



## **APARELHAGEM DE MÉDIA TENSÃO: DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA**

**TIAGO DANIEL ALVES PAIVA**

novembro de 2020

# APARELHAGEM DE MÉDIA TENSÃO: DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA

Tiago Daniel Alves Paiva



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2020**

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

Candidato: Tiago Daniel Alves Paiva, Nº 1110597, 1110597@isep.ipp.pt

Orientação científica: Drº. José António Beleza de Carvalho, jbc@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2020**

«Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.»

Henry Ford



## *Agradecimentos*

Ao longo do meu percurso académico cheguei finalmente ao fim, em que certos momentos me pareceram impossíveis, dessa forma não poderia deixar de demonstrar o meu mais profundo agradecimento a essas pessoas, que me ajudaram a ultrapassar essas etapas, nomeadamente:

Ao Doutor José António Beleza de Carvalho pela sua disponibilidade, pelo grande apoio e orientação que foi fundamental para o trabalho desenvolvido ao longo de vários meses e que permitiu a consecução deste relatório.

À minha família e à minha namorada, que sempre me acompanharam e encorajaram, ao longo desta nova etapa, com compreensão e carinho.

A todos os que contribuíram diretamente / indiretamente a viabilização deste relatório, um sincero agradecimento.



## *Resumo*

O exponencial crescimento da procura de energia elétrica, o avanço tecnológico, ou a simples necessidade de oferta de uma melhor qualidade de vida às populações, são exemplos práticos para a imprescindibilidade das grandes *utilities* (ou das grandes indústrias) pretenderem garantir um fornecimento de energia elétrica “limpo” e contínuo.

Deste modo, existem, no mercado, empresas especializadas na conceção, desenvolvimento e inovação dos equipamentos responsáveis pela distribuição e proteção de sistemas elétricos de energia: a Aparelhagem de Média Tensão (doravante representado por “aparelhagem”).

A eminente procura deste tipo de equipamentos elevou exponencialmente o respetivo volume de negócios, criando assim uma grande diversidade de *players* que competem entre si para a criação de equipamentos fiáveis e economicamente atrativos.

Relativamente a este tipo de equipamentos, existem disponíveis no mercado diversas soluções que conseguem dar resposta a diferentes tipos de aplicação, como é o caso dos disjuntores, interruptores, interruptores-seccionadores, seccionadores de terra, etc.

A dissertação irá discriminar sucintamente cada tipo de aplicação, incidindo de uma forma mais pormenorizada nas celas de média tensão: equipamentos de utilização em espaços fechados, normalmente utilizados pelas entidades de distribuição de energia e por indústrias com necessidades de ligação à rede nacional de média tensão.

### *Palavras-Chave*

Aparelhagem de Média Tensão, Distribuição Primária, Distribuição Secundária.



## *Abstract*

The electric energy demand exponential growth, technological advances, or the simple need to offer population a better quality of life, are examples of the indispensability, from big utilities (or big industries), to intend to guarantee a “Clean” and continuous electric energy supply.

In this way, there are, available on market, design, development and innovation specialized companies, which are responsible for the distribution and protection of electrical energy systems: the Medium Voltage Switchgear (hereinafter represented by switchgear).

The eminent demand for this type of equipment has exponentially increased its turnover, creating a huge diversity of players that compete with each other, for the creation of reliable and economically attractive equipment.

Regarding this type of equipment itself, there are several available solutions on the market that can respond to different types of applications, such as circuit breakers, switches, switches-disconnectors, earthing switches, etc.

The dissertation will briefly describe each type of application, detailing more on medium voltage cubicles: equipment for use, generally, in close spaces and normally used by energy distribution entities and by industries with medium voltage network connections needs.

### ***Keywords***

Medium voltage switchgear, Primary Distribution, Secondary Distribution.



# Índice

AGRADECIMENTOS	iii	RESUMO	ii	ABSTRACT	iv	ÍNDICE	vii	ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABELAS	ix	ACRÓNIMOS	xi	INTRODUÇÃO	11.1.	OBJETIVOS	22.	CELAS DE	
11.2. ENQUADRAMENTOS		11.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO		22. CELAS DE		53. CONSTITUIÇÃO DE			
MÉDIA TENSÃO	22.1.	DEFINIÇÃO	32.2.	EVOLUÇÃO HISTÓRICA	53.	CONSTITUIÇÃO DE			
UMA CELA DE MÉDIA TENSÃO	83.1.	COMPARTIMENTO DE LIGAÇÃO DE CABOS	93.2.						
COMPARTIMENTO DE MÉDIA TENSÃO		113.3. COMPARTIMENTO DE BARRAMENTOS							
153.4. COMPARTIMENTO DE BAIXA TENSÃO		163.5. TIPOS DE APLICAÇÃO	214.						
EQUIPAMENTOS DE CORTE		234.1. INTERRUPTORES - SECCIONADORES	254.2.	FUSÍVEIS					
274.3. DISJUNTORES	285.	APLICAÇÃO PRÁTICA	385.1.	PROJETO TIPO: UNIDADE					
FABRIL (CLIENTE)	395.2.	PROJETO TIPO: EDP - BRA (DISTRIBUIDOR)	486.	CONCLUSÃO E TRABALHOS					
FUTUROS	54	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	56	ANEXO A. TABELA DE FUNÇÕES DE PROTEÇÃO					
ANSI	59								

## *Índice de Figuras*

Figura 1	Características Distribuição Secundária [4]	4
Figura 2	Características Distribuição Primária [4]	4
Figura 3	Celas de média tensão em alvenaria [1]	5
Figura 4	Esquema unifilar tipo	9
Figura 5	Painel frontal de uma cela de média tensão	11
Figura 6	Encravamento em anel	13
Figura 7	Encravamento proteção transformador	14
Figura 8	Indicador de presença de tensão SCHNEIDER [6]	15
Figura 9	Conjunto de 3 barramentos	16
Figura 10	Celas de média tensão equipadas com CBT's	17
Figura 11	Princípio de funcionamento de um relé de proteção	18
Figura 12	Relé de Proteção EFACEC, série TPU	20
Figura 13	Tipos de aplicação	21
Figura 14	Exemplo de um interruptor-seccionador	26
Figura 15	Representação dos disjuntores a óleo com <i>live tank</i> e <i>dead tank</i>	29
Figura 16	Vários exemplos de disjuntores a óleo, <i>live tank</i> e <i>dead tank</i>	30
Figura 17	Sistema com sopro unidirecional	31
Figura 18	Sistema com sopro bidirecional	32

Figura 19	Disjuntor a ar comprimido para tensões elevadas	32
Figura 20	Disjuntor a vácuo 11 kV	35
Figura 21	Disjuntor SF6 145 kV e 420 kV	36
Figura 22	Condutividade térmica do gás SF6 relativamente à temperatura	36
Figura 23	Comparação da rigidez dielétrica do SF6	37
Figura 24	Projeto tipo – Unidade Fabril	39
Figura 25	Projeto tipo – Celas Interruptor Seccionador	41
Figura 26	Projeto tipo – Cella Proteção Geral de Barras e Medida	42
Figura 27	Níveis de isolamento nominal IEC para tensões nominais	44
Figura 28	Evolução $Ka$ com a altitude (m) [10]	45
Figura 29	Tensão suportável à frequência industrial [9]	46
Figura 30	Projeto tipo – Dimensionamento de fusíveis	47
Figura 31	BRA de 4 funções	48
Figura 32	Interligação Público - Privado	48
Figura 33	Características da rede [DMA-C64-420, ponto 4]	50
Figura 34	Tensão estipulada [DMA-C64-420, ponto 5.2]	51
Figura 35	Níveis de isolamento [DMA-C64-420, ponto 5.3]	51
Figura 36	Correntes de serviço [DMA-C64-420, ponto 5.4]	51
Figura 37	Níveis de isolamento [DMA-C64-420, ponto 5.5]	52
Figura 38	Correspondência entre os fusíveis MT e o transformador [DMA-C64-210, Anexo A]	52

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1	Classes de precisão [3]	11
Tabela 2	Características do poder de corte para um interruptor-seccionador	27
Tabela 3	Características elétricas	43
Tabela 4	Relação das tensões	44
Tabela 5	Características elétricas, estabelecidas na DMA C64-420	50



## *Acrónimos*

AT	– Alta Tensão
BRA	– Bloco para Rede em Anel
BT	– Baixa Tensão
H2020	– Horizonte 2020
ISEP	– Instituto Superior de Engenharia do Porto
MT	– Média Tensão
MEE-SEE	– Mestrado de Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia
PT	– Posto de Transformação
QMT	– Quadro de Média Tensão
SEE	– Sistemas Eléctricos de Energia
SF6	– Hexafluoreto de Enxofre
TIC	– Tecnologias de Informação e Comunicação
UE	– União Europeia





# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. OBJETIVOS

Este projeto teve como base uma proposta submetida pelo aluno, à qual foi validada pelos responsáveis pelo MEE-SEE, denominado de “Aparelhagem de Média Tensão: Definição e Aplicação Prática”.

Como abordagem a este tema, vai ser dado maior ênfase à Aparelhagem de Média Tensão para espaços fechados: Quadros de Média Tensão.

Com este documento é pretendido explicar ao leitor como é que estes equipamentos são caracterizados, constituídos e aplicados em contexto real.

