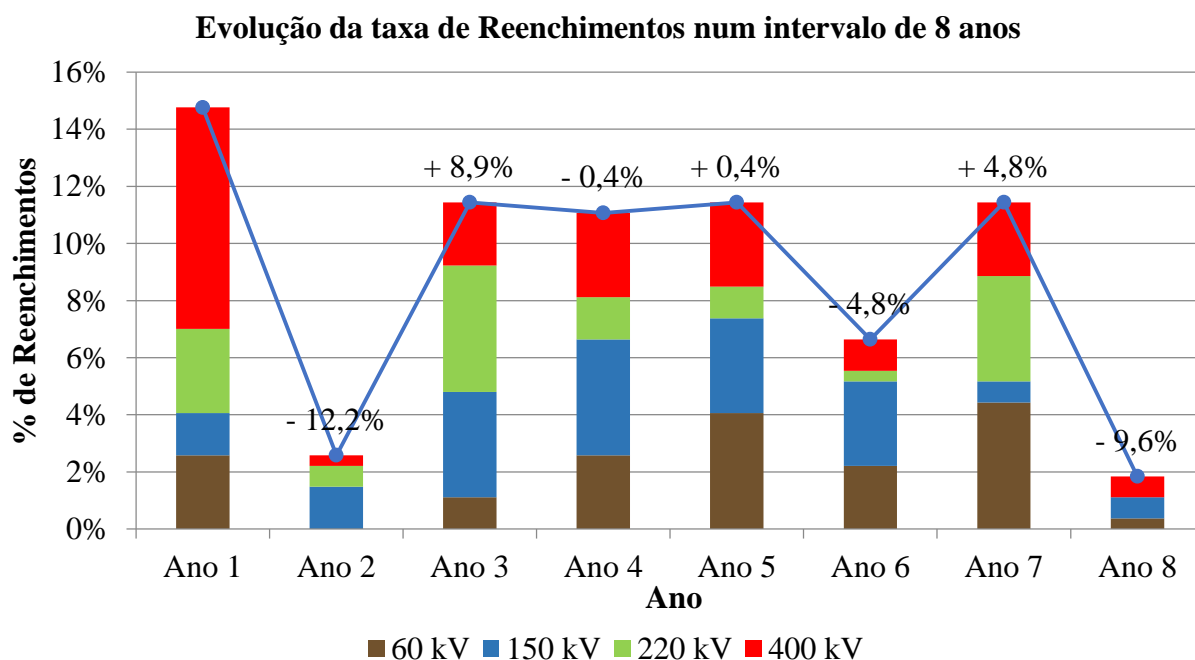


Figura 29- Evolução da Taxa de Reenchimentos num intervalo de 8 anos.

A Figura 29 ilustra a evolução da Taxa de Fugas de SF₆ em disjuntores por nível de tensão num período de estudo de 8 anos. Neste é possível verificar uma diminuição, em relação ao primeiro ano no número de fugas de SF₆ registado em equipamentos REN.

Um reenchimento a um disjuntor nem sempre é derivado de uma fuga de SF₆, este pode resultar de um atesto. Um atesto é caracterizado como um reajuste da pressão de SF₆ aquando da instalação de um novo equipamento. Note-se que embora seja contabilizado como uma fuga, em situação de atesto não existem emissões de SF₆ para a atmosfera.

5.3. N° DE MANOBRAS EM DISJUNTORES

A manutenção a disjuntores deve ser realizada segundo o seu número de manobras, ou seja, a relação entre a corrente de corte e o número de cortes realizados. O desgaste mecânico dos disjuntores pode ainda estar associado à sua aplicação, sendo que nestes casos os disjuntores são divididos em duas classes. A classe M1 destina-se a equipamentos em se prevê não se realizarem elevado número de manobras, ou seja, segundo a norma CEI até ao número máximo de 2000 manobras durante o seu tempo de vida em serviço. A classe M2, é aplicada a equipamentos onde se estima maior número de solicitações, onde o desgaste elétrico e mecânico é maior. Estes possuem a capacidade de suportar até 10000 manobras mecânicas e normalmente estão em aplicações como PBC, PRS e PIB. Na Tabela 13 é feita a distinção as aplicações que integram cada classe. (Standard, 62271-100 , 2001)

Tabela 13- Classe mecânica dos disjuntores por tipo de aplicação (Norma 62210-100)

Classe M1	Classe M2
PBP, PLN, PLC, PTR e PGR.	PBC, PRS e PIB.

5.4. N° DE INCIDENTES EM DISJUNTORES

A ocorrência de incidentes implica a contabilização de uma manobra com o corte de correntes de curto-circuito.

A endurance elétrica de disjuntores é dividida em duas classes, nomeadamente as classes E1 e E2. A classe E2 define que ao longo do seu período de vida útil, as partes do circuito que realizam operações de abertura e fecho não necessitem de qualquer manutenção, sendo apenas necessária manutenção mínima para as restantes peças. A classe E1 caracteriza os disjuntores que não se enquadram na classe E2, sendo necessário efetuar periodicamente inspeções aos disjuntores. (Standard, 62271-100 , 2001)

Alguns fabricantes definem uma relação entre o número de manobras e a corrente de corte que permite calcular o número máximo de manobras de interrupções a que um equipamento pode ser sujeito antes de interrupção, segundo a seguinte expressão:

$$n_x = \frac{A - \sum_{i=1}^m (n_i \times k_i)}{k_x}$$

Onde:

- A Número máximo de manobras à corrente nominal
- k_i Fator da corrente de interrupção I
- k_x Fator de corrente de interrupção I_x
- n_i Número de interrupções permissíveis com uma corrente de interrupção I
- n_x Número de interrupções permissíveis com uma corrente de interrupção I_x

Na Tabela 14 está representada a divisão dos incidentes pela sua corrente de defeito por cada um dos níveis dos últimos 16 anos.

Tabela 14- Número de incidentes ocorridos por corrente de defeito

Corrente de defeito (kA)	$0 < I < 2,5$	$2,5 < I < 5$	$5 < I < 10$	$10 < I < 15$	$15 < I < 20$	$20 < I < 25$	$25 < I < 30$	$I > 30$
% de defeitos	50,0%	18,3%	21,3%	6,2%	2,3%	0,7%	0,4%	0,8%

A partir dos dados da Tabela 14, é possível concluir que a maioria das correntes cortadas tem uma intensidade inferior a 15 kA (95.8% dos casos registados).

5.5. CONCLUSÕES

Neste capítulo, fez-se a análise dos fatores que permitem avaliar o desempenho dos disjuntores, sendo estes a caracterização de Falhas, taxa de fugas de SF₆, nº de manobras e número de Incidentes.

O número de falhas ocorridas por ano apresenta uma tendência decrescente, ocorrendo o maior número de falhas em PLN e PTR que são as aplicações onde se encontram instalados mais disjuntores.

Relativamente ao número de fugas ocorridas, tem existido também neste campo uma diminuição das taxas de fugas relativamente a anos anteriores.

A análise de incidentes merece-se especial atenção pois esta implica para além de um desgaste mecânico, um desgaste elétrico no disjuntor, que pode encurtar o seu período de vida. A análise revelou que as correntes cortadas apresentam uma intensidade inferior a 15 kA em 95,8% dos casos.

6. FERRAMENTA EM VBA ACCESS PARA APOIO À ANÁLISE DE DADOS DE DISJUNTORES AT/MAT

A integração de uma BD tem como interesse a partilha e tratamento de dados que os pretendem traduzir em conhecimento. Uma das principais vantagens da utilização de um sistema de base de dados é a resposta rápida a pedidos de informação. Este só é possível através da utilização de *software* especializado, para formatos de dados que facilitem a tomada de decisão por parte dos gestores.

Este capítulo pretende descrever a metodologia definida para o projeto desenvolvido, tendo em conta a proposta de dissertação a efetuar na empresa e a planificação do mesmo. De seguida é dada a conhecer a linguagem de programação utilizada, assim como a estrutura da aplicação. Posteriormente, procede-se à explicação mais detalhada do módulo desenvolvido “Estatísticas”.

6.1. LINGUAGEM UTILIZADA

A linguagem utilizada para desenvolver a aplicação de tratamento de dados GestDisj (Gestão de Disjuntores) é o *VBA for Access*. O Access é caracterizado como um ambiente de programação assente na linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA). O VBA é uma linguagem baseada no processo de sequência de eventos (*event-driven programming*) que tem o objetivo de automatizar tarefas repetidas, interligando todos os objetos existentes na BD (tabelas, *queries* (consultas), formulários e relatórios). (Couch, 2011)

O Access permite que o utilizador utilize dados de várias fontes, permitindo a importação e exportação de dados para vários formatos. O armazenamento de dados é realizado por meio de tabelas que são operadas através da utilização de *Structured Query Language* (SQL). O acesso aos dados concretiza-se por meio de consultas a tabelas, que são um conjunto simples de instruções que retornam um conjunto de dados específicos. (Couch, 2011)

Uma outra vantagem do Access é o facto de este funcionar com outras ferramentas de aquisição e tratamento de dados, como por exemplo o *Excel*, na medida em que os dados *Excel* são facilmente carregados e traduzidos para o formato de tabela Access.

O Access permite ainda o desenvolvimento de interfaces gráficas que permitem que o utilizador realize tarefas sem necessidade de trabalhar com código ou de realizar consultas. Estas interfaces são construídas usando um conjunto de GUI's *drag-and-drop*, tornando a ferramenta bastante intuitiva e de fácil utilização sob o ponto de vista do programador. (Couch, 2011)

6.2. INTERAÇÃO ENTRE OS SOFTWARES DE GESTÃO DE DADOS: SAP, GESTINC E GESTDISJ

O GestDisj é um programa que aparece pela necessidade de se concentrar numa única plataforma os dados recolhidos pelas equipas de manutenção nas inspeções realizadas aos disjuntores, e servirem de apoio nas inspeções futuras como suporte histórico de dados. Simultaneamente, permite a uniformização dos dados e de estruturas de inspeções, bem como a consulta de dados de inspeções anteriores.

Este programa é constituído por uma BD que interage com outras duas aplicações, nomeadamente, o SAP (*Systems Applications and Products*) e o GestInc (Gestão de Incidentes).

A importância do SAP para o caso em estudo é o facto de este possuir na sua BD, toda informação técnica relativa à população dos disjuntores da REN.

O GestInc. (Figura 30) é uma aplicação interna utilizada pelo Centro de Operação de Rede (COR), onde se regista todos os incidentes ocorridos na rede. Um incidente é caracterizado como uma paragem (não planeada) de um ou mais elementos da rede que podem originar medidas corretivas e dar origem a energia não fornecida.

Assim, estrategicamente, a utilização do mesmo *software* para diferentes plataformas e a respetiva interação, afigura-se como sendo a solução que permite obter melhores resultados no que respeita ao aumento significativo de eficiência para quem as utiliza.



Figura 30- *Layout* da página principal da aplicação GestInc.

De forma a utilizar as estruturas das bases de dados SAP e GestInc, ficou estabelecido que a transferência e consequente atualização de dados GestDisj seria realizada recorrendo a tabelas pré-extraídas das aplicações mães. Estas, seriam posteriormente colocadas numa base de armazenamento e partilha de arquivos REN, baseado no conceito “*cloud computing*”. Como se pode observar na Figura 31, a partilha de dados é realizada através de ficheiros em formato *Excel*.

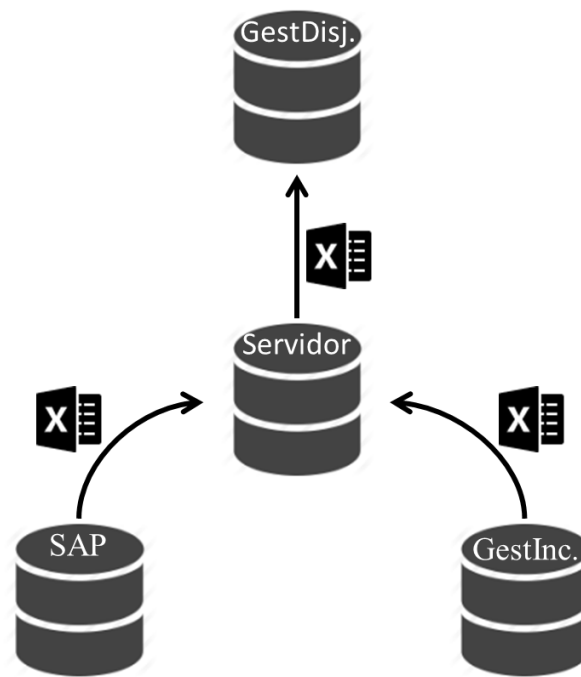


Figura 31-Esquema representativo da utilização de dados realizada entre as aplicações GestDisj., GestInc e SAP.