## 1.2. ENQUADRAMENTOS

Tal como é de conhecimento geral, atualmente o setor energético toma grandes porções devido ao envolvimento da mesma em cada vez mais atividades do quotidiano do Homem. Com a evolução dos anos, a tecnológica gradualmente foi conquistando a dependência deste consumo, tornando-se com um bem necessário e imprescindível para garantir a melhor qualidade de serviços e bem-estar. Essa qualidade é garantida, em grande parte, pela forma como a energia é rececionada no cliente. Como é transformada e tratada, protegendo todos os bens e pessoas, para que seja utilizada com maior qualidade possível. Essa responsabilidade tem um peso acrescido aos equipamentos de proteção que incorporam sistemas de distribuição de energia em Alta, Média e Baixa Tensão.

### 1.3. **ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O relatório encontra-se dividido em 6 capítulos. O capítulo inicial é de carácter introdutório ao trabalho, dando conceitos gerais ao leitor. Relativamente ao segundo, terceiro e quarto capítulo referem-se ao estado da arte do trabalho, ou seja, é feita uma definição mais aprofundada dos conceitos. O capítulo 5 é de carácter prático e encontra-se dividido em duas partes: na primeira parte é apresentado ao leitor um projeto tipo de uma unidade fabril, em que todos os valores apresentados são justificados; numa segunda parte é apresentado um projeto tipo com uma configuração BRA (Blocos para Redes em Anel), efetuando um encadeamento lógico entre as características técnicas consideradas e as especificações DMA (EDP). Por fim, no capítulo 6 é apresentada uma conclusão do trabalho realizado. A sequência de capítulos tem como objetivo guiar o leitor, de forma a obter um encadeamento lógico das ideias.

## 2. CELAS DE MÉDIA TENSÃO

No presente capítulo irá ser feito um enquadramento às celas de média tensão, passando pela sua definição e abordando a forma como foram evoluindo ao longo do tempo e dos avanços tecnológicos.

### 2.1. DEFINIÇÃO

Da mesma forma que um circuito elétrico existente em nossas casas necessita, por exemplo, de aparelhos para proteção e de aparelhos para abertura/fecho de circuitos (disjuntores e interruptores, respetivamente), os sistemas elétricos de Média Tensão precisam igualmente de equipamentos para o mesmo efeito, sendo aqui que entram então as Celas de Média Tensão. Como principais funções, destacam-se as seguintes:

- Isolamento de equipamentos em caso de falha;
- Realizar reconfigurações de redes, para reparações e/ou em casos de emergência, que se torna necessário alimentar cargas críticas por diferentes “caminhos”;
- Controlo de equipamentos, tais como entrada/saída de transformadores, geradores, etc.

Ao conjunto interligado de Celas de Média Tensão dá-se o nome de Quadro de Média Tensão (QMT). Um QMT pode ser utilizado por duas entidades: pelas concessionárias de energia elétrica, por exemplo, em sistemas de transmissão e de distribuição; e por clientes privados, por exemplo, em instalações industriais ou comerciais.

Um QMT é constituído por vários dispositivos de proteção (disjuntores, fusíveis ou interruptores-seccionadores) e realizam a distribuição de energia para várias secções de uma instalação ou sistema. São também fabricados de modo a oferecer proteção para pessoas e equipamentos ao longo de toda a instalação.

Cada cela é colocada num compartimento metálico separados, corretamente conectados à terra, de forma a fornecer maior segurança, robustez e facilidade de manutenção.

Quanto aos níveis de tensão nominal, podem variar desde os 12,5 kV até aos 36 kV. Os níveis de corrente nominal podem ir até aos 4000 A. Dentro desta gama de equipamentos, existe a diferenciação de dois segmentos: Distribuição Secundária e Distribuição Primária. A diferença entre ambas consiste na sua dimensão e consequente robustez, pelo que para correntes baixas (definido como corrente até 1250 A) utiliza-se uma solução em Distribuição Secundária e para correntes altas (definido como sendo superior a 1250 A) uma solução em Distribuição Primária.

Deste modo, conforme é possível verificar nas figuras seguintes (Figura 1 e Figura 2), as soluções em Distribuição Secundária apresentam menores dimensões e robustez do que as soluções em Distribuição Primária. Como seu resultado, é então possível avaliar a Distribuição Secundária como uma solução que oferece uma corrente de curta duração admissível inferior à Distribuição Primária, sendo os seus valores de 20 kA e 50 kA, respetivamente.

Características eléctricas				
Tensão nominal	12 kV	17.5 kV	24 kV	36 kV
Nível de isolamento				
Ao choque (1,2 / 50 µs)	75 kVp	95 kVp	125 kVp	170 kVp
Frequência industrial	28 kV / min	38 kV / min	50 kV / min	70 kV / min
Corrente nominal	630 A			630 / 1250 A
Corrente de curta duração admissível	16 kA (3 s); 20 kA (1 s)			
Dimensões mm				
Altura	1575		2010	
Profundidade	860			1155
Largura	375 / 500 / 750 / 1000			600 / 1200

**Figura 1 – Características Distribuição Secundária [4]**

Características eléctricas			
Tensão nominal	12 kV	17.5 kV	24 kV
Nível de isolamento			
Ao choque (1,2/50 µs)	75 kVp (95 kVp)	95 kVp	125 kVp
Frequência industrial	28 kV/min	38 kV/min	50 kV/min
Frequência	50 Hz/60 Hz		
Corrente nominal	630 até 4000 A		
Poder de fecho	até 63 kAp	até 100 kAp ou 125 kAp	até 63 kAp
Corrente nominal de curta duração	até 25 kA (3s)	até 40 kA (3s) ou 50 kA (1s)	até 25 kA (3s)
Características mecânicas			
Grau de protecção	IP3X até IP41		
Cor standard	RAL 7035		
Condições normais de serviço			
Temperatura ambiente	Básico: - 5 °C / + 40 °C   Opção: - 10 °C / + 55 °C		
Dimensões mm			
Altura			
> 1250 A	2175	2175	2500
> 1600 A	2175	2175	2500
Profundidade	1570	1750	1730
Largura			
< 1250 A; < 25 kA	600	700	800
< 1250 A; < 50 kA	N/A	750	N/A
2500 A	750	850	900
3150 A / 4000A	N/A	1000	-

**Figura 2 – Características Distribuição Primária [4]**

Nos capítulos seguintes é possível observar os diferentes tipos de Celas de Média Tensão, cada uma com uma função própria e que devem ser utilizados consoante o tipo de aplicação pretendida.

## 2.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

Ao longo da passagem dos tempos e da respetiva evolução tecnológica, as Celas de Média Tensão foram sofrendo alterações ao nível dos aspetos construtivos e das tecnologias utilizadas.

Inicialmente, os Quadros de Média Tensão eram isolados a ar e instalados em cubículos de alvenaria (Figura 3), na qual apenas uma rede metálica impedia o acesso às suas partes ativas.

[1]



**Figura 3 – Celas de média tensão em alvenaria [1]**

Posteriormente, tanto devido a uma maior consciência, como devido a novas instruções de segurança, as celas foram progressivamente substituídas por invólucros metálicos, como são atualmente fabricadas.

A nível de tecnologia, com o aparecimento e desenvolvimento das *Smart Grids* e respetiva evolução da rede, tornou-se fundamental que as celas contemplassem um maior nível de flexibilidade, de automação e de atuação remota.

Para uma melhor explicação desta evolução, vão ser utilizados dois exemplos dessa mesma evolução: os disjuntores e os relés de proteção.

## **Disjuntores**

Tal como mencionado em parágrafos anteriores, o primeiro tipo de disjuntor utilizado foram os disjuntores a ar, caracterizados por terem grandes dimensões, de modo a permitir a expansão do arco elétrico, e por provocarem um ruído bastante audível na sua atuação. [1]

Com o intuito de se tentar reduzir as dimensões dos disjuntores, foram criados os disjuntores a óleo. Estes disjuntores não necessitavam de um volume tão grande para a expansão do arco elétrico. Contudo, tinham duas grandes desvantagens: a necessidade de grande manutenção, para troca de óleo e a segurança de utilização, em que uma falha no equipamento poderia provocar incêndios e acidentes fatais, tanto aos operadores como a tudo o que se encontrava nas suas imediações. [2]

Foi na década de 60 que apareceram os disjuntores a SF<sub>6</sub> e a vácuo, ambas as tecnologias bastante semelhantes. A nível de dimensões, houve um grande ganho de espaço nas celas, pois estes disjuntores apresentam menores dimensões. A nível de segurança, estes disjuntores vieram também melhorar este aspeto, pois reduziram o risco de incêndio. Outra grande vantagem que estes disjuntores trouxeram, foi o aumento do número de falhas que conseguem suportar. Esta melhoria de fiabilidade veio também reduzir a sua manutenção, sendo praticamente nula nos modelos mais avançados. [1]

Todos estes tipos de disjuntores são discriminados no Capítulo 4.

## **Relés de Proteção**

Os relés de proteção (equipamentos responsáveis por receber os sinais da rede, analisá-los e “decidir” se os valores apresentam um risco para a rede ou não), por exemplo, utilizavam até à década de 70 uma tecnologia eletromecânica, através de discos e molas e que precisavam de elevadas potências para funcionar, fazendo com que, paralelamente, os transformadores de corrente suportassem também grandes correntes, até 5 A. Na década de 80, os relés utilizavam já uma tecnologia eletrónica, fazendo com que fosse possível funcionar com transformadores de corrente de menores valores de corrente (1 A). Atualmente, a partir da década de 90, são utilizados relés digitais, que podem ser operados com transformadores de corrente de potências bastante reduzidas, tendo assim surgido uma nova linhagem de transformadores: os transformadores de corrente de baixa potência. Este

tipo de transformadores envia um sinal ao relé, que representa a corrente que passa no secundário do transformador. [2]

Os relés de proteção são discriminados no Capítulo 3.



# 3. CONSTITUIÇÃO DE UMA CELA DE MÉDIA TENSÃO

O presente capítulo apresenta os diferentes compartimentos de uma cela de média tensão, cada um com uma função própria e essencial, bem como os seus princípios de funcionamento. Nessa explicação, um esquema unifilar tipo vai ser utilizado para representar graficamente o local a ser descrito:

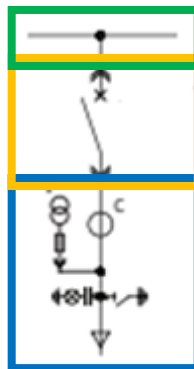


Figura 4 – Esquema unifilar tipo

No final do capítulo é também apresentado ao leitor um capítulo específico às soluções que podem ser encontradas no mercado, fazendo uma pequena descrição de cada uma.

## 3.1. COMPARTIMENTO DE LIGAÇÃO DE CABOS

O compartimento de ligação de cabos, representado a azul na Figura 4, tal como o nome indica, é o compartimento de “entrada” de uma cela, onde se faz a ligação da rede ao sistema de proteção/controlo incorporado numa cela de média tensão.

Este compartimento é situado na parte inferior da cela, de modo que os cabos, normalmente vindos sob a forma de subterrados, sejam conectados à cela. Consoante os níveis de potência que uma cela esteja dimensionada a proteger, é definido um intervalo de secções que o cliente pode conectar à cela.

A título exemplificativo: para uma cela de 630 A de corrente nominal, a secção normalmente utilizada no mercado são cabos de 240 mm<sup>2</sup>.

É também neste compartimento que são alojados os transformadores de medida: transformadores de intensidade e transformadores de tensão, bem como a possibilidade de se poder instalar um seccionador de terra (tema abordado no capítulo 3.4).

### 3.1.1. **TRANSFORMADORES DE CORRENTE**

Os transformadores de corrente (TC) são equipamentos capazes de reproduzir no seu enrolamento secundário, a corrente no enrolamento primário com o devido ajuste previamente definido.

Exemplo: um TC de 300-5 A significa que para 300 A de corrente nominal no enrolamento primário, o transformador ajusta para 5 A no seu enrolamento secundário.

A principal função dos TC's é de auxiliar os aparelhos de contagem, medição ou proteção, dando-lhes a informação da corrente que está a ser produzida no enrolamento primário do transformador, ou seja, da corrente que está no sistema.

Um TC pode ser construído com 1 ou mais enrolamentos secundários, de forma a ser possível conectar 1 ou mais aparelhos de análise ao seu secundário.

### 3.1.2. **TRANSFORMADORES DE TENSÃO**

Os transformadores de tensão (TT) são equipamentos cuja finalidade é exatamente igual às dos TC's, com a devida particularidade de conseguirem transformar uma tensão primária numa tensão secundária, passível de ser suportada por aparelhos de baixa tensão.

Exemplo: um TT de  $20000/\sqrt{3} // 100/\sqrt{3}$  V significa que para 20 kV de tensão nominal no enrolamento primário, o transformador ajusta para 100 V no seu enrolamento secundário.

Cada enrolamento secundário, tanto para os TC's como para os TT's, possui uma respetiva classe de precisão, existindo classes próprias para medição e classes próprias para proteção (ver Tabela 1).

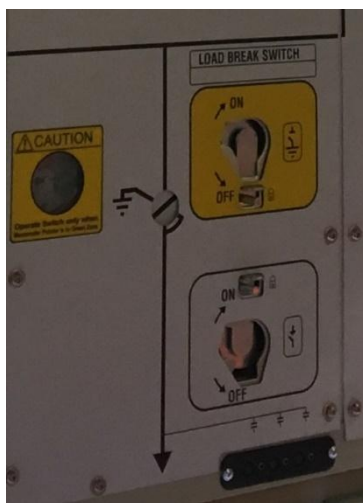
**Tabela 1 – Classes de precisão [3]**

<i>Tipo</i>	<i>Classe</i>	<i>Erro de Corrente (%)</i>	<i>Desfasamento (Centiradianos)</i>	<i>Aparelhagem</i>
<i>Medida</i>	0,2	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	Contagem
	0,5	$\pm 0.5$	$\pm 0.9$	Medição e contagem
	1	$\pm 1$	$\pm 1.8$	Conversores de Medida
<i>Proteção</i>	5P	$\pm 1$	$\pm 1.8$	Relés de proteção
	10P	$\pm 3$		Relés de proteção

### 3.2. COMPARTIMENTO DE MÉDIA TENSÃO

O compartimento de média tensão, representado a **laranja** na Figura 4, é o compartimento onde é instalado o equipamento de corte, podendo este ser um disjuntor, interruptor ou fusível. É ainda onde se situa todo o painel frontal da cela. Este painel, representado na Figura 5, é constituído pelo sinótico da cela, pelo indicador de posição do equipamento de corte, pelos canhões das manivelas para manuseamento dos equipamentos de corte e pelo indicador de presença de tensão.

Nos seguintes subcapítulos encontram-se detalhados cada um destes constituintes. Relativamente aos equipamentos de corte, o relatório apresenta um capítulo dedicado a este assunto, o Capítulo 4.



**Figura 5 – Painel frontal de uma cela de média tensão**

### 3.2.1. **INDICADOR DE POSIÇÃO**

Relativamente ao indicador de posição, este assume a importante função de indicação visual da posição do equipamento de corte, estando conectado à sua parte móvel, através de um veio mecânico. Este indicador pode assumir três diferentes posições: aberto, fechado e “ligado à terra”.

A título exemplificativo, a Figura 3 apresenta um interruptor na sua posição de aberto, uma vez que o indicador de posição está desalinhado com o eixo vertical do sinótico, que representa o esquema unifilar presente em cada cela. Do mesmo modo, para a representação da posição de “fechado”, o indicador deve estar alinhado com o sinótico, ou seja, na vertical e, por fim, para a representação de posição de “ligado à terra”, o indicador deve estar inclinado para o lado da representação da ligação à terra (neste caso em particular, o indicador deverá estar inclinado para o lado esquerdo).

### 3.2.2. **MANUSEAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE CORTE E ENCRAVAMENTOS POR CHAVE**

No que concerne aos canhões para inserção das manivelas, tal como já indicado e perceptível, servem para colocação das manivelas e realização da operação manual de abertura e fecho dos equipamentos de corte e do seccionador de terra. Apesar disso, o seu manuseamento não está constantemente possível de ser efetuado, uma vez que todas as celas deverão ser fabricadas segundo normas específicas, IEC 62271-200, e/ou regulamentos particulares de clientes específicos, por exemplo da EDP, a DMA C64-410/N, que para além de todos os outros requisitos, impõe um conjunto de encravamentos mecânicos intrínsecos, de forma a que todas as celas sejam capazes de garantir toda a segurança possível à sua exploração.

Dentro de todos os encravamentos obrigatórios, destacam-se os seguintes exemplos:

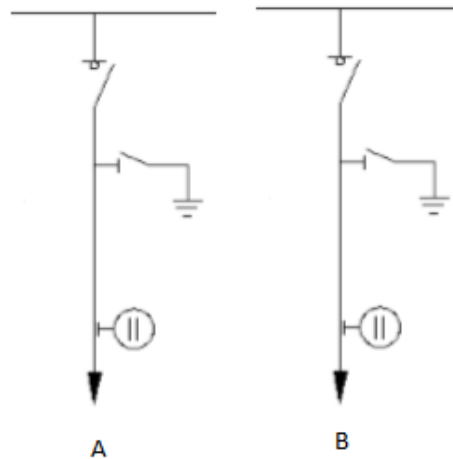
- Apenas é possível o acesso ao compartimento de cabos após a abertura do respetivo equipamento de corte;
- Apenas é possível fechar o equipamento de corte caso o seccionador de terra esteja aberto;
- Apenas é possível fechar o seccionador de terra após a abertura do equipamento de corte;

- Caso a cela seja equipada por fusíveis, apenas é possível acedê-lo após a abertura do equipamento de corte e dos seccionadores de terra a montante e a jusante.

Para além dos encravamentos mecânicos exigidos por norma, é ainda possível equipar uma cela com diversos tipos encravamentos por chave. Estes encravamentos são normalmente solicitados quando o cliente pretende certas proibições entre celas ou entre celas e a sua envolvente. Encontram-se, de seguida, dois exemplos práticos comuns em sistemas de média tensão.

**Exemplo 1 – Encravamento entre celas:**

Aquando da instalação de redes em anel, é imprescindível que seja requisitado encravamento entre as celas de entrada de diferentes quadros.



**Figura 6 – Encravamento em anel**

Isto é, para um caso-exemplo de dois quadros conectados entre si através das duas celas representadas na Figura 6, dá-se um encravamento cruzado entre ambas, em que:

- Apenas é possível fechar o seccionador de terra da cela B, caso o equipamento de corte da cela A esteja aberto;

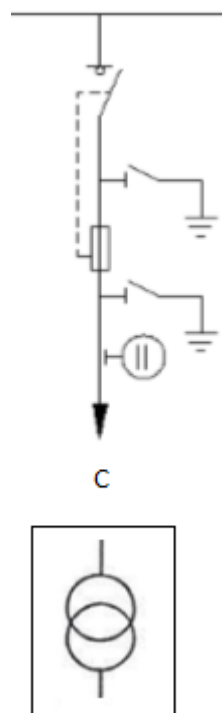
Para este efeito, é libertada uma chave “X” na cela A aquando da abertura do seu equipamento de corte e essa mesma chave é colocada no respetivo canhão “X” do encravamento do seccionador de terra da cela B, para assim desbloquear o seu impedimento de fecho. Feito o desbloqueio, é agora possível manobrar o seccionador de terra.