A informação técnica que consta no SAP é sistematicamente atualizada, já que estamos perante um sistema que terá que garantir a introdução de novos equipamentos.

Após ser colocada uma nova tabela atualizada no servidor, o GestDisj procederá à respetiva atualização através da opção “Sincronizar” (ver ponto 6.3.3).

A aplicação SAP disponibilizará os dados relativos aos disjuntores, as taxas de fugas de SF₆ e o tipo de falha de MaF e MiF ocorridas nos disjuntores da RNT.

Relativamente aos disjuntores, os dados incluirão informações tais como:

- Código SAP (número de identificação do equipamento);
- Local de instalação (Conjunto de caracteres que identificam o tipo de equipamento, a subestação e painel onde está instalado, o tipo de aplicação e nível de tensão do equipamento (ex. R-S-SRA-1-PLN132-DJ));
- Fabricante;
- Tipo do Disjuntor (designação dada pelo fabricante ao equipamento),
- Ano de construção;
- *Status* do usuário (se está em serviço ou se é um equipamento de reserva);
- Corrente nominal e de Curto-circuito;

- Tipo de aplicação;
- Tipo de accionamento (se utiliza um sistema a molas, hidráulico ou híbrido);
- Elemento dielétrico (no caso da REN, óleo e SF₆);
- Tipo de instalação.

No que diz respeito a “Taxa de Fugas de SF₆” as tabelas *Excel* serão compostas pelo código SAP, local de instalação, tipo de equipamento, data da intervenção e quantidade de SF₆ relativo à fuga. A tabela de falhas (MaF e MiF) será composta pelo código SAP, local de instalação, data e codificação das falhas ocorridas em disjuntores. As tabelas de dados GestInc incluirão o local de instalação, data e correntes de corte relativas a cada incidente.

6.3. ARQUITETURA DA BD GESTDISJ.

A aplicação de gestão de dados GestDisj encontra-se dividida em duas versões, nomeadamente a versão *online* e *offline* (Figura 32 e Figura 33).

A versão *online* destina-se ao uso pela ELEX-EA. Esta versão tem como objetivo facilitar a tomada de decisão para o departamento, no que diz respeito às análises das inspeções B e C, suportadas pelas inspeções A. No menu principal, existem diferentes opções, tais como: consultar, preencher, sincronizar, plano de Inspeções, estatísticas e ajuda.

A versão *offline*, destina-se ao preenchimento de dados das inspeções por parte das equipas de manutenção. Em comparação com a versão *online*, esta apenas confere ao utilizador a capacidade de preencher, consultar, armazenar e eliminar as inspeções por ele realizadas. A necessidade desta versão *offline* resulta das inspeções, realizadas em campo onde não podem ser enviadas para o servidor, uma vez que a maior parte das subestações estão em locais isolados e sem disponibilidade de aceder à Internet. Desta forma, foi pensada esta versão com a mesma arquitectura, para proporcionar à ferramenta uma maior interacção e facilidade com as plataformas. Poder-se-á afirmar que a versão *offline* é a transposição de dados obtidos “on site” para o local de armazenamento e partilha de dados.

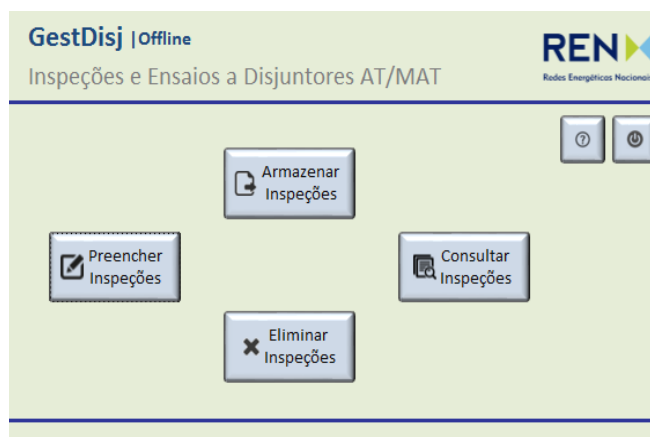
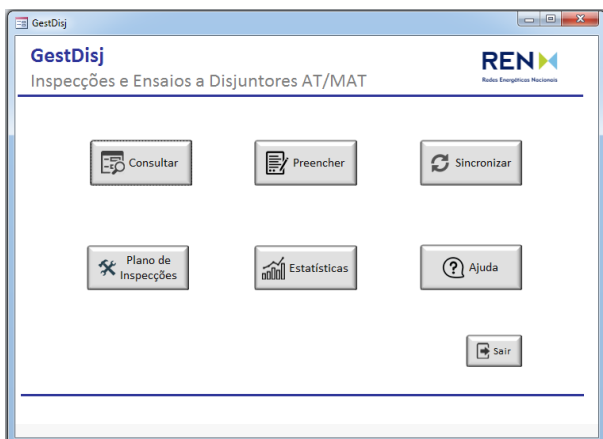


Figura 32- Menu principal da versão *online*.

Figura 33- Menu principal da versão *offline*.

O presente capítulo terá então como função descrever as funcionalidades das aplicação GestDisj. para as duas versões. A Tabela 15 enuncia os tópicos que vão ser abordados e a aplicação em que estão inseridos.

Tabela 15- Funcionalidades presentes na versão *online* e *offline*

Módulo	Versão <i>Online</i>	Versão <i>Offline</i>
Consultar (6.3.1)	X	X
Preencher (6.3.2)	X	X
Sincronizar (6.3.3)	X	
Plano de Inspeções (6.3.4)	X	
Estatísticas (6.3.5)	X	
Armazenar Inspeções (6.3.6)		X
Eliminar Inspeções (6.3.7)		X
Ajuda (6.3.8)	X	X

6.3.1. MÓDULO CONSULTAR

O módulo “Consultar”, como o nome indica, permite a consulta de inspeções A, B e C que foram realizadas aos disjuntores AT/MAT. Simultaneamente, caso existam, permite consultar

“Pendentes” por resolver relativos às inspeções A e B (ver ponto 6.3.2.1). Caso seja escolhida a opção “Consultar”, será aberta uma interface igual à apresentada na Figura 34, onde o utilizador poderá seleccionar o tipo de inspeção a consultar.

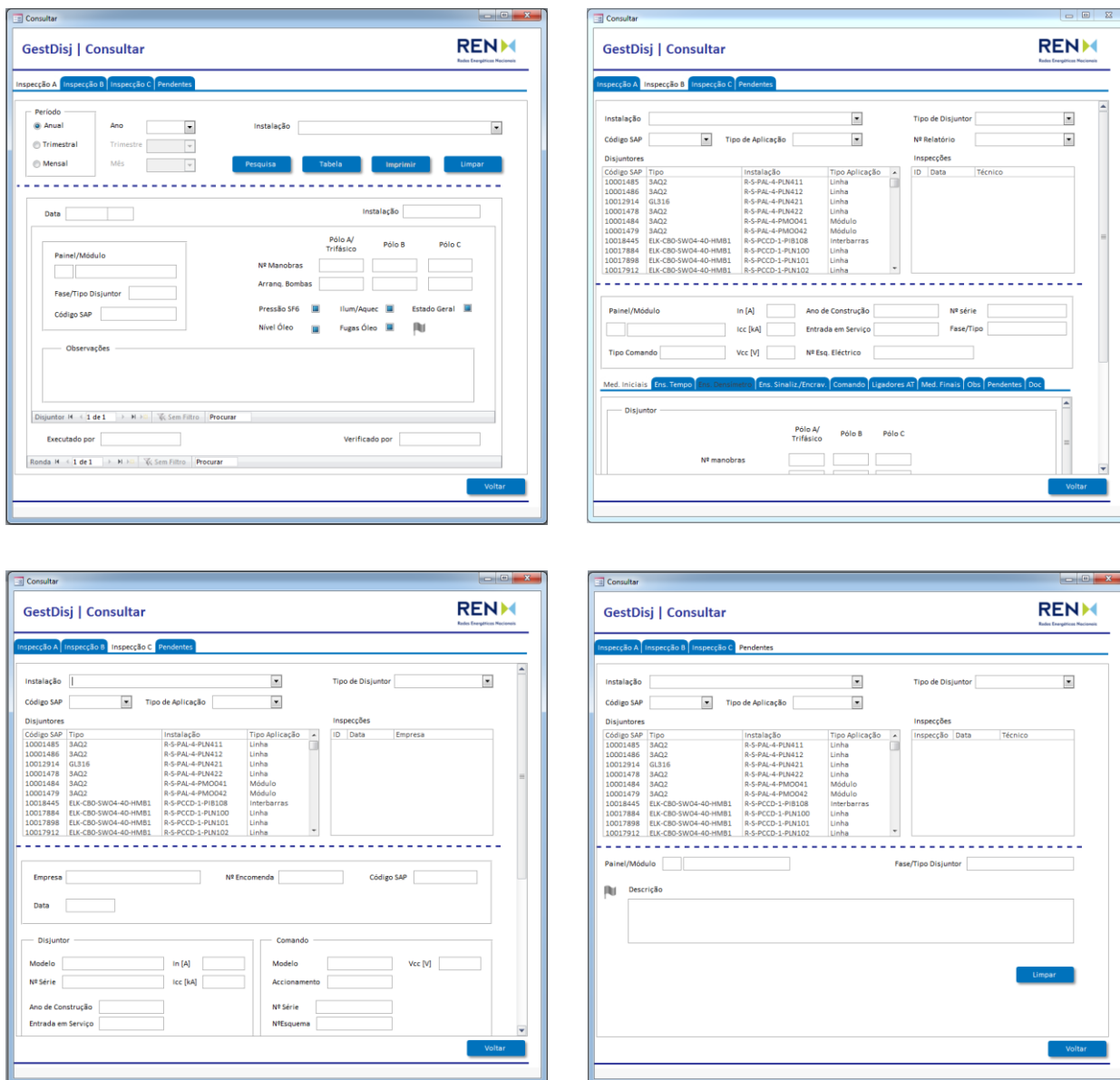


Figura 34- Layouts da funcionalidade “Consultar”.

Adicionalmente à função de “Consultar”, este segmento permite ainda imprimir tabelas (relativas aos dados seleccionados), limpar formulários (caso os dados inseridos não sejam os pretendidos para análise) e imprimir relatórios automáticos relativos às inspeções em pesquisa.

É importante salientar que as inspeções registadas na versão *online* não poderão ser consultadas na versão *offline*, uma vez que esta apenas se destina à inserção de inspeções e conseqüente ao

suporte da versão *online*. Porém, o responsável pelas manutenções poderá consultar todas as inspeções por ele realizadas.

6.3.2. MÓDULO PREENCHER

A funcionalidade “preencher” permite ao utilizador, no caso de estar a utilizar a versão *online*, inserir os resultados obtidos nas inspeções A, B e C na BD GestDisj. No caso da versão *offline*, o utilizador só poderá inserir inspeções do tipo A e B, durante as inspeções realizadas. Após seleccionar a opção “Preencher” este apresentará uma estrutura semelhante à apresentada na Figura 35.