- Apenas é possível fechar o equipamento de corte da cela B, caso o seccionador de terra da cela A esteja aberto.

Para este efeito, é libertada uma chave “Y” na cela A aquando da abertura do seu seccionador de terra e essa mesma chave é colocada no respetivo canhão “Y” do encravamento do equipamento de corte da cela B, para desbloquear o seu impedimento de fecho. Feito o desbloqueio, é agora possível manobrar o equipamento de corte.

### Exemplo 2 – Encravamento com sala de transformador:

Geralmente, sempre que o cliente pretende uma cela proteção de transformador, proteção esta normalmente recorrida através de uma cela com fusível, é pretendido também que o sistema possua um encravamento por chave entre a cela e a referida sala (Figura 7).



**Figura 7 – Encravamento proteção transformador**

Para tal, é implementada na cela C um sistema de encravamentos que apenas permite a libertação de uma chave “Z” aquando do fecho de ambos os seccionadores de terra. Após o seu fecho e a respetiva libertação da chave, é possível colocar esta chave no canhão “Z” existente na porta da sala de acesso ao transformador e, assim, permitir a sua abertura.

### 3.2.3. INDICADOR DE PRESENÇA DE TENSÃO

Por fim, segundo as normas regulamentares aplicáveis, todas as celas que sirvam como entrada de um quadro, são obrigadas a serem equipadas com um dispositivo que permita ao utilizador a identificação de presença de tensão aos seus terminais. Este controlo é feito por meio de uma lâmpada néon ou tecnologia “LED” (uma por fase), ligada ao isolador capacitivo no terminal de ligação de cabos. As soluções existentes no mercado combinam num único dispositivo a indicação de presença de tensão nas três fases, sendo assim constituída por três lâmpadas.

Geralmente, este mesmo equipamento permite ainda uma segunda funcionalidade: a concordância de fases. Para tal, é ainda equipado com três terminais fêmeas (uma por cada fase) para a ligação de aparelhos próprios para este fim e, assim, permitir realizar a verificação de fases entre diferentes celas. A Figura 8 apresenta uma solução possível de ser encontrada no mercado, da marca SCHNEIDER, que integra as duas funcionalidades referidas.



Figura 8 – Indicador de presença de tensão SCHNEIDER [6]

### 3.3. COMPARTIMENTO DE BARRAMENTOS

O compartimento de barramentos, representado a verde na Figura 4, é o compartimento onde se situam os barramentos de média tensão.

Um sistema de barramentos é constituído por 3 conjuntos de barramentos, sendo que cada conjunto se refere a cada fase e que, por sua vez, são percorridos horizontalmente ao longo de todas as celas de um quadro. Estes conjuntos são normalmente feitos de cobre, podendo ser em casos especiais feitos de alumínio.

A figura seguinte (Figura 9), ilustra o modo de instalação e de alinhamento de um sistema de barramentos numa cela de média tensão.



**Figura 9 – Conjunto de 3 barramentos**

### **3.4. COMPARTIMENTO DE BAIXA TENSÃO**

O último compartimento a ser descrito, não apresentado num esquema unifilar, é o compartimento onde está instalado todo o equipamento de baixa tensão e eletrónica pretendido: o compartimento de baixa tensão (CBT).

De uma forma geral, os equipamentos mais requisitados para instalação são os relés de proteção, aparelhos de medida/contagem, detetores de presença de tensão, caixas de ensaio, etc. Estes equipamentos são encastrados na parte frontal destes compartimentos, ficando assim visíveis ao utilizador. Na Figura 10 é possível ver um exemplo de celas de média tensão, do tipo Normafix, da marca EFACEC, com CBT's equipados com relés de proteção da marca GE.



**Figura 10 – Celas de média tensão equipadas com CBT's**

Todos estes equipamentos servem como interface do sistema elétrico com o utilizador, possibilitando toda a interação necessária entre os dois, para garantir o maior controlo possível da rede.

Adicionalmente a estes equipamentos, existe ainda uma grande quantidade de equipamento “invisível” ao utilizador, colocados no interior do CBT e que são fundamentais para o correto funcionamento de todo o sistema, desde cablagem BT, MCB's (disjuntores BT, do inglês “*Miniature Circuit Breakers*”), réguas de bornes, etc.

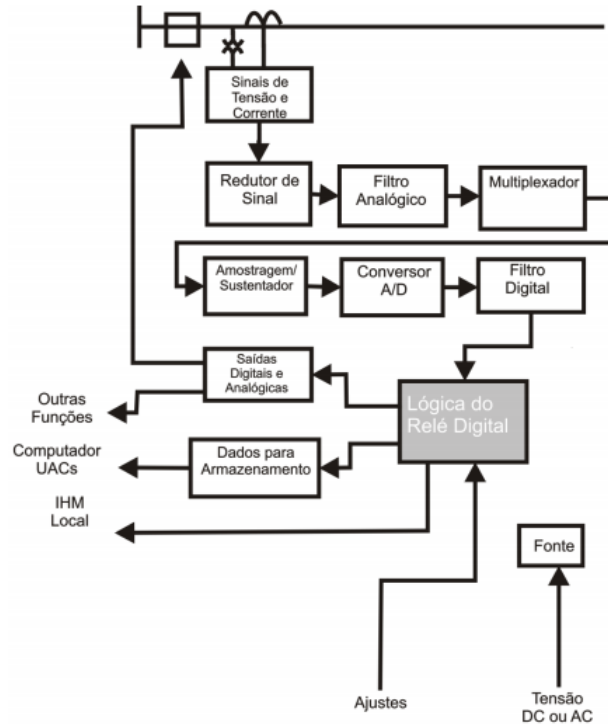
Nos seguintes subcapítulos vão ser apresentados dois dos muitos equipamentos que podem ser instalados: os relés de proteção e os aparelhos de medida.

#### 3.4.1. **RELÉS DE PROTEÇÃO**

Os relés de proteção são equipamentos que, tal como o nome indica, são responsáveis pela proteção do sistema. Estes equipamentos são essenciais num sistema elétrico, visto que são eles que garantem a estabilidade de uma rede e a segurança de todos que trabalham nela.

Para o referido efeito, os relés de proteção são equipamentos que conseguem ler as diferentes grandezas presentes: corrente, tensão, temperatura, sequencias de fase, etc., recorrendo aos TC's e TT's (capítulos 4.1.1 e 4.1.2) para receberem os respetivos valores do sistema.

A informação recebida pelos transformadores de medida é processada eletronicamente através de *softwares* próprios do fabricante que, por sua vez, processam a lógica de proteção através de um algoritmo. A figura seguinte (Figura 11) esquematiza o seu princípio lógico de funcionamento.



**Figura 11 – Princípio de funcionamento de um relé de proteção**

Segundo o documento [16] os blocos apresentados são definidos da seguinte forma:

- “Entrada Analógica: Bloco por onde entram os sinais analógicos das correntes e tensão através dos transformadores de corrente e transformadores de tensão;
- Redutor de Sinal: Produz adaptação dos sinais de entrada ao circuito do relé digital. Neste bloco, transformadores auxiliares produzem o desacoplamento físico entre os circuitos de entrada e de saída;
- Filtro Analógico: De acordo com a necessidade da função requerida, realiza uma filtragem dos sinais indesejados;
- Multiplexador: Faz a multiplexação dos sinais de entrada;
- Amostragem e sustentação (*Sample and Hold*): Faz a preparação dos sinais analógicos em sinais de amostragem por ciclo para a conversão em sinais digitais;
- Conversão A/D: Transforma os sinais amostrados em sinais digitais;
- Filtro Digital: Faz a estabilização dos sinais digitais;

- Lógica do relé: Faz a lógica de operação do relé, a qual depende do algoritmo aplicado e da função de proteção desejada. Este bloco pode conter entradas digitais capazes de alterar a lógica de proteção do relé informando, por exemplo, o estado de disjuntores e dos interruptores;
- Saídas digitais e analógicas: São destinadas a cumprir as funções do relé, podendo estar associadas a alarmes, controles, dados para supervisão, comando para outros relés e, principalmente, comando para abertura de disjuntores;
- Bloco de registo de eventos e oscilografia: Armazena dados necessários para efetuar análise do desempenho da atuação da proteção e das condições do sistema durante a ocorrência da falha;
- Interface Homem-Máquina: Dependendo do relé de proteção, pode ser realizada diretamente no aparelho, através de um computador local ou de maneira remota.”

As funções de proteção que se podem parametrizar são inúmeras. Para esse efeito, existe disponível uma tabela com a codificação de todas as proteções, denominada por Tabela ANSI (ver Anexo A). Para cada projeto, o cliente define quais as funções que pretende; depois, consulta os diversos fornecedores; e, por fim, face a todas as soluções presentes no mercado, chega a uma decisão que consiga satisfazer as suas necessidades.

Entre as funções existentes na tabela referida, podem ser destacadas como mais comuns as seguintes:

- Sobrecorrente instantânea (50)
- Sobrecorrente temporizada (51)
- Sobrecorrente direcional (67)
- Distância (21)
- Proteção diferencial (87)
- Proteção contra sobretensão (59)
- Proteção contra subtensão (27)

Muitas vezes, o grau de complexidade exigido, para um relé de proteção, pode ser bastante elevado, o que torna complicado o seu processo de aquisição. Nestes casos em particular, o cliente deve priorizar as funções, destacando as menos importantes e, assim, excluí-las do seu “caderno de encargos”.