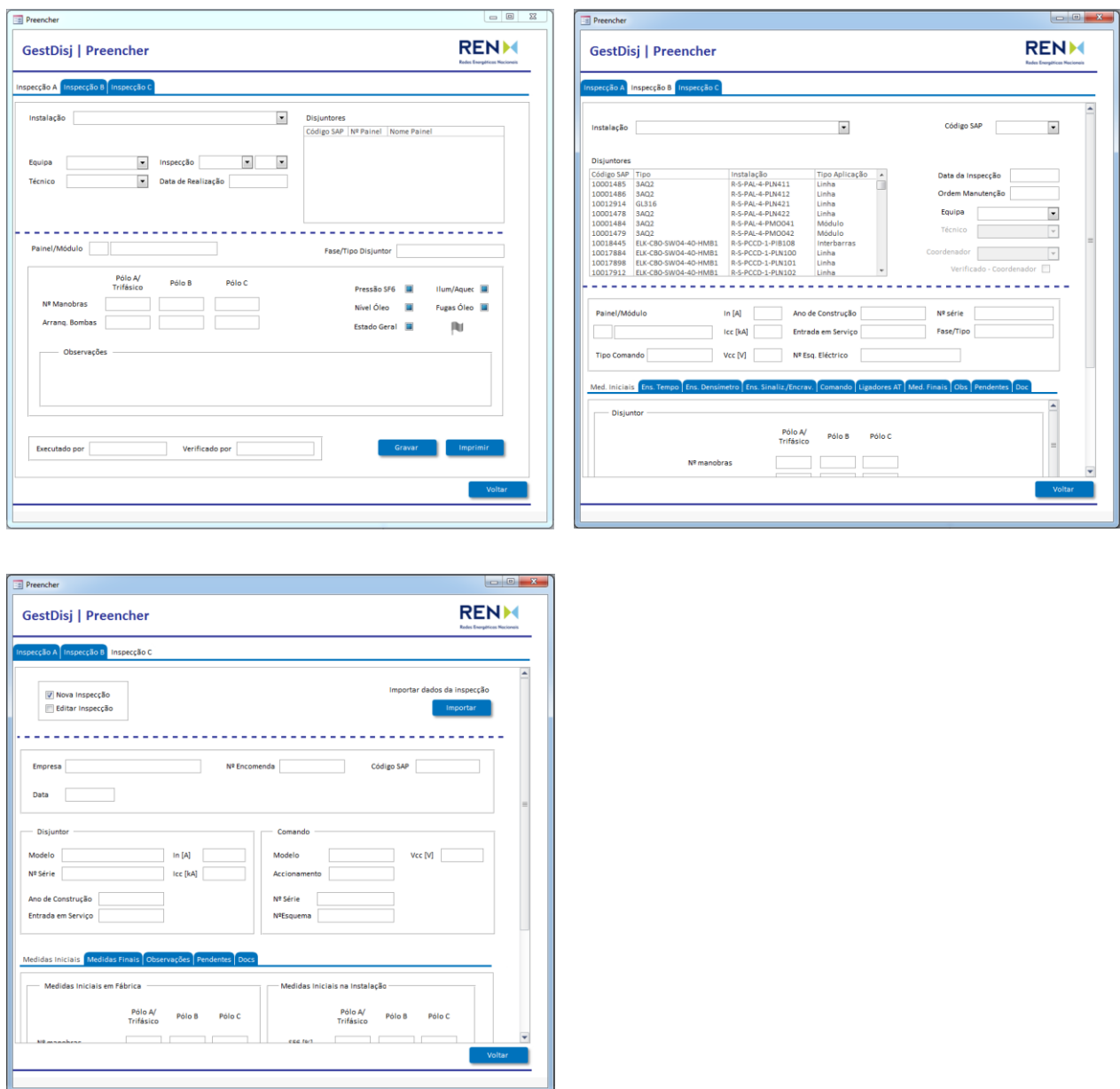





Figura 35- Layouts da funcionalidade "Preencher".

6.3.2.1. PENDENTES

Durante as inspeções é possível detetar anomalias que apesar de não impedirem a colocação em serviço, após ensaios de equipamento, deverão ficar devidamente sinalizadas de forma a garantir que tenham seguimento adequado. É possível também que antes de se efectuar a deslocação ao local para realização de inspeção, o técnico veja os pendentes existentes desse equipamento e possa preparar antecipadamente os meios e logística necessária a cada intervenção.

As bandeiras presentes nos relatórios dizem respeito a tarefas pendentes na instalação. A cor da bandeiras caracteriza o período no qual o pendente deverá ser resolvido, de acordo com:

-  Sem pendentes.
-  Pendentes com necessidade de intervenção no prazo de 1 mês.
-  Pendentes com necessidade de intervenção no prazo de 6 meses.

6.3.3. MÓDULO SINCRONIZAR

O botão “Sincronizar” permite sincronizar as tabelas SAP, GestInc e a aplicação GestDisj. A utilização deste botão está sujeita à introdução de uma palavra passe, sendo a sua utilização reservada a um responsável pela extração e conseqüente atualização das listas.

6.3.4. MÓDULO PLANO DE INSPEÇÕES

Este módulo destina-se a definir quais são os equipamentos que necessitam de uma inspeção (Figura 36). Neste, é possível encontrar os menus “Pesquisar Inspeções”, “Gerar Plano de Inspeções” e “Inspeções em Curso”.

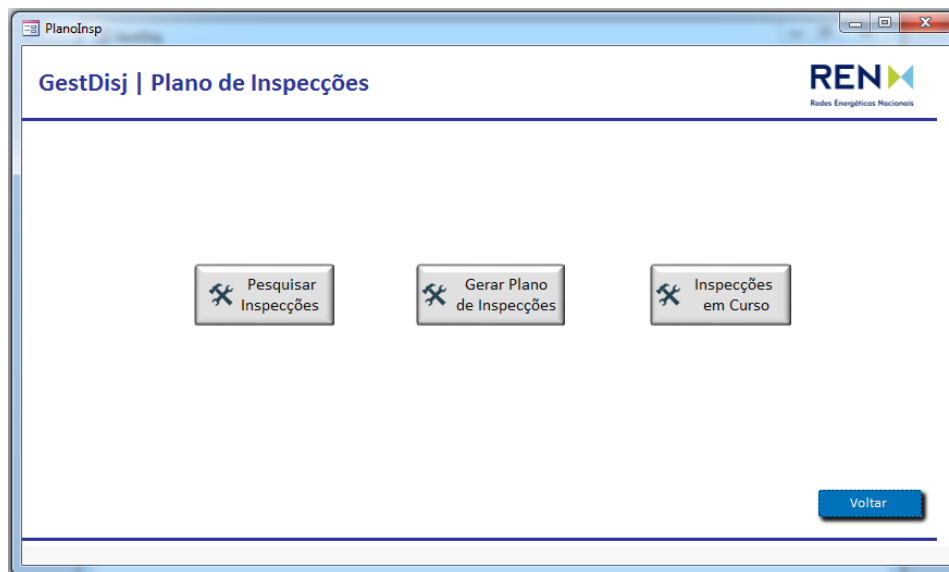


Figura 36- Menu principal da Função Plano de Inspeções.

O botão “Pesquisar Inspeções” destina-se a pesquisar inspeções B e C já realizadas durante um intervalo de tempo especificado pelo utilizador, podendo também a pesquisa ser realizada para um determinado ano.

6.3.4.1. GERAR PLANO DE INSPEÇÕES

Atualmente é executado um plano de manutenção para ano seguinte, para efeito de estimativa de orçamentos e realização de indisponibilidades. Este, permite que o utilizador organize os equipamentos segundo um *ranking* de importância. Esse *ranking* é calculado segundo um fator de ponderação que tem em conta alguns dos fatores que mais contribuem para o desgaste, tais como: a idade, o tipo de aplicação, o número de manobras e incidentes e tempo desde a última inspeção. Será então gerada uma lista de funcionalidades com os disjuntores que deverão ser alvo de inspeção B e C (Figura 37).

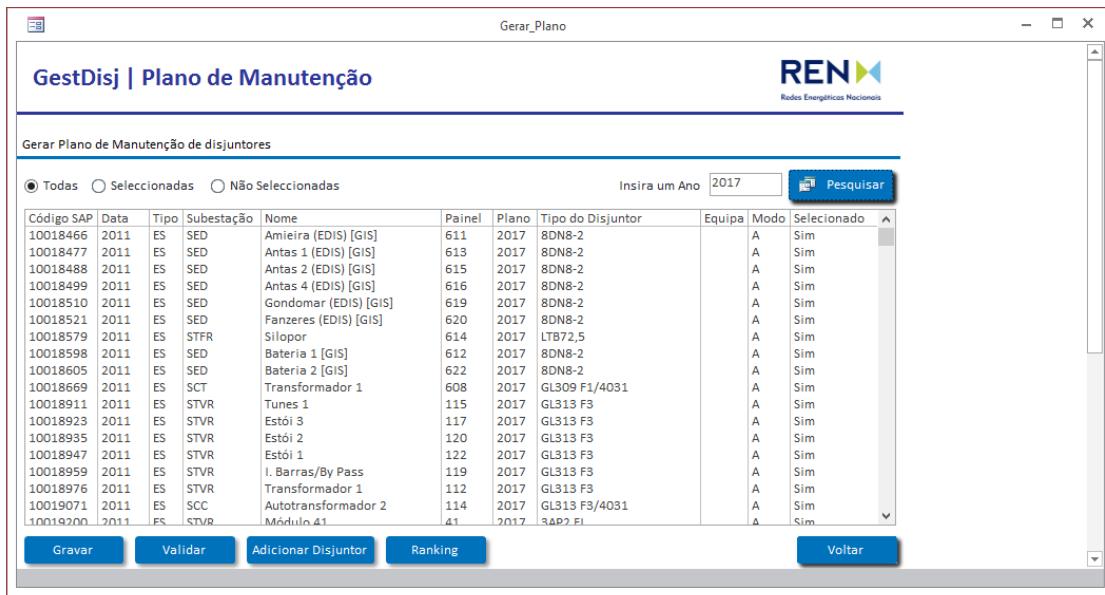


Figura 37- Layout do botão "Plano de Inspeções".

É normal que existam diversas iterações até que o plano se torne definitivo. Assim é possível que o plano possa ser guardado várias vezes durante a fase de elaboração do plano da ELEX-EA. Permite também a possibilidade de adicionar equipamentos manualmente ao plano através do botão “Adicionar Disjuntor” caso se tenha conhecimento pelas equipas locais de um problema que poderá carecer de uma intervenção não planeada para os próximos tempos. Foi então pensado num módulo, que de acordo com determinado ativo, fosse gerado um plano de intervenção para o ano seguinte.

A oficialização do plano será apenas conseguida após a sua validação no botão “Validar”, tornando o plano definitivo, e encaminhando-o para os responsáveis da equipa de manutenção.

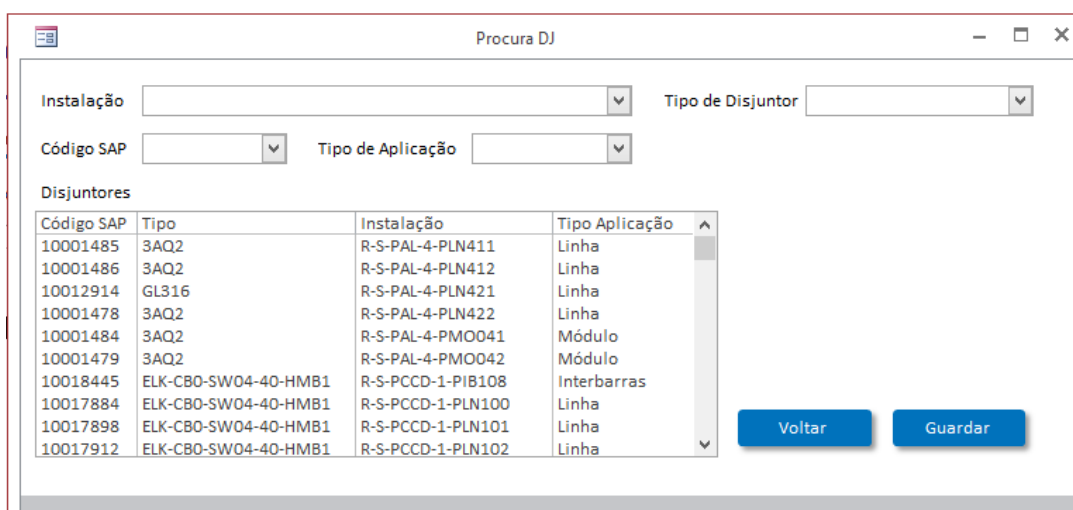


Figura 38-Opção de adicionar manualmente um disjuntor.

6.3.4.2. INSPEÇÕES EM CURSO

Após o plano ser validado é possível consultar os disjuntores que foram definidos para intervenção através do botão “Inspeções em curso” disponível no menu “Plano de Inspeções”.