Na Figura 12 está representado um exemplo de um relé de proteção, da marca EFACEC, série TPU. [8]



**Figura 12 – Relé de Proteção EFACEC, série TPU**

#### 3.4.2. APARELHOS DE MEDIDA

Os aparelhos de medida permitem ao utilizador saber o estado atual do sistema elétrico, oferecendo-lhe assim todo o controlo necessário para permitir que o consiga gerir da forma mais conveniente possível.

As grandezas mais comuns de serem medidas são as seguintes:

- Tensão;
- Corrente;
- Potência Ativa;
- Potência Reativa;
- Energia Ativa;
- Energia Reativa;
- Frequência;
- Fator de potência.

Estes aparelhos, tal como os relés de proteção, são conectados aos TC's e aos TT's, dependendo das grandezas que pretendem ser medidas. Por exemplo, para os casos dos amperímetros ou voltímetros, os aparelhos necessitam de ser conectados aos TC's ou aos TTs, respetivamente. Para os casos dos *wattímetros*, para funcionarem, necessitam da informação da corrente e da tensão em simultâneo.

Relativamente às tecnologias utilizadas, podem ser analógicos ou digitais, pelo qual os digitais apresentam a grande vantagem de permitirem apresentar diferentes grandezas num mesmo equipamento.

### 3.5. TIPOS DE APLICAÇÃO

Atualmente, existem no mercado inúmeras soluções de celas de média tensão, distinguindo-se entre si a sua função e/ou tipo de corte.

Como exemplo disso mesmo, retirados do Catálogo *Online* “Aparelhagem de Média Tensão” [4] da empresa EFACEC, a figura abaixo representa alguns desses casos, Figura 13.

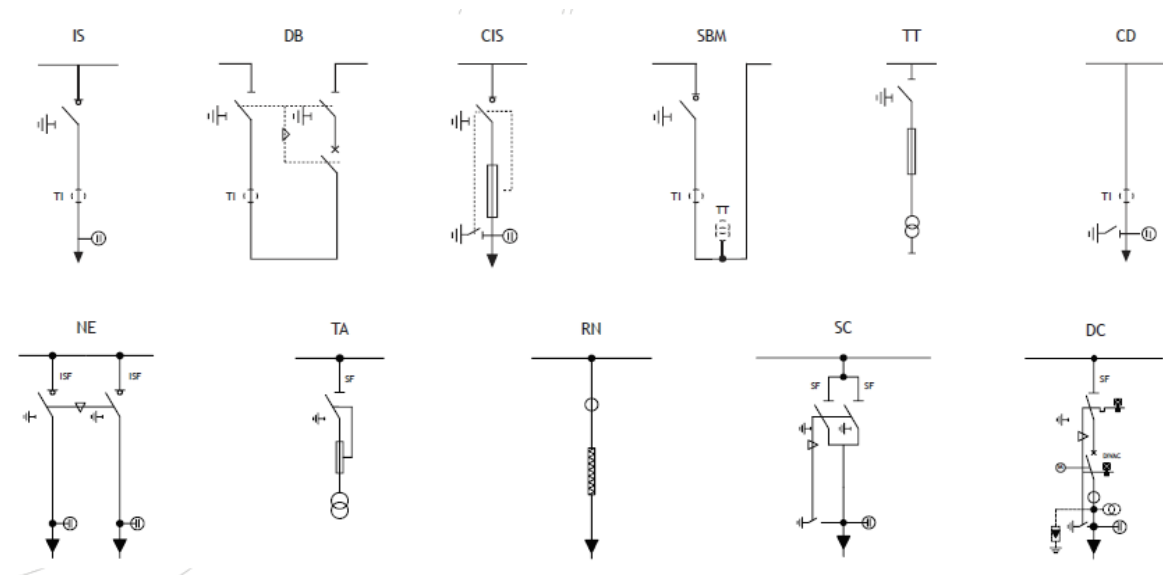


Figura 13 – Tipos de aplicação

- **Nº 1 – Cella IS**

Principal função: Entrada/Saída e Seccionamento

Tipo de corte: 1 Interruptor-Seccionador

- **Nº 2 – Cella DB**

Principal função: Proteção e Seccionamento de interbarras

Tipo de corte: 1 Disjuntor e 2 Interruptores-Seccionadores a montante e a jusante do disjuntor

- **Nº 3 – Cella CIS**

Principal função: Proteção de Transformador

Tipo de corte: 1 Interruptor-Seccionador e 1 Fusível

- **Nº 4 – Cella SBM**

Principal função: Seccionamento de interbarras

Tipo de corte: 1 Interruptor-Seccionador

- **Nº 5 - Cella TT**

Principal função: Medição de Tensão no Barramento

Tipo de corte: 1 Seccionador

- **Nº 6 – Cella CD**

Principal função: Entrada/Saída Direta

Tipo de corte: Sem equipamento de corte

- **Nº 7 - Cella NE**

Principal função: Comutação

Tipo de corte: 2 Interruptores-Seccionadores encravados mecanicamente entre si

- **Nº 8 - Cella TA**

Principal função: Transformador Auxiliar

Tipo de corte: 1 Seccionador e 1 Fusível

- **Nº 9 - Cella RN**

Principal função: Reatância de Neutro

Tipo de corte: Sem equipamento de corte

- **Nº 10 - Cella SC**

Principal função: Entrada/Saída, para correntes superiores a 630 A e até 1250 A

Tipo de corte: 2 Interruptores-Seccionadores

- **Nº 11 – Cella DC**

Principal função: Proteção

Tipo de corte: 1 Disjuntor e 1 Seccionador



# 4. EQUIPAMENTOS DE CORTE

Neste capítulo vai ser apresentado sucintamente o funcionamento e para que serve o interruptor-seccionador, bem como os fusíveis, alguns tipos de disjuntores, e para finalizar o objetivo de qualquer instalação elétrica ter a ligação a terra.

Cada vez mais no sistema elétrico existe mais aparelhos de proteção, que por sua vez estão cada vez mais modernos. É de extrema importância que os equipamentos tenham a funcionalidade de medir/regular toda a atividade da rede, nessa vertente os dispositivos de proteção de manobra sejam de facto muito importantes.

Nas redes de média tensão os aparelhos de manobra muito importantes encontram-se nas linhas aéreas, que são muito utilizados para localizar, isolar e resolver problemas fazendo despiste de defeitos.

Todos os aparelhos de corte têm as suas características e as suas particularidades, vão ser diferenciados consoante as suas características elétricas e mecânicas, mas neste capítulo apenas vai ser abordado os três tipos de aparelhos mais importantes, que são: Interruptores-Seccionadores, Fusíveis, Disjuntores e ligação a terra.

## 4.1. INTERRUPTORES - SECCIONADORES

Os Interruptores-Seccionadores adaptam-se às condições mais exigentes das instalações elétricas. Reúnem as funções interruptor seccionador com comando manual, assegurando ainda o corte e o fecho em carga, o seccionamento de segurança e a proteção contra curto-circuito das instalações elétricas que lhe estejam associadas.

A grande vantagem do interruptor-seccionador (I-S) é pelo facto de ser um aparelho com poder de corte, o que lhe permite ter essa grande vantagem de ser manobrado em carga, ao contrário apenas do seccionador. O importante é que quando existe uma avaria num ponto do QMT, posto de transformação ou mesmo na linha de baixa tensão a jusante, com este

equipamento de corte (interruptor-seccionador) fica muito mais prático proceder a reparação do problema encontrado, visto que é possível abrir o circuito em carga.

Ao contrário, se tivéssemos apenas um seccionador teríamos que acionar o interruptor que se encontrava a montante, para realizar a mesma tarefa.

Os interruptores-seccionadores podem ser utilizados numa em ambiente exterior e interior. Para o âmbito exterior, por exemplo para postos de transformação, são montados na vertical; para âmbito interior, relativamente aos QMTs, são montados na horizontal. A figura seguinte (Figura 14) representa um exemplo de um interruptor-seccionador para utilização em QMTs, instalado dentro de uma cuba hermeticamente isolada em SF<sub>6</sub> [11].



**Figura 14 – Exemplo de um interruptor-seccionador**

Os seccionadores e os interruptores-seccionadores são muito parecidos ao nível de construção, embora onde exista maior diferença é nas facas, maxilas e nas hastes. Estas hastes são feitas de modo que o seu fecho e a sua abertura seja muito rápido e eficiente, de forma que os arcos elétricos não se propaguem.

A manipulação dos aparelhos é realizada por um comando igual ao dos seccionadores, mas a velocidade de corte é independente da velocidade de manipulação, isto tudo é possível por causa da mola helicoidal que está em cada polo.

Estes interruptores-seccionadores têm uma característica própria que é o seu poder de corte, que está demonstrado na tabela seguinte.

**Tabela 2 – Características do poder de corte para um interruptor-seccionador**

Tensão Estipulada [kV]	17,5	36
Poder de Corte		
Carga ativa [A]	90	70
Carga em anel fechado [A]	200/400	200/400
Cabos em vazio [A]	10	10
Transformador em vazio [A]	4	2,5
Poder de fecho sob curto-circuito [kA]	25	20

É ainda importante referir que é sempre necessário realizar a manutenção preventiva destes aparelhos de corte, para garantir o seu perfeito funcionamento. Desse modo é necessário realizar os seguintes passos: Limpeza geral (principalmente nas “saias” dos isoladores, Alinhamento entre as facas e as maxilas, Afinação das partes móveis, Afinação das hastes de extinção, Lubrificação, Aperto das maxilas, Substituir qualquer material que tenha já um certo desgaste ou alguma fissura/defeito e por fim verificar a ligação do condutor de terra, bem como a sua medição da resistência de terra de proteção [12].