Código SAP	Ult Insp	Tipo	Subestação	Nome	Painel	Plano	Tipo do Disjuntor	Equipa	Modo de Selecç
10001519	1970	ES	SSB	SE Sado 2 (EDIS) [GIS]	624	2016	HPGE9-14C		A
10001226	1971	ES	SCG	Barramento 2 - Troço A	NA	2016	FL2A		A
10001608	1973	ES	SVM	Reserva Equipada	635	2016	OR1M		A
10001234	1973	ES	SCG	I. Barras 2	250	2016	FL2A		A
10001532	1973	ES	STN	Grupo 2	629	2016	HPGE9-14C		A
10001227	1973	ES	SCG	Barramento 1 - Troço C	NA	2016	FL2A		A
10001118	1974	ES	SPA	Palmela 2	114	2016	OR2M		A
10001117	1974	ES	SPA	I. Barras	112	2016	OR2M		A
10001119	1974	ES	SPA	Palmela 1	115	2016	OR2M		A
10001230	1975	ES	SCG	Transformador 2TD	240	2016	FL2A		A
10001145	1975	ES	SPA	Quinta Grande 2 (REFER)	118	2016	OR2M		A
10001626	1975	ES	SVM	Reserva Equipada	630	2016	OR1M		A
10001123	1975	ES	SPA	Reserva Equipada	122	2016	OR2M		A
10001124	1975	ES	SPA	Reserva semi-equipada	119	2016	OR2M		A
10001232	1976	ES	SCG	Rio Maior 3	242	2016	FL2A		A
10001675	1976	ES	SVM	Reserva Equipada	628	2016	OR1M		A
10001333	1976	ES	SCG	Rio Maior 2	245	2016	FL2A		A

Figura 39-Consultar Plano de Inspeções em Curso.

É ainda possível verificar a taxa de realização (no botão “Taxa de Realização”) dos equipamentos que já foram alvo de inspeção e exportar o plano para um ficheiro em formato *Excel* (botão “Exportar Plano”).

6.3.5. ESTATÍSTICAS

O botão “Estatísticas” destina-se à análise de estado dos disjuntores que integram a RNT. Neste, é possível realizar análises sobre a endurance elétrica e mecânica, taxa de avarias, taxa de fugas de SF₆, analisar as inspeções e a população de disjuntores.

Essencialmente, é a ferramenta que permite traduzir os dados em conhecimento, tornando-se numa ferramenta de elevado valor no suporte à decisão à engenharia. Todo este trabalho resume-se ao suporte de decisão e ao aumento da eficiência transformando-se numa ferramenta indispensável para qualquer empresa.

A gestão de ativos, tendo em conta o elevado número de equipamentos, requer uma boa organização de BD e um conhecimento profundo do ativo existente. Só desta forma é possível dar respostas eficientes sobre o estado de um equipamento e prever num futuro a sua

substituição. É possível, com políticas atuais de gestão, decidir o adiamento de investimento em equipamentos com menor risco através do conceito de manutenção baseada no estado (4.1.2.2) dos equipamentos. Para isso é necessário ter toda a população gerida por uma BD, o que permite efetuar cruzamento e tratamento de dados.

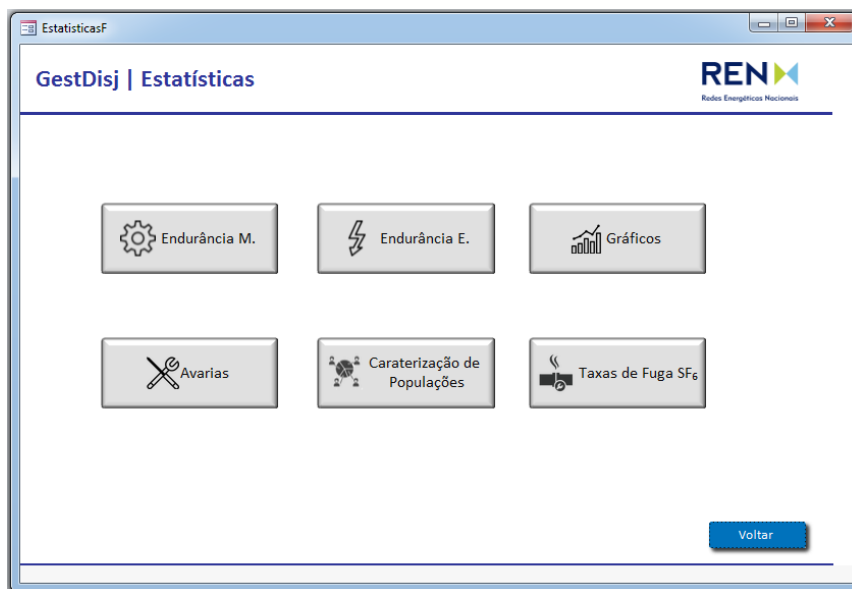


Figura 40- Menu da secção "Estadísticas".

Os menus que integram a secção “Estadísticas”, apresentam uma estrutura semelhante entre eles, devolvendo no entanto dados relativos ao estudo em que se enquadram. A Figura 41 ilustra a organização de estrutura tipo e as funções de base dos menus “Estadísticas”.

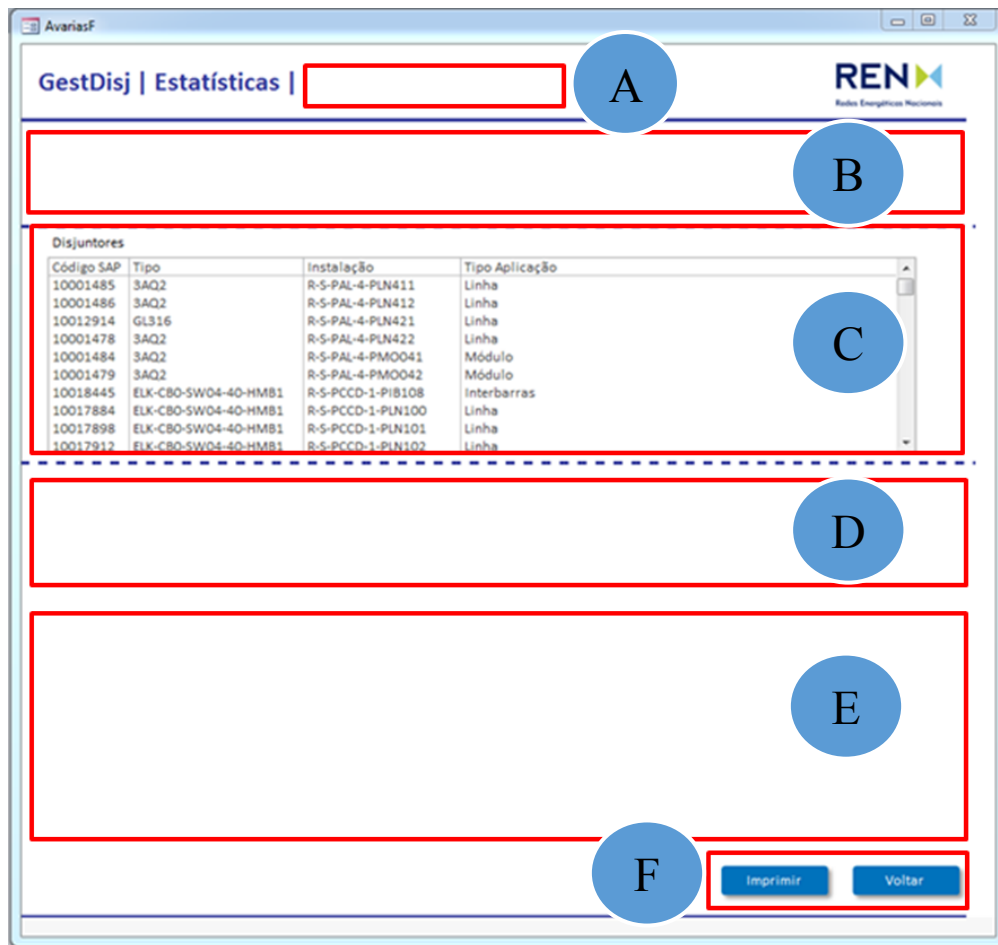


Figura 41- Estrutura típica do menu "Estatística".

A. Título da análise

Nesta secção é designado o nome da página em que o utilizador se encontra, sendo por isso esta, uma área de teor informativo.

B. Filtro

A secção filtro pretende simplificar a busca do equipamento pretendido por parte do utilizador. O menu "Estatísticas" contém dois tipos de filtros que dependem da análise em que o utilizador se encontra. Estes podem conter um filtro por equipamento (Figura 42) ou um filtro misto, por equipamento ou família (Figura 43).



Figura 42- Filtro para o equipamento.



Figura 43-Filtro misto para o equipamento ou família de disjuntores.

O “filtro tipo” relativo a equipamentos encontra-se inserido nas secções “Endurance Elétrica”, “Endurance Mecânica” e “Gráficos”. Já o “filtro misto” é utilizado nas secções “Avarias” e “Taxas de Fuga de SF₆”.

C. Escolha de equipamento

Esta secção destina-se à escolha do equipamento para análise, sendo que é através desta que o utilizador poderá realizar a sua pesquisa. Devido ao elevado número de disjuntores existentes na rede (aproximadamente 1500 se contarmos com as reservas equipadas e equipamentos recuperados), a escolha de equipamento e o filtro, encontram-se interligados, visto que, a função do filtro é agilizar o processo de pesquisa.

D. Dados do equipamento seleccionado

No caso de a análise ser feita a um equipamento, esta secção irá devolver as características relativas aos equipamentos em análise. Nomeadamente à sua constituição, este contém: o painel de instalação, o tipo de comando, a corrente nominal e de curto-circuito, a tensão de curto-circuito, ano de construção, data de entrada em serviço e o tipo de disjuntor.

E. Estatísticas/Histórico

A consulta de informação pode ser feita no separador “Estatísticas” em forma de tabela ou através de gráficos.

A análise estatística, varia de secção para secção, sendo que os dados retornados são relativos as diferentes utilizadas na bases de dados utilizadas na GestDisj.

É possível na forma de gráficos (“Histórico”) consultar os dados por ano, trimestre mês, Figura 44.



Figura 44- Estrutura da função de análise gráfica da secção histórico.

A função “Comparar”, permite ao utilizador equiparar vários equipamentos, sendo que a comparação depende do tipo de filtro em questão. A função “Comparar” presente no menu “Histórico” pode apresentar diferentes *layouts*, de acordo com o tipo de análise realizado, isto é, se a análise é por disjuntor ou por Família.

Nos módulos “Endurance Elétrica”, “Endurance Mecânica” e “Taxa de Fugas de SF₆” é ainda possível que o utilizador personalize os rótulos dos gráficos. Esta opção não se encontra disponível nos restantes módulos (“Gráficos”, “Caraterização de populações” e “Avarias”) pelo facto de estes apresentarem uma grande densidade gráfica.

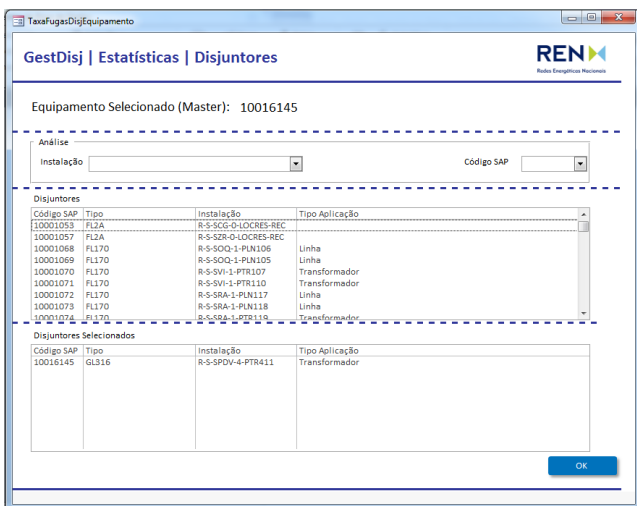


Figura 45- Menu comparar por equipamento.

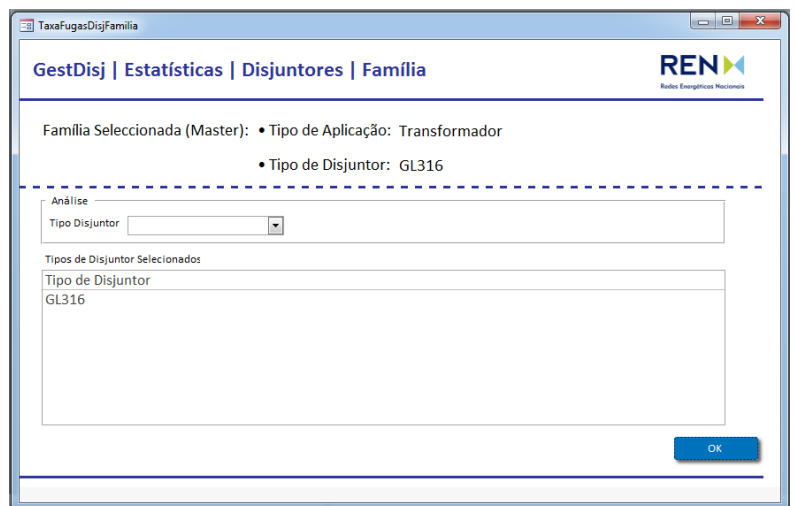


Figura 46- Menu comparar família.