#### **4.2. FUSÍVEIS**

Os fusíveis são equipamentos de corte capazes de suportar correntes de curto-circuito e de sobrecarga de longa duração.

Estes equipamentos são constituídos por um filamento que, por efeito de Joule, se funde aquando do aparecimento de uma corrente superior àquela a que está dimensionado.

A principal vantagem deste equipamento de corte é a de ser bastante mais económico que outros equipamentos de corte. Contudo, apresenta a grande desvantagem de necessitar de ser substituído sempre que atuar perante uma determinada falha.

### 4.3. DISJUNTORES

O disjuntor é um dispositivo que tem a capacidade de abrir o circuito elétrico automaticamente quando a intensidade da corrente é maior que a capacidade do circuito.

O facto deste equipamento possuir um rearme rápido e fácil de execução, permite que o sistema consiga voltar ao seu funcionamento normal de forma célere, destacando assim a grande vantagem dos disjuntores face aos fusíveis.

No mercado, existem diferentes classificações sobre os disjuntores, pelo que de acordo com o modo de extinção do arco elétrico podem ser divididos pelos seguintes:

- Disjuntor a Óleo;
- Disjuntor a Ar;
- Disjuntor a SF6;

#### 4.3.1. DISJUNTORES A ÓLEO

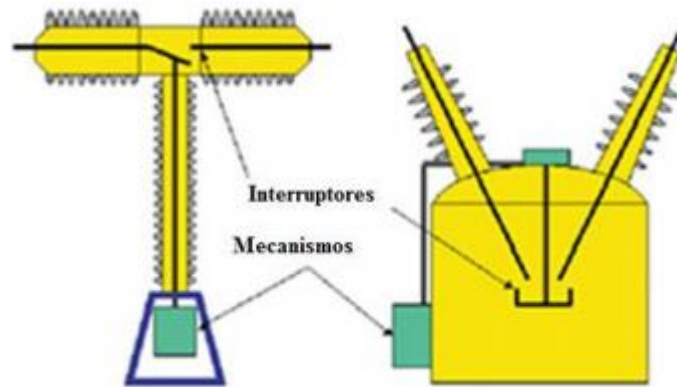
Nestes disjuntores existe dois tipos de efeitos de extinção do arco elétrico que é o efeito de fluxo líquido e o efeito de hidrogénio.

- O efeito fluxo líquido é impulsionar o óleo frio sobre o arco elétrico, dessa forma proporcionando a continuação ao processo de evaporação, conseguindo assim retirar grandes quantidades de calor desses gases resultantes. O efeito fluxo líquido pode acontecer de forma espontânea com a diminuição de corrente ou com recurso a dispositivos mecânicos.
- O efeito de hidrogénio existe devido a alta temperatura que faz com que se crie vários gases, onde o hidrogênio é o gás predominante. Devido a sua predominância o arco elétrico vai queimar numa atmosfera de hidrogénio, visto que a condutividade térmica deste gás é elevada.

Esta nova tecnologia veio trazer grandes avanços, principalmente na redução do número de interruptores. A grande vantagem é que a manutenção pode ser realizada ao ar livre após aberto o circuito, embora seja uma operação simples é necessário ser com alguma frequência.

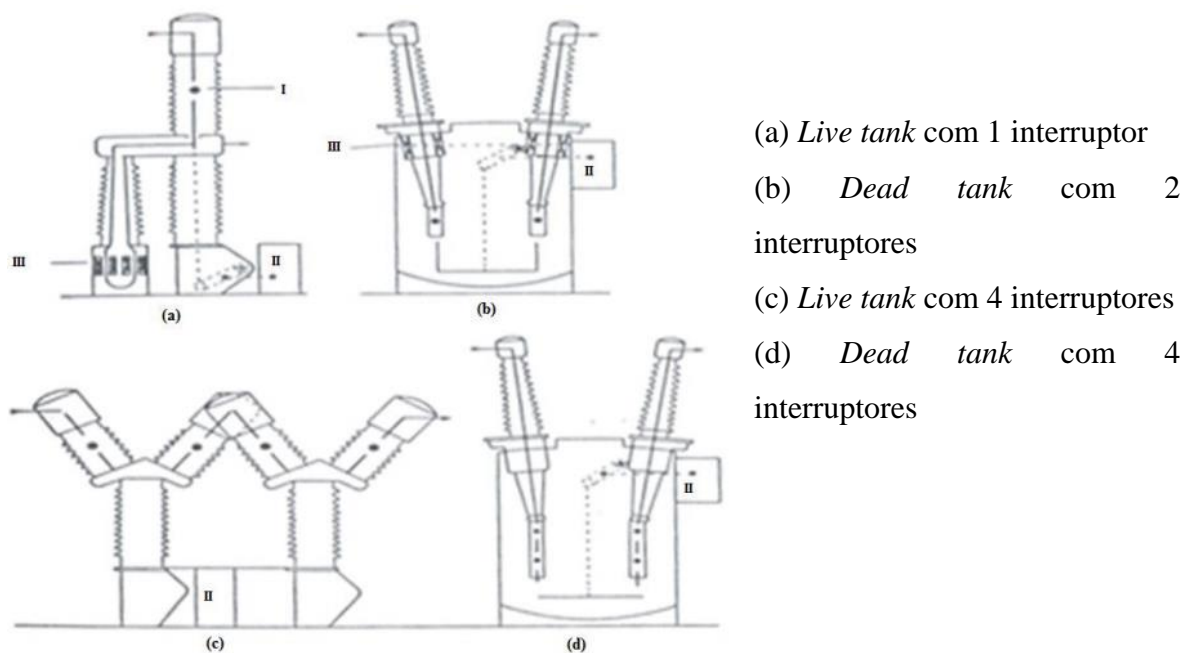
Em relação aos disjuntores a óleo sabemos também que estes estão mergulhados no óleo isolante. No momento da manobra, o hidrogênio é libertado devido as altas temperaturas, este fator dá origem a um grande fluxo de óleo que alonga o arco elétrico criado, que vai arrefecer os contactos e provoca a desionização no dielétrico.

Existe duas categorias onde o recipiente que contem o óleo pode estar. Temos o *dead tank*, representado pela imagem do lado direito da Figura 12, que é o recipiente metálico onde contém o óleo que está enterrado, e o *live tank*, representado pela imagem do lado esquerdo da Figura 15, é o recipiente que está isolado da terra.



**Figura 15 – Representação dos disjuntores a óleo com *live tank* e *dead tank***

Conforme a tensão necessária vai ser instalado o disjuntor mais adequado e dessa forma define-se a quantidade de interruptores instalados no equipamento. Na Figura 16 é possível visualizar quatro tipos de disjuntores a óleo, nomeadamente o *live tank* com um interruptor, *dead tank* com dois interruptores, *live tank* com quatro interruptores e o *dead tank* também com quatro interruptores, respetivamente.



**Figura 16 – Vários exemplos de disjuntores a óleo, *live tank* e *dead tank***

Este óleo tem boas capacidades dielétricas e boas propriedades térmicas condutoras. É preciso assegurar que o óleo não tem impurezas presentes, logo são necessárias análises recorrentes ao óleo para assegurar o desempenho ideal do disjuntor.

As impurezas, nomeadamente de carbono, são criadas com maior facilidade a seguir a extinção de correntes de pico de curto-circuito devido a formação de arcos elétricos. Querendo manter sempre um bom arrefecimento do óleo e a estabilidade de oxigénio, é preciso ter cuidado na formação de ácidos e impurezas que por sua vez devem ser minimizadas.

O óleo deve ser seco e filtrado antes do seu uso, a sua viscosidade varia bastante com a temperatura e com a pressão do gás que pode ser de um bar até as centenas de bares.

Os disjuntores a óleo têm assegurado anos de serviço, e ainda hoje são igualmente eficazes em relação a extinção de arcos elétricos. No entanto, hoje em dia este tipo de disjuntores a óleo tornaram-se obsoletos, visto que é necessário realizar algumas manutenções de forma a assegurar a qualidade do óleo [13].

#### 4.3.2. DISJUNTORES A AR COMPRIMIDO

Estes disjuntores a ar comprimido estão disponíveis para todos os níveis de tensão e para correntes de curto-circuito até 100 kA. A construção é bastante simples, uma vez que é utilizado ar comprimido para eliminar os arcos elétricos, e a sua ventilação é muito importante, bem como a sua manutenção, visto que estão dimensionados para interromper correntes de curto-circuito em número limitado.

A grande desvantagem destes disjuntores é de provocarem um ruído elevado, pelo que se evita a sua instalação perto de zonas urbanas, optando-se assim em utilizá-los, por exemplo, em subestações.

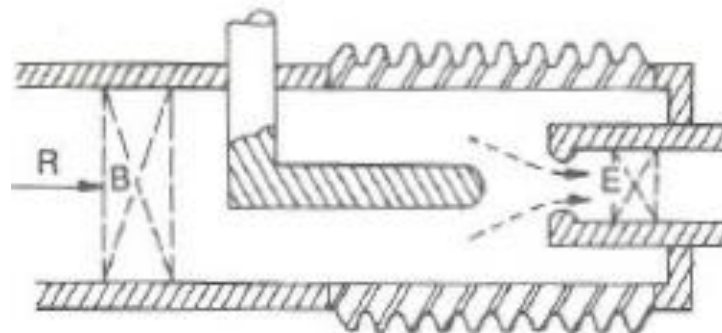
A obrigatoriedade de ser necessária uma central de armazenamento de ar comprimido é também outro fator negativo, devido à manutenção preventiva que tem que ser efetuada.