Nos capítulos seguintes serão mencionadas as características individuais relativas (ponto 6.3.5) a cada um dos botões que incluem a análise estatística.

F. Relatório/Voltar

Com a finalidade de exportar dados, e como o que acontece em outros módulos da aplicação o menu “Estatística”, é dotado de um sistema que possibilita ao utilizador a impressão rápida dos dados em análise, Figura 47.

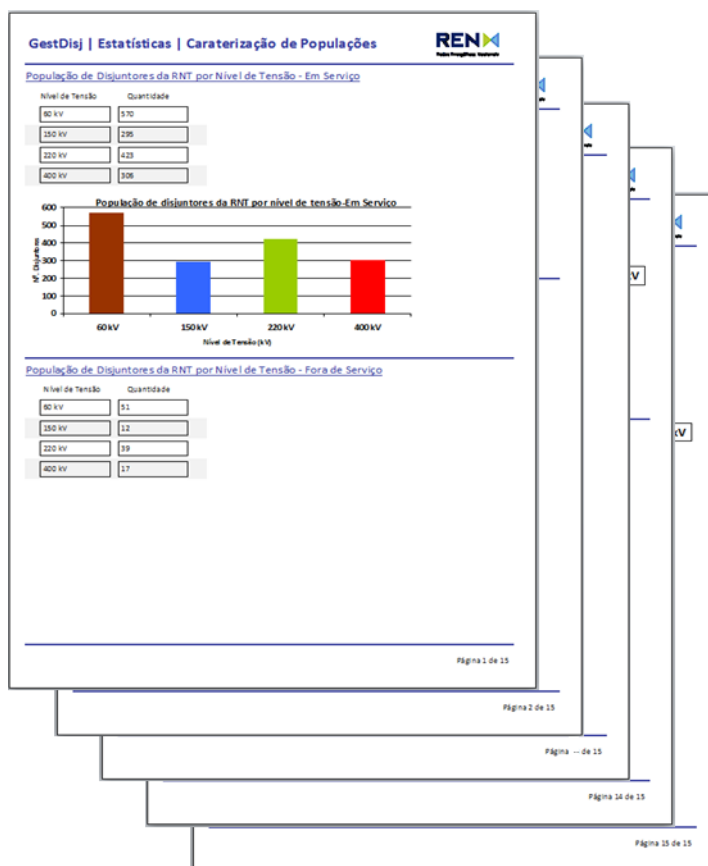


Figura 47- Exemplo de um relatório impresso na secção “Caracterização de Populações”.

A funcionalidade “Voltar” permite que o utilizador retorne ao menu principal “Estatística”.

6.3.5.1. ENDURANCE MECÂNICA

A “Endurance Mecânica” (ponto 5.3) é o módulo que permite através do número de manobras e arranques de bomba (caso o acionamento do disjuntor seja hidráulico ou híbrido) dar ao utilizador uma ideia da avaliação do desgaste mecânico do disjuntor. Para fazer esta análise é necessário recorrer aos dados das inspeções A, onde a contagem de manobras e arranques é realizada mensalmente.

Esta análise é de carácter individual, sendo aqui contabilizado o número de manobras e arranques de bomba mensais, trimestrais e anuais do disjuntor por pólo.

Σ Nº Manobras / Σ Nº Arranque de Bombas	Manobras/Arranque de Bombas			Sem Revisão	Nº Manobras / Nº Arranque de Bombas (Acumulado)	Nº Manobras / Nº Arranque de Bombas (Ensaio)
	Este mês	Este Trimestre	Este ano			
	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>			
	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
Nº Pólo A/Trifásico	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	53 <input type="text"/> B	549 <input type="text"/>	77 <input type="text"/>
Nº Pólo B	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	53 <input type="text"/>	549 <input type="text"/>	56 <input type="text"/>
Nº Pólo C	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	53 <input type="text"/>	549 <input type="text"/>	56 <input type="text"/>

= Nº de Manobras
 = Nº de Arranques de Bomba
 = Tipo de Inspeção

Figura 48- Exemplo representativo da secção “Estatística” de uma análise à endurance mecânica.

O exemplo da Figura 48 é relativo a um disjuntor com tipo de acionamento a molas, visto não existirem arranques de bomba. Nesta análise é ainda possível determinar o número de manobras desde a última inspeção no separador “Sem Revisão”, assim como o tipo da última revisão realizada, o número de manobras realizado pelo equipamento ao longo do seu período de vida no separador “Nº Manobras/Nº Arranques de Bomba (Acumulado)” e o número de manobras de teste concretizado em inspeções B e C no separador “Nº Manobras/Nº Arranques de Bomba (Ensaio)”. Esta análise permite aos gestores de ativos saber quantas manobras é que o disjuntor em serviço e fora de serviço realizou.

Relativamente ao “Histórico” do menu “Endurance Elétrica” é possível para além da análise gráfica, obter um quadro resumo, Figura 49.

Nº Manobras/Arranque de Bombas				Histórico	
	PA	PB	PC	Período	
Nº Manobras	549	549	549	<input type="text"/> até <input type="text"/>	
Nº Arranque de Bombas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> de <input type="text"/>	
Nº S/Revisão	53	53	53	<input type="text"/>	
Última Inspeção B	16-06-2015			<input type="radio"/> Ano <input type="radio"/> Trimestre <input type="radio"/> Mês <input checked="" type="radio"/> Comparar	
Última Inspeção C	<input type="text"/>			<input type="button" value="Gerar Gráfico"/>	
Rótulos do gráfico Nº Manobras			Rótulos do gráfico Arr. Bomba		
Título: <input type="text"/>			Título: <input type="text"/>		
Título do eixo de X: <input type="text"/>			Título do eixo de X: <input type="text"/>		
Título do eixo de Y: <input type="text"/>			Título do eixo de Y: <input type="text"/>		

Figura 49- Exemplo representativo da secção “Histórico” de uma análise à endurance mecânica.

Após a análise do quadro resumo, conclui-se que para o equipamento em questão apenas foram realizadas inspeções do tipo B, não tendo sido registada nenhuma do tipo C. A análise gráfica

neste caso divide-se em dois tipos de gráficos, o primeiro que contabiliza o número de manobras e o segundo que contabiliza o número de arranques de bomba.

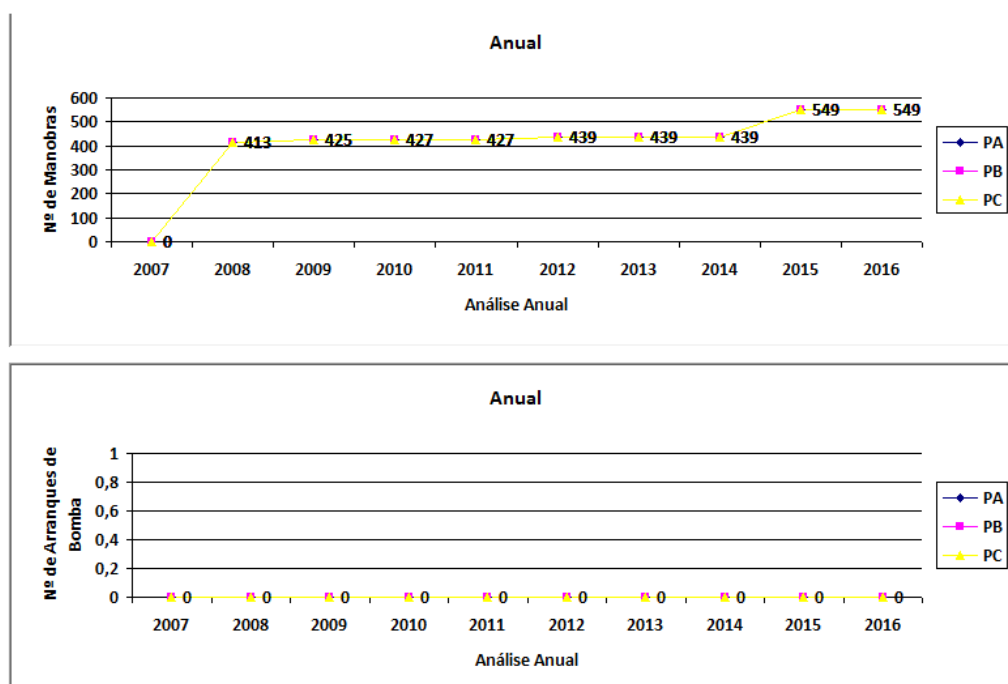


Figura 50- Exemplo de uma análise anual ao número de manobras e arranques de bomba.

6.3.5.2. ENDURANCE ELÉTRICA

A análise à endurance elétrica permite ao utilizador realizar uma análise individual a cada disjuntor e através do número de incidentes realizados compreender o desgaste elétrico dos disjuntores.

Como foi referido, esta análise é de carácter individual, sendo nesta possível analisar o número de incidentes, o acumulado das correntes de curto-circuito por pólo (I_{cc} PA, I_{cc} PB e I_{cc} PC) e o somatório das correntes de curto-circuito (I_{cc}) de todos os pólos. Adicionalmente, é possível saber qual o número de manobras a que o equipamento pode operar se efetuar corte à corrente nominal ($\sum i^2t$). Esta análise permite saber qual o pólo que sofreu mais desgaste elétrico podendo assim melhorar o planeamento das ações de manutenção.

A análise será baseada no tempo, ou seja, serão contabilizados o número total de disparos para o presente ano, trimestre e mês. Adicionalmente, será possível consultar o número de disparos decorridos desde a última inspeção (B e C), referindo ainda o tipo da última inspeção realizada ao equipamento, na coluna “Sem Revisão”. A coluna “ \sum Disparos” tem como função contabilizar

todas as correntes de curto-circuito e disparos ocorridos no equipamento. A Figura 51 ilustra uma análise deste tipo.

	Disparos			Sem Revisão	ΣDisparos
	Este mês	Este Trimestre	Este ano		
Nº de Incidentes				0 8	8
Icc (kA)				0	8
Icc PA (kA)				0	0
Icc PB (kA)				0	0
Icc PC (kA)				0	8
Σi²t				0	64

Figura 51- Exemplo de uma análise relativa ao número de manobras e correntes de curto-circuito ocorridas num equipamento.

Para proceder à análise gráfica do número de disparos ocorridos no equipamento, é necessário recorrer à secção histórico. Na secção histórica é possível ver um quadro resumo dos dados obtidos na secção anterior, Figura 52.

Estatísticas
Histórico

Nº Incidentes	8
Icc (kA)	8
Icc PA (kA)	0
Icc PB (kA)	0
Icc PC (kA)	8
Σi²t	64
S/Revisão	22-01-2016
Último Incidente	07-07-2015

Período

Ano até

Trimestre de

Mês

Comparar

Gerar Gráfico

Rótulos do gráfico

Título:

Título do eixo de X:

Título do eixo de Y:

Figura 52- Exemplo da secção “Histórico” do menu “Endurance Elétrica”.

No quadro resumo é ainda possível ao utilizador saber quando ocorreu a última inspeção “S/Revisão” e o último incidente registado “Último incidente”. É ainda possível consultar a data da última revisão, assim como a data do último incidente. Esta componente destina-se à consulta gráfica do número do histórico de disparos por ano, trimestre e mês ocorrido no equipamento, Figura 53.

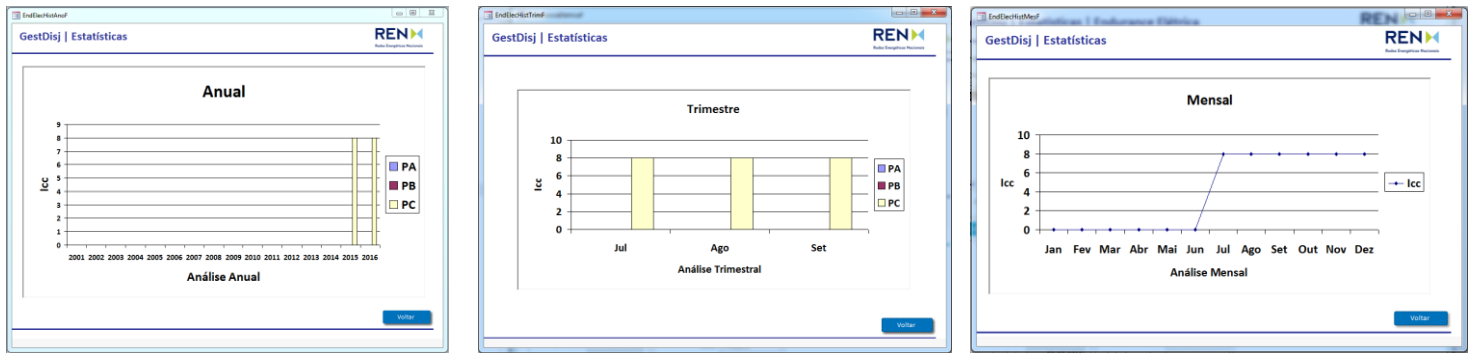


Figura 53- Exemplo da análise a gráfica no módulo “Endurance Elétrica”.