Relativamente à construção dos disjuntores atuais a ar comprimido, usam por norma o princípio de sopro axial, que podemos dividir em duas categorias:

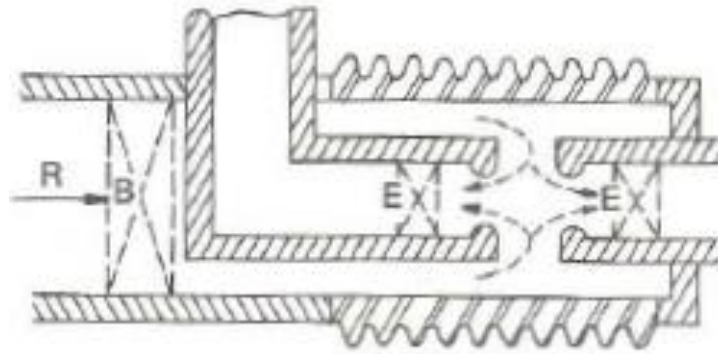
- O sistema de sopro unidirecional;
- O sistema de sopro bidirecional;

O sopro unidirecional, somente um dos contactos é oco, facilitando assim a saída do ar após a extinção somente numa direção.

O sopro bidirecional é em ambos os contactos, fixo e móvel, são ocos, e o arco elétrico expande-se nas duas direções (ver Figuras 17 e 18).



**Figura 17 – Sistema com sopro unidirecional**

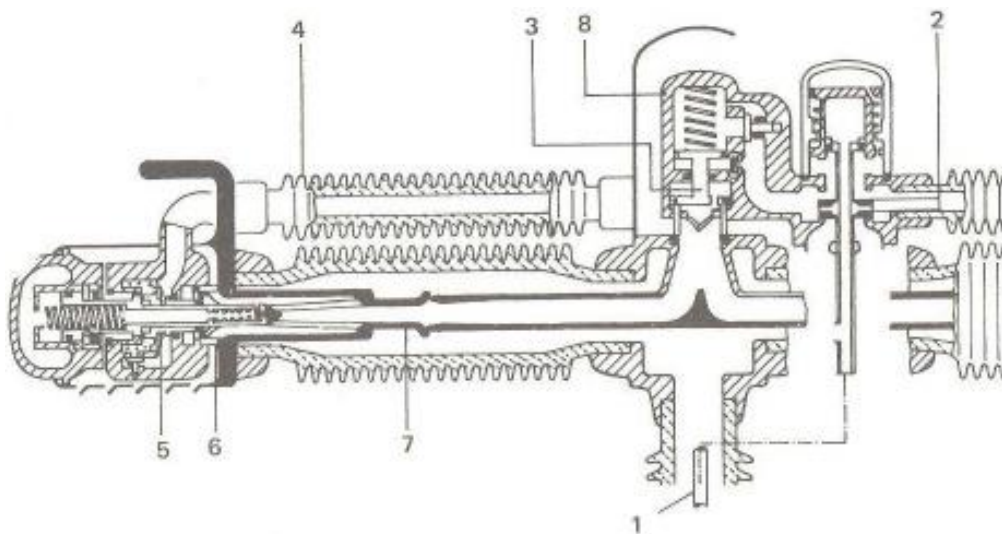


**Figura 18 – Sistema com sopro bidirecional**

Legenda das Figuras 17 e 18:

- R) Suprimento de ar comprimido
- E) Válvulas de escape a jusante
- B) Válvulas de sopro a montante

Na Figura 19 é possível ver uma unidade interruptora com um disjuntor a ar comprimido para tensões elevadas:



**Figura 19 – Disjuntor a ar comprimido para tensões elevadas**

O funcionamento desta unidade interruptora é procedido da seguinte forma:

A vareta principal nº1 é colocada para cima, acionando a válvula de controlo nº2 que abre o ar comprimido para o êmbolo da válvula nº3 e para o tubo nº4. O tubo acionado à válvula de

escape nº5 e pelo contacto nº7, ao mesmo tempo liberta o ar comprimido do interior da câmara para o exterior pelo nº6 e nº3.

Desta forma são criadas diferentes pressões dentro da câmara, que por sua vez vão provocar um fluxo de ar desionizado e frio que é devido ao contacto nas duas direções (válvula nº2 e válvula nº3 estão em sentido opostos). Existe duas etapas para a abertura de contactos, a primeira para a extinção do arco, e após algum atraso do fecho das válvulas de escape e sopro, na segunda etapa é onde os contactos atingem a posição final de abertura.

Podemos aplicar os disjuntores de ar comprimido em todo o tipo de tensões, mas são mais direccionados para serem aplicados em alta e muito alta tensão.

Vantagens dos disjuntores a ar comprimido:

- É possível ajustar a capacidade de interrupção e propriedades de isolamento, variando assim a pressão do ar comprimido;
- Os disjuntores são muito rápidos e são capazes de atuar em muito alta tensão, isto porque o mecanismo é relativamente leve, e a mobilidade exterior tem a capacidade que seja canalizado o acionamento dos contactos principais.

Desvantagens dos disjuntores a ar comprimido:

- Elevado custo do sistema de ar comprimido, principalmente nas instalações pequenas onde cada disjuntor tem a sua unidade geradora como um reservatório de alta pressão;
- Existe muitas distribuições de ar comprimido em alta pressão por toda a subestação, o que gera manutenções recorrentes;
- Visto que são disjuntores ruidosos, é preciso nas áreas urbanas o uso obrigatório de silenciadores para os disjuntores.

#### **4.3.3. DISJUNTORES A VÁCUO**

Os primeiros disjuntores a vácuo começaram a ser produzidos na década de 1970, tendo tido uma grande receptividade na média tensão. Apesar de serem conhecidas as propriedades do vácuo como meio isolante, a produção dos disjuntores a vácuo só se iniciou nesta altura

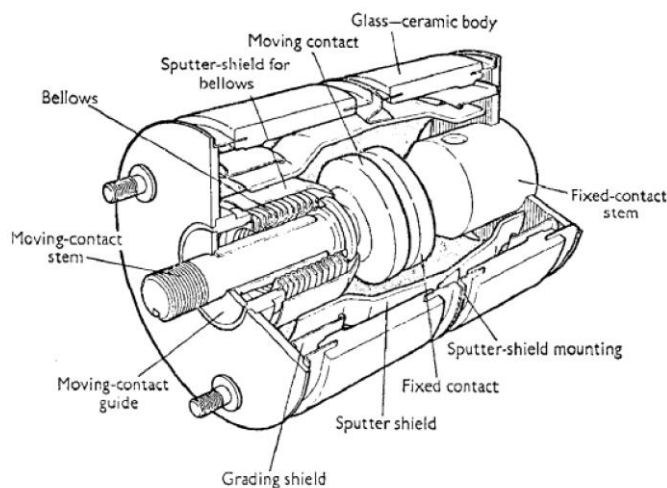
devido às dificuldades técnicas associadas. A possibilidade de estabelecer um arco elétrico no vácuo é algo que levanta muitas dúvidas.

A origem do arco elétrico pressupõe a existência de elétrons e íons positivos que lhe sirvam de suporte, e à partida, não existe a possibilidade de encontrar tais partículas no vácuo. Contudo, nos disjuntores a vácuo, os elétrons e íons positivos são fornecidos pelo vapor de partículas metálicas provenientes da evaporação dos contactos. Após a interrupção da corrente as partículas metálicas depositam-se e recupera-se a rigidez dielétrica. A interrupção de correntes de curto-circuito envolve a formação de um caminho condutor entre os contactos que se tornam rapidamente isolantes. Quando a corrente atinge o valor nulo quer dizer que o arco é extinto.

O vapor metálico condutor condensa nas paredes metálicas no interior dos tubos em vácuo em apenas uns ms e a rigidez elétrica é restaurada formando-se um circuito aberto. [7] As blindagens previnem que depósitos de vapor metálico provoquem uma redução na rigidez dielétrica do disjuntor de vácuo.

Os tempos de formação de arco são de cerca de 10ms a 50Hz. Para evitar um calor excessivo, o sistema está dimensionado para permitir que o arco se desloque para diferentes locais da superfície de contacto, usando para isso o seu próprio campo magnético e usando materiais de contacto especiais.

Desta forma, a corrente e as respetivas tensões transitórias são evitadas exceto nos níveis mais baixos de correntes. O tempo de vida destes dispositivos é bastante longo, (normalmente têm uma vida útil de 20000 interrupções e algumas centenas de operações de curto circuito) até que seja necessário substituir o equipamento. A Figura 20 mostra um disjuntor a vácuo [14].



**Figura 20 – Disjuntor a vácuo 11 kV**

As vantagens dos disjuntores a vácuo são as seguintes:

- Isolamento completo do disjuntor da atmosfera exterior e dos seus contaminantes.
- O facto de não ter óleo reduz o risco de incêndio.
- De um modo geral a manutenção destes equipamentos é reduzida.
- O equipamento tem um volume reduzido.
- Se necessário também podem incorporar fusíveis para aumentar a capacidade de curto-circuito.