6.3.5.3. GRÁFICOS

A secção gráfica destina-se à análise de disjuntores segundo resultados obtidos em inspeções do tipo B e C. Esta resulta numa análise de 32 gráficos relativos aos diferentes campos abordados em inspeções.

Painel/Módulo	<input type="text" value="PTR114"/>	Nº Insp B	<input type="text" value="2"/>	Datas de Realização	Nº Insp C	<input type="text"/>	Datas de Realização
Tipo Disjuntor	<input type="text" value="3AP1 FI"/>			17-06-2008 16-06-2015			
Fase	<input type="text"/>						

Figura 54- Exemplo dos dados relativos ao disjuntor obtidos na secção “Gráficos”.

Relativamente aos dados do equipamento selecionado é possível obter dados do painel, tipo de disjuntor e fase. No caso de estudo referido em cima, é possível concluir que o equipamento selecionado já sofreu duas intervenções do tipo B, não tendo ainda inspeções do tipo C.

6.3.5.4. AVARIAS

As avarias num disjuntor podem ser contabilizadas através das MaF e MiF ocorridas no equipamento. Relativamente à secção estatística do módulo de “Avarias”, este está dividido em duas secções de contabilização; “Falhas Maiores” e “Falhas menores”. Relativamente às colunas “Falhas menores” e “Falhas Maiores” os *layouts* relativos às falhas são descritos nas Tabela 7 e Tabela 8, respetivamente.

falhas menores				
Falhas Maiores				
Histórico				
Falhas Menores	Este mês	Este Trimestre	Este ano	Acumulado
Σ NDCP	0	0	0	0
Σ NFAR	0	0	0	0
Σ NFAZ	0	0	0	0
Σ NFOE	0	0	0	0
Σ NFOH	0	0	0	0
Σ NFOI	0	0	0	0
Σ NFSF	0	0	0	2
Σ NOIN	0	0	0	0
Σ fm	0	0	0	2

Figura 55- Análise relativa a MiF.

falhas maiores				
Falhas Maiores				
Histórico				
Falhas Maiores	Este mês	Este Trimestre	Este ano	Acumulado
Σ MASO	0	0	0	0
Σ MCEP	0	0	0	0
Σ MCPE	0	0	0	0
Σ MCPI	0	0	0	0
Σ MCTE	0	0	0	0
Σ MCTI	0	0	0	0
Σ MEAF	0	0	0	0
Σ MFSD	0	0	0	0
Σ MNAO	0	0	0	0
Σ MNCC	0	0	0	0
Σ MNEC	0	0	0	0
Σ MNFO	0	0	0	0
Σ MNSC	0	0	0	0
Σ MOIU	0	0	0	0
Σ FM	0	0	0	0

Figura 56- Análise relativa a MaF.

De forma a auxiliar os utilizadores, as codificações de avaria possuem *tooltips* com a descrição dos códigos. Existe em cada uma das análises um campo adicional (Σfm e ΣFM) que são relativos ao somatório das falhas ocorridas de cada coluna.

6.3.5.5. CARATERIZAÇÃO DE POPULAÇÕES

O botão “Caraterização de Populações” do menu principal destina-se à análise geral dos equipamentos que integram a RNT. A análise terá em conta alguns dos fatores que influenciam o funcionamento dos disjuntores: o nível de tensão, a família, idade, aplicação, acionamento e sistema de comando. Nas análises mencionadas, os equipamentos serão divididos em “Em Serviço” e “Fora de Serviço”.

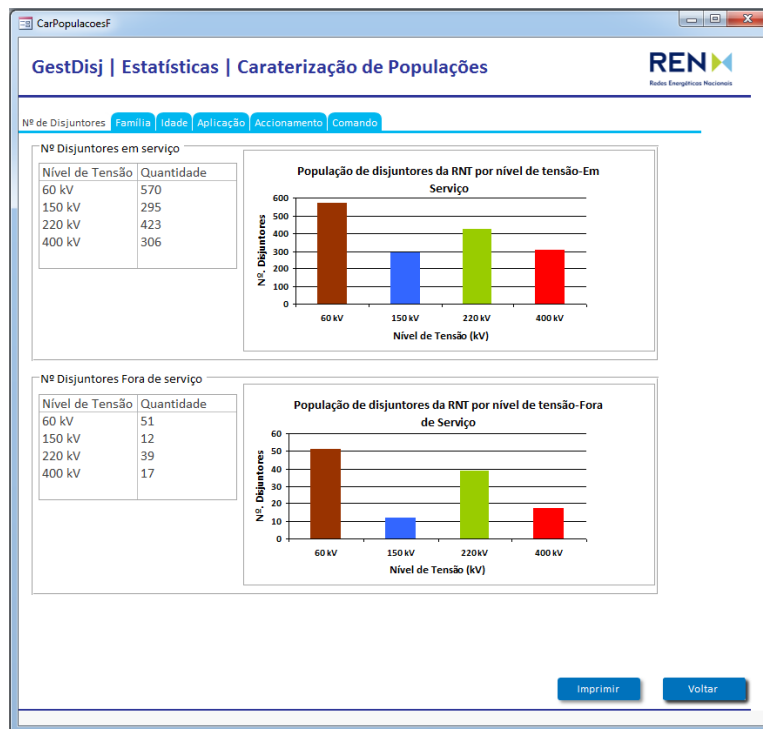


Figura 57- Layout da "Caracterização de populações" do menu "Estatísticas".

Visto tratar-se de uma análise geral, este menu não possui as características de escolha mencionadas, com exceção da funcionalidade "Relatório/Voltar" (no ponto F, 6.3.5).

6.3.5.6. TAXAS DE FUGA DE SF₆

O botão "Taxas de Fugas de SF₆" destina-se à contabilização da quantidade (gr.) e do número de fugas ocorridas em disjuntores. Neste, é possível determinar o número de fugas ocorridas para o presente ano, mês e trimestre, sendo ainda calculado o acumulado das fugas por equipamento SAP (Figura 58).

Nº Fugas / gr	Este Mês	Este Trimestre	Este Ano	Acumulado
10016145	0	0	0	2
10016148	0	0	0	1

Cód SAP	Data de Fuga	SF6 (gr)
10016145	05-03-2015	1740,27
10016148	29-07-2015	134,09
10016145	22-12-2015	1742,72

Figura 58- Análise do nº de Fugas de SF₆

Adicionalmente, o utilizador terá também acesso à quantidade e data cada fuga ocorrida (Figura 59). Esta análise permite que seja avaliada o espaço de tempo ocorrido entre fugas de equipamentos da mesma família.

Nº Fugas / gr	Local de instalação	Este Mês	Este Trimestre	Este Ano	Acumulado
		0	0	0	3
		0	0	0	1
		0	0	0	2
		0	0	0	2
		0	0	0	1
		0	0	1	1
10001176		0	0	1	1
10001278		0	0	0	1
10001305		0	0	0	1

Cód SAP	Tipo	Local de instalação	Data de Fuga	SF6 (gr)	Atesto
10010989	Ti-Toroidal 8260202		02-01-2015	500	
10023253	Secc Isol Disj lado linha		02-01-2015	3400	
10001560	Disjuntor		08-01-2015	101,6	1
10017263	Disjuntor		08-01-2015	661,95	
10012057	Disjuntor		27-01-2015	351,09	
10010719	Ti-Toroidal 8260202		10-02-2015	1000	
10016145	Disjuntor		05-03-2015	1740,27	
10001476	Disjuntor		17-03-2015	1799,36	
10014834	Disjuntor		17-03-2015	401,67	

Figura 59- Exemplo do nº de fugas ocorridas em todos os equipamentos da RNT.

O módulo “Taxas de Fugas de SF₆” permite ainda que seja calculado o número de fugas de SF₆, nos restantes equipamentos da RNT, Figura 59.

No caso de o utilizador selecionar a opção de análise por família, análise gráfica realizada, apenas terá em atenção o tipo de Disjuntor em análise, não entrando para efeitos de cálculo gráfico o tipo de aplicação do equipamento, Figura 60. Esta análise apresenta um novo quadro resumo para as fugas ocorridas nos equipamentos selecionados para comparação.

Desta análise pode resultar a determinação dos modelos em que se verifique maior incidência de fugas e possibilita definir uma estratégia sob o ponto de vista de compra desses mesmos equipamentos ou, possivelmente, a respetiva substituição.

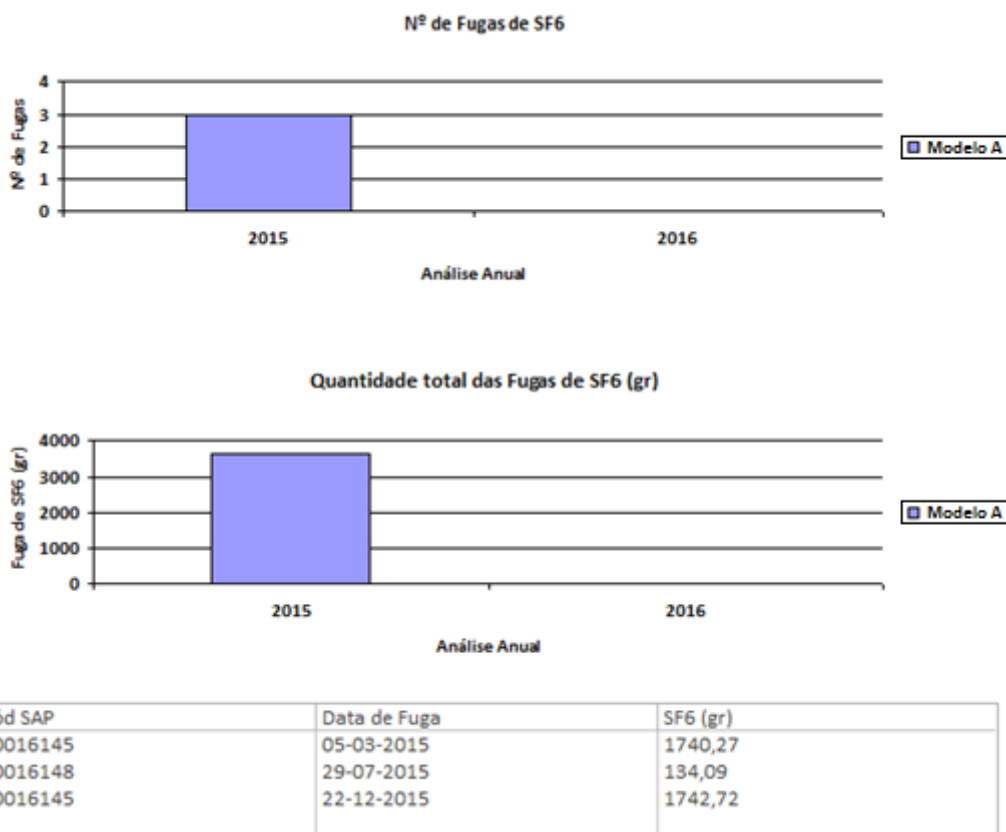


Figura 60- Exemplo da análise gráfica à análise de fugas por Tipo de Disjuntor.

6.3.6. ARMAZENAMENTO DE INSPEÇÕES

O botão “Armazenamento de inspeções” é do uso exclusivo da versão *offline* destina-se à exportação de dados para a versão *online*. Exporta apenas as inspeções que tenham sido preenchidas na versão *offline* mas não existam na versão *online*, isto acontece para que não exista duplicação de dados na versão *online*.

6.3.7. ELIMINAR INSPEÇÕES

Esta opção permite a eliminação de dados já inseridos e verificados e que já tenham sido exportadas para a versão *online*.

6.3.8. AJUDA

O botão “Ajuda” permite que o utilizador possa conhecer o funcionamento dos blocos que constituem a aplicação. Este explica qual a utilidade dos campos e o que é esperado em cada setor.

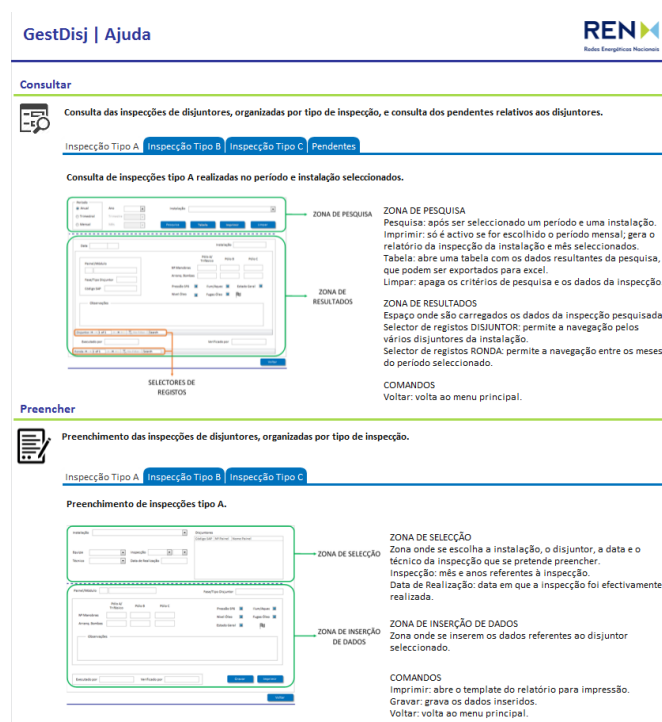


Figura 61-Layout da página “Ajuda”.

6.4. CASO DE ESTUDO

Este capítulo destina-se à realização de uma análise técnica que evidencie o ganho através da utilização de uma abordagem preventiva condicionada (baseada no estado). Os dados relativos à análise estão assentes na ferramenta de *software* GestDisj. Para este caso de estudo foi seleccionado um disjuntor A, tendo em conta que este se encontra em serviço e tem uma inspeção B com valores fora dos limites toleráveis.

Esta análise terá como objetivo evidenciar:

- Análise e conseqüente comparação de todas as variáveis conhecidas (6.4.1);
- Caracterização do estado do disjuntor (6.4.2);
- Tomada de decisão sobre o equipamento (6.4.3).

6.4.1. ANÁLISE E CONSEQUENTE COMPARAÇÃO DE TODAS AS VARIÁVEIS CONHECIDAS

A análise de estado é decorrente de uma inspeção B, que revelou que o teor de SO₂ na câmara de corte não correspondia ao esperado. No decorrer desta análise, deve ser tomada a decisão de se o equipamento deve permanecer ou não em serviço.

Foram realizadas duas inspeções B ao disjuntor, sendo que ambas ocorram em Outubro, a primeira em 2007 e a segunda em 2016. A primeira inspeção, realizada em 2007, refere-se a um controlo em serviço do disjuntor, ou seja, ao seu comissionamento. Neste caso são verificados todos os requisitos, considerados em inspeção B e se os valores considerados, forem aceitáveis, então o disjuntor poderá entrar em serviço. Poder-se-á também assumir que os valores obtidos nesta inspeção inicial serão fundamentais no valor de referência que permite a avaliação de estado através da evolução de cada um dos seus parâmetros.

As Figura 62, Figura 63 e Figura 64 são relativas a dados retirados do módulo “Gráficos” da secção “Estatísticas”.

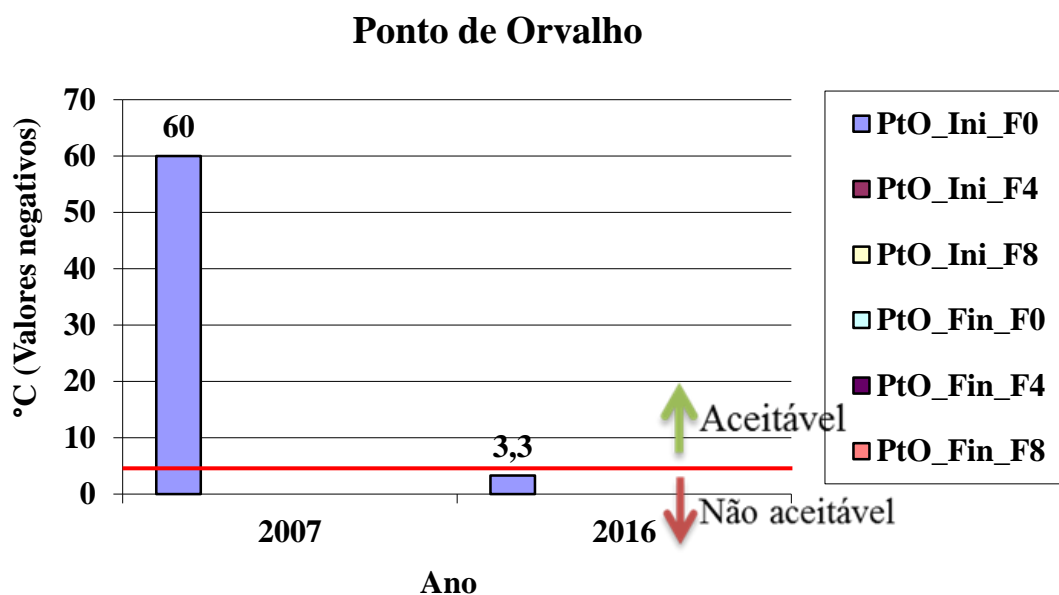


Figura 62- Análise ao ponto de orvalho.

Da análise do parâmetro, ponto de orvalho (Figura 62) para o ano de 2016, é possível destacar que o gás se encontra fora dos valores considerados aceitáveis (aproximadamente -5 ° C). O que significa que o gás já tem no seu interior um valor elevado de humidade. Nesta situação não existe garantias de que o disjuntor possa realizar a extinção do arco elétrico eficazmente e consequentemente poderá resultar num reacendimento.

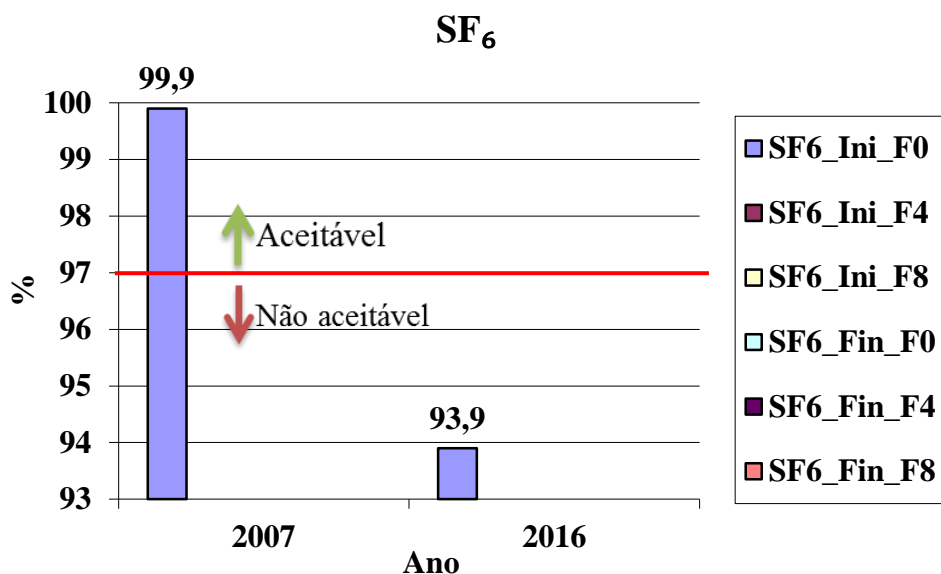


Figura 63- Análise ao SF₆.

A percentagem de SF₆ presente na câmara de corte encontra-se um abaixo do limite especificado pela norma (CEI 60480, mínimo de 97%). Isto revela que o gás se encontra contaminado, torna-se necessário esclarecer a razão pela qual o gás se encontra fora dos valores de referência. Como se pode observar pela Figura 62 para o ano de 2007, a qualidade do gás era a de um já novo, o que exclui o tipo de gás contaminado. Isto significa que o volume de SF₆ está ocupado por um subproduto que é derivado da decomposição do gás. Este subproduto forma-se durante o arco elétrico e recombina-se com materiais ou moléculas no interior da câmara de corte

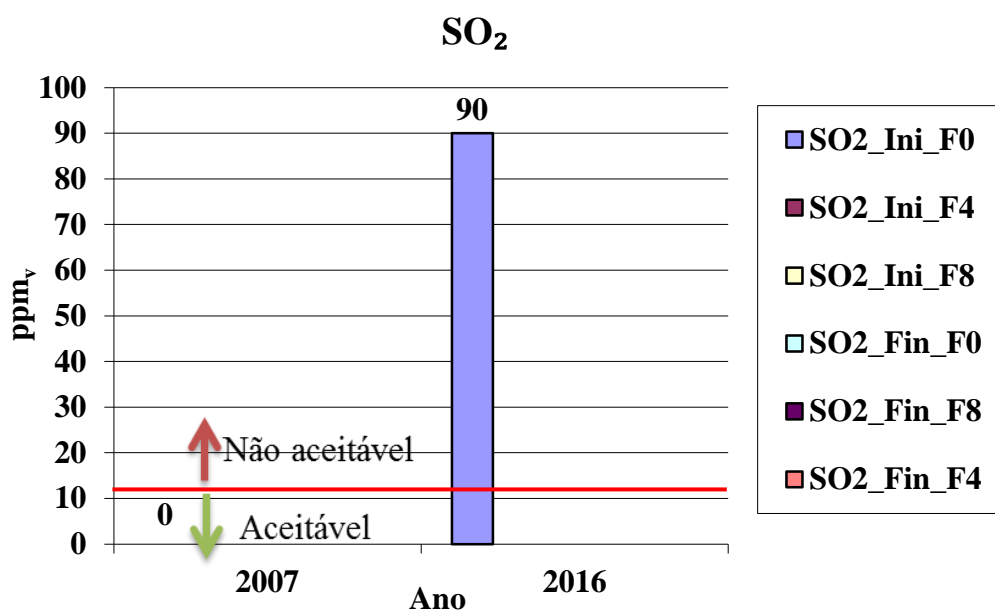


Figura 64- Análise ao SO₂.

A análise ao SO₂, é a mais preocupante, visto que o gás apresenta um teor de SO₂ de 99.9 ppm_v. Um dos fatores que pode ter influenciado a degradação do SF₆ é o corte de elevadas correntes de curto-circuito.

6.4.2. CARATERIZAÇÃO DO ESTADO DO DISJUNTOR

Com a finalidade de apurar as razões que levaram ao aumento do nível de SO₂ e consequente degradação do SF₆ no disjuntor, foi utilizada a secção “Estatísticas” da aplicação GestDisj. Assim, serão analisados o número de incidentes, número de manobras, número de fugas de SF₆ e avarias ocorridas no equipamento em análise. Este processo de recolha e tratamento de toda a informação era anteriormente um trabalho muito demorado, visto que, a informação se encontrava despeça pela base de dados REN em pequenos ficheiros. A utilização do módulo “Estatísticas” da aplicação “GestDisj” permite uma rápida análise do estado disjuntor.

- Análise ao número de incidentes

Foi realizada uma análise ao número de incidentes ocorridos no equipamento a fim de comprovar se a contaminação do gás estaria relacionada com um número elevados de cortes de correntes de curto circuito.

	Disparos			Sem Revisão	ΣDisparos
	Este mês	Este Trimestre	Este ano		
Nº de Incidentes			1	18 B	18
Icc (kA)			0	2,1	2,1
Icc PA (kA)			0	2,1	2,1
Icc PB (kA)			0	0	0
Icc PC (kA)			0	0	0
ΣI ² t					

Figura 65- Análise do número de incidentes ocorridos no equipamento A.

É possível verificar-se pela análise da Figura 65 que ocorrem 18 incidentes no disjuntor A. Constata-se também que houve uma corrente de curto-circuito de 2,1 kA no polo A.

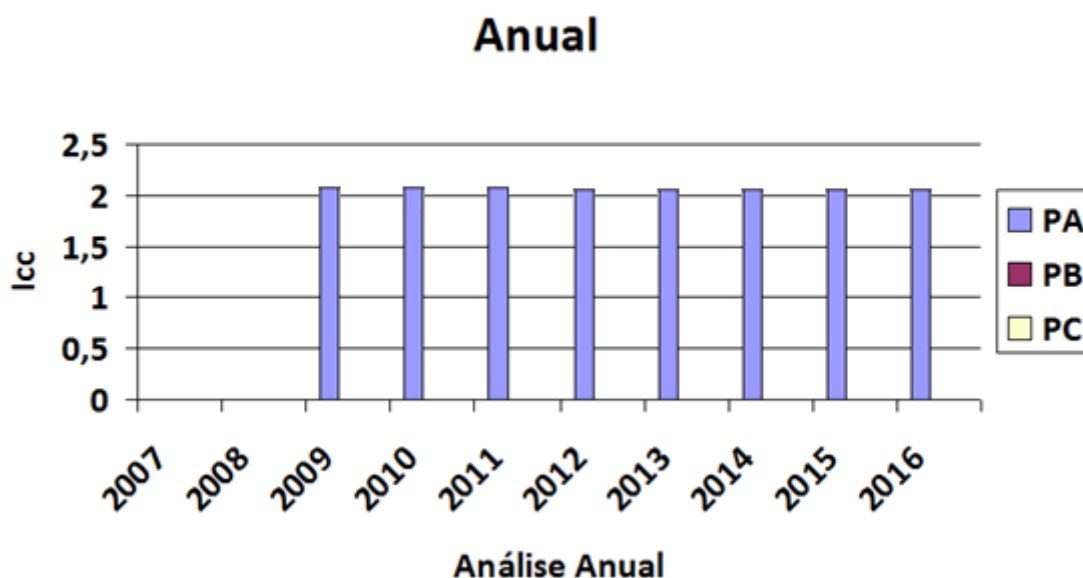


Figura 66-Acumulado das correntes de curto circuito por pólo.

A Figura 66 é relativa ao acumulado de correntes de curto-circuito por pólo, sendo neste possível verificar que apenas ocorreu um corrente de corte (2,1 kV) em 2009. Após a análise, da Figura 65 e Figura 66 é possível afirmar que a contaminação do gás não é justificada pelo corte das correntes de curto circuito.

- Análise ao número de manobras

A análise ao número de manobras tem como objectivo apurar o desgaste mecânico provocado pelas manobras de abertura e fecho.

Nº Manobras/Arranque de Bombas Histórico

Σ Nº Manobras / Σ Nº Arranque de Bombas	Manobras/Arranque de Bombas			Sem Revisão	Nº Manobras / Nº Arranque de Bombas (Acumulado)	Nº Manobras / Nº Arranque de Bombas (Ensaios)
	Este mês	Este Trimestre	Este ano			
	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
Nº Pólo A/Trifásico	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	23 <input type="text"/>	0 <input type="text"/> B	386 <input type="text"/>	43 <input type="text"/>
Nº Pólo B	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>
Nº Pólo C	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>

= Nº de Manobras = Nº de Arranques de Bomba = Tipo de Inspeção

Figura 67- Análise do número de manobras ocorridos no equipamento A.

Pela análise da Figura 67 é possível apurar que o equipamento apresenta um número pequeno de manobras, tendo no último ano apenas regista 23 manobras.

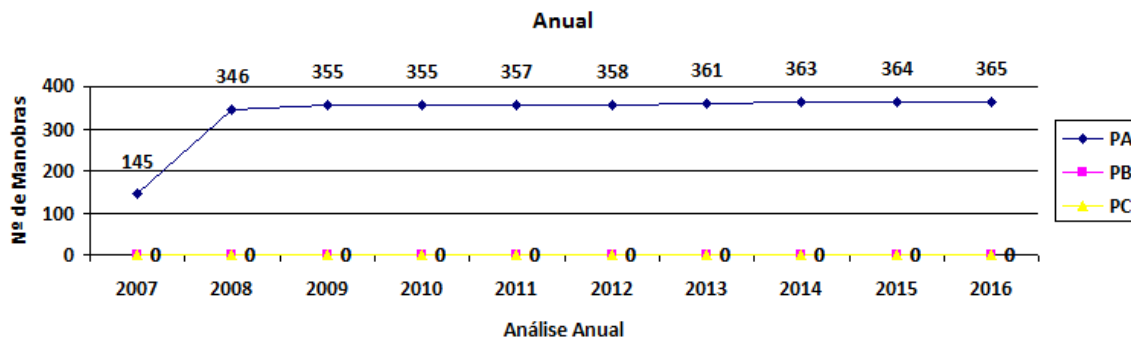


Figura 68- Análise do número de manobras registadas durante as inspeções A.

Após a sua entrada em serviço, o equipamento registou 220 manobras em serviço, não justificando um desgaste mecânico severo no equipamento.

A diferença entre o número de manobras apresentado na Figura 67 e Figura 68 deve-se ao facto de na primeira análise a última inspeção realizada ao equipamento ter sido uma inspeção B (com 386 manobras) em Outubro de 2006. Na segunda análise (Figura 68) os valores são relativos à análise de inspeções A (Figura 67), tendo ocorrido a última inspeção em Setembro de 2016.

- Análise ao número de número de avarias/ número de fugas de SF₆

Não existe histórico de fugas de SF₆ e avarias (MaF e MiF), o que elimina a possibilidade de contaminação do SF₆ por estes motivos.

6.4.3. TOMADA DE DECISÃO SOBRE O EQUIPAMENTO

Dentro do campo de históricos que poderão contribuir para a contaminação do gás, a contaminação por fontes exteriores durante o comissionamento é um dos factores que pode influenciar a qualidade futura do mesmo. Esta ocorrência poderá fazer sentido durante as operações de manutenção do gás, em que é possível introduzir humidade para o interior do disjuntor através do equipamento de enchimento do SF₆. Como se pode verificar a única operação que existiu foi durante o comissionamento do disjuntor em 2007, e as análises registadas confirmam a boa qualidade do gás, o que elimina esta possibilidade.

Por fonte exterior, ou seja, durante o reenchimento na entrada em serviço. Dentro do campo de limites que poderá ter contribuído para a contaminação do gás são excluídos os seguintes fatores:

- Contaminação do gás durante o manuseamento;
- Número elevado de cortes de correntes de curto-circuito;
- Número elevado de manobras;
- Existência de avarias ou fugas.

Pelos valores de análise do SF₆, e com base nos dados de endurance elétrica e mecânica, pode-se determinar que existe um problema no interior da câmara de corte. Este diagnóstico é feito de uma forma não intrusiva que permite suportar a decisão com alguma certeza, de abrir em fábrica a câmara de corte para investigação das razões que levaram à poluição do SF₆.

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões retiradas ao longo deste trabalho, assim como algumas sugestões de trabalhos futuros. Na primeira parte serão enunciadas as metas cumpridas, os objetivos e dificuldades encontradas ao longo de todo o projeto. A segunda parte destina-se a propor um conjunto de sugestões que poderão melhorar a eficiência da aplicação e dar continuidade ao trabalho desenvolvido. Ainda na segunda parte será referido como a atual aplicação poderá interagir com outras áreas da empresa.

7.1. CONCLUSÕES

Os objetivos do projeto relacionaram-se com o desenvolvimento do módulo de “Estatísticas” aplicado aos disjuntores para uma aplicação já existente na REN, assim como provar que a metodologia de manutenção baseada no estado se mostra mais vantajosa ao nível técnico e económico, permitindo adiar ou antecipar inspeções segundo o estado atual do equipamento.

Foi possível verificar através de um caso de estudo, que a ferramenta avalia o estado do equipamento através de histórico de inspeções realizadas, fugas de SF₆, avarias, contabilização de manobras e número de correntes de curto-circuito cortadas. A partir da análise realizada foi possível apurar que o problema que se verificou na qualidade do gás estaria

relacionado com um problema na camara de corte. Este diagnóstico evitou que o equipamento sofresse maior degradação, evitou também o não fornecimento de energia e a falha de outros equipamentos que integram a RNT.

Pode-se afirmar que o desenvolvimento da aplicação foi cumprido, na medida em que foi possível agrupar todos os dados que influenciam a performance dos disjuntores. A vantagem esteve relacionada com a diminuição bastante significativa do tempo de análise, que era necessário para realizar este tipo de estudo. Assim, o segmento “Estatísticas” permitirá que futuramente o utilizador possa analisar num curto espaço de tempo disjuntores de diferentes tipos e aplicações, e fundamentalmente ter toda a informação concentrada e disponível para a tomada de decisão com o menor risco possível, como foi provado no caso de estudo.

No entanto, foram encontrados obstáculos ao longo da realização do presente projeto, nomeadamente, complexidade da linguagem de programação VBA e SQL e as limitações programáticas da aplicação.

A aplicação destina-se ainda a facilitar e auxiliar as equipas de manutenção no que respeita à inserção de dados obtidos em inspeções. A aplicação está atualmente a passar por um processo de agregação e introdução de dados relativos a inspeções.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Após a elaboração do presente projeto, conclui-se que existem ligeiras melhorias que poderão traduzir-se numa estratégia de manutenção baseada na criticidade. Com esta implementação, dariam preferência a equipamentos mais críticos na rede, reduzindo assim os custos de atividade.

Seria também importante, o desenvolvimento de uma aplicação que reunisse a arquitectura do GestDisj alargada a todos os equipamentos de AT/MAT existentes na RNT.

O segmento “Estatísticas” tornar-se-ia mais notável com a criação de um módulo de avaliação de estado dos equipamentos que esteja assente na ponderação de determinados critérios. A ponderação deveria de ter em conta a tecnologia, idade, tipo de aplicação, número de manobras, corte de correntes de curto-circuito, inpeções B e C, tipo de falha e peças de reserva.

O desgaste mecânico é um dos factores que mais influencia o desempenho mecânico do equipamento. Neste caso, seria importante estabelecer um *ranking* do número de manobras críticas ao disjuntor, através da análise do perfil de manobras.

O desgaste elétrico é a variável que influencia o desempenho elétrico e o estado do gás. É necessário estabelecer uma ponderação atingindo a correspondência entre a criticidade de uma corrente de curto-circuito cortada, de uma manobras em corte nominal.

Deve-se dar maior importância aos disjuntores em que não haja peças de reserva, pois nesta situação tornam-se críticos já que qualquer avaria os coloca fora de serviço por um período de tempo longo.

Em conclusão, a aplicação reúne atualmente todas as condições para ser utilizada como ferramenta de auxílio à decisão por parte dos gestores permitindo elevados ganhos de eficiência no que toca à análise de disjuntores da RNT.

Referências Documentais

- Barbosa, F. M. (2013). Introdução á fiabilidade de sistemas elétricos de energia. *Faculdade de Engenharia Universidade do Porto*.
- Choonhapran, P. (2008). *Applications of high voltage circuit-breakers and development of aging models*. Ph.D. dissertation, TU Darmstadt.
- Chu, F. Y. (1986). SF6 decomposition in gas-insulated equipment. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 693-725.
- Cigré. (2014). *SF6 Analysis for AIS, GIS and MTS Condition Assessment*.
- Cigré 276. (2005). *Guide for the preparation of customised "Practical SF6 Handling Instructions"*.
- Cigré 510. (2012). *Final Report of the 2004-2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment*.
- Couch, A. (2011). *Microsoft Access 2010 VBA Programming Inside Out*. Pearson Education.
- Cruz, H. L. (2014). *Disjuntores de potência da RNT--Implementação de uma base de dados e desenvolvimento de uma aplicação informática de apoio*. Ph.D. dissertation, Universidade do Porto.
- F.Maciél Barbosa, J. L. (s.d.). *Fenómenos Transitórios na manobra de Baterias de Condensadores*. FEUP.
- Garzon, R. D. (2002). *High voltage circuit breakers: design and applications*. CRC Press.
- IEP. (2009). *Utilização e manipulação de hexafluoreto de enxofre (SF6)*.
- Iturregi, A., Torres, E., Zamora, I., & Abarategui, O. (2009). High voltage circuit breakers: SF6 vs. Vacuum. *Proc. the 7nd Int. Conf. Renewable Energies and Power Quality*, (pp. 1-6).

- Megger, C. B. (s.d.). Circuit Breaker testing guide.
- Milje, R. (2011). Engineering methodology for selecting Condition Based Maintenance.
- REN. (2005). *Políticas e Estratégias de Manutenção*.
- REN. (2012). *Contabilização das Emissões de SF6 em disjuntores*.
- REN. (2014). *Políticas e Estratégias de Manutenção*.
- Standard, I. E. (2001). 62271-100 . *High-voltage switchgear and controlgear, 5*.
- Standard, I. E. (2004). 60480. *Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF 6) taken from electrical equipment and specification for its re-use*. Geneva: IEC.
- Standard, I. E. (2008). 62271-303. *High-voltage switchgear and controlgear—Part 303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF 6)*. IEC.
- Van der Sluis, L. (2001). *Transients in power systems* (Vol. 2001). Wiley New York.