#### **4.3.4. DISJUNTORES A SF<sub>6</sub>**

O primeiro disjuntor com isolamento em SF<sub>6</sub>, aplicado em alta tensão, foi desenvolvido em 1953. Antes do aparecimento desta tecnologia, eram os disjuntores a óleo e os disjuntores a ar comprimido que eram utilizados.

O aparecimento desta tecnologia veio trazer benefícios a nível prático e a nível económico, uma vez que permite uma maior procura de exigências e porque necessita de menos manutenção.

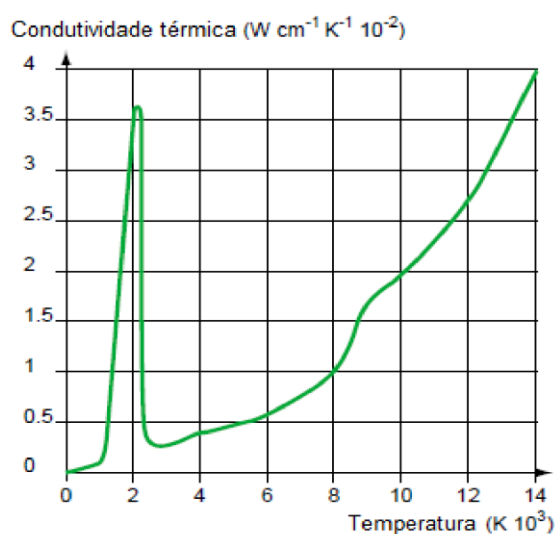
Na Figura 21, é possível observar do lado esquerdo um disjuntor a SF<sub>6</sub> de 145 kV de um polo com uma unidade de interrupção. Do lado direito um disjuntor SF<sub>6</sub> de 420 kV com um polo, mas com duas unidades de interrupção. Uma vez que estes disjuntores utilizam o mecanismo de mola carregada, a energia necessária para a sua operação vai ser menor que a energia necessária para operação de disjuntores a óleo.



**Figura 21 – Disjuntor SF6 145 kV e 420 kV**

Relativamente ao gás SF6, também conhecido por hexafluoreto de enxofre, caracteriza-se por ser, no seu estado mais puro, um gás incolor, inodoro, não é inflamável e insolúvel em água. O SF6 não se mistura com os outros elementos da tabela periódica e é estável com todas as ligações químicas possíveis. Deste modo, ao sofrer disrupções, possui a capacidade de reverter o processo e, assim, regenerar-se.

A condutividade térmica é praticamente idêntica a do ar, contudo a condutividade térmica do SF6 apresenta um pico para a temperatura de decomposição. A Figura 22 é possível ver essa decomposição do gás SF6.



**Figura 22 – Condutividade térmica do gás SF6 relativamente a temperatura**

Este gás SF<sub>6</sub> mostra que tem uma grande diferença relativamente aos outros gases, devido a sua característica pela temperatura do arco na aproximação da corrente igual a zero, consegue dispor de uma condutividade térmica acrescida o que é muito vantajoso na remoção da energia elétrica do arco.

Fazendo a comparação da rigidez dielétrica do SF<sub>6</sub> em comparação com o ar e com o óleo em função da pressão, é possível concluir através da figura abaixo (Figura 23) que o SF<sub>6</sub> possui uma excelente capacidade de isolamento, entre a pressão de 2 a 6 bar, e tem uma rigidez dielétrica 2.5 a 3 vezes mais que o ar a mesma pressão. O gás SF<sub>6</sub> é 5 vezes mais pesado que o ar. A densidade normal deste gás é que apenas só passa para o seu estado líquido, se e só se, encontrar temperaturas muito baixas, depois dos 40 graus negativos, embora o equipamento pode ser construído com aquecedores para prevenir que o gás de transforme em líquido.

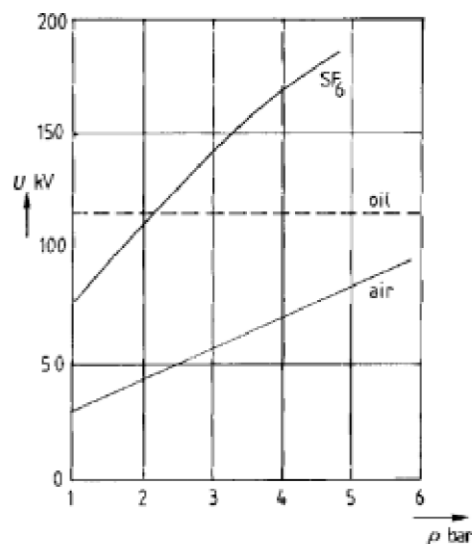


Figura 23 – Comparação da rigidez dielétrica do SF<sub>6</sub>



# 5. APLICAÇÃO PRÁTICA

No presente capítulo serão apresentados dois exemplos de aplicação de quadros / celas de Média Tensão.

- O primeiro exemplo é um projeto tipo de quadro para uma unidade fabril, com o intuito de demonstrar como é feita a seleção dos diferentes elementos, quais os cálculos elétricos necessários para a sua definição e descrição dos encravamentos mecânicos que visam garantir a segurança dos equipamentos e pessoas.
- O segundo exemplo é um quadro BRA, com uma configuração de 4 funções, onde o principal intuito é de fundamentação das características elétricas conforme regem as especificações DMA.

Para este efeito, serão utilizados os modelos das celas fabricadas na empresa EFACEC.

## 5.1. PROJETO TIPO: UNIDADE FABRIL (CLIENTE)

Para ser possível analisar um exemplo de aplicação das celas de Média Tensão na Distribuição Secundária foi idealizado um projeto para alimentação de uma unidade fabril.

Na Figura 24 está representado o esquema unifilar do projeto em questão.

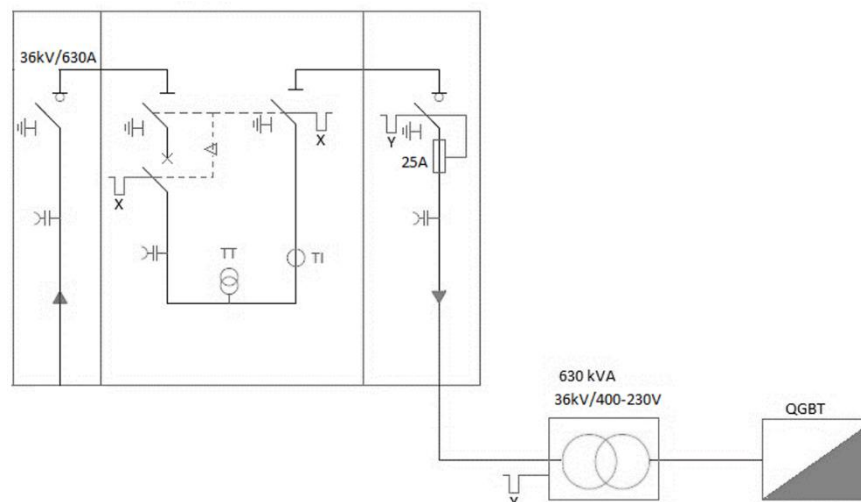


Figura 24 – Projeto tipo - Unidade Fabril

Como passo fundamental neste processo, inicialmente são identificadas as características elétricas gerais da instalação e quais as principais funções necessárias e pretendidas, de forma a ser possível selecionar qual a melhor solução a ser aplicada.

Tal como ilustrado, serão utilizadas 1 cela IS (interruptor-seccionador), 1 cela DB (proteção barramento) e 1 cela CIS (proteção fusível). A primeira cela terá a função de conexão com a rede pública MT e de corte geral. A cela denominada de DB é necessária para proteção do barramento e medida. A última cela será de proteção ao transformador que se encontra a jusante.

#### 5.1.1. **ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA**

##### **1. Rede de Alimentação**

A rede de alimentação será subterrânea a uma tensão de 30 kV e frequência 50 Hz.

##### **2. Aparelhagem de Média Tensão**

###### **a. Características Gerais das Celas**

As células a usar no posto de Transformação serão de construção modular de isolamento no ar e equipadas com interruptor seccionador de corte em SF6. Apresentam uma vida elétrica e mecânica acrescida (classe E3 e M2) e com garantia de resistência ao arco interno. Estarão de acordo com a Norma Internacional IEC 62271-200.

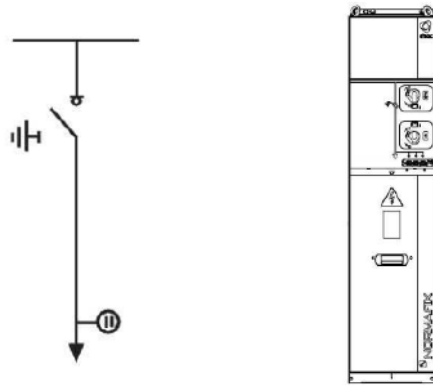
As células serão divididas em três compartimentos separados da seguinte forma:

- Compartimento do Barramento
- Compartimento de Disjuntor, Seccionador, Transformadores de Medida e Cabos
- Compartimento de Baixa Tensão

### 3. Descrição das Celas

#### Cela Interruptor-Seccionador (cela nº 1) – Cela IS [4]

- Barramento tripolar para uma intensidade de corrente nominal de 630 A.
- Um interruptor-seccionador de três posições (aberto, fechado, terra) com isolamento em SF<sub>6</sub>, 630 A, tripolar, com comando manual. Este interruptor assegura a separação física entre o compartimento superior e o compartimento inferior.
- Seccionador de terra integrado com o interruptor-seccionador, com poder de fecho.
- Conjunto de três isoladores condensadores e uma caixa indicadores de presença de tensão.

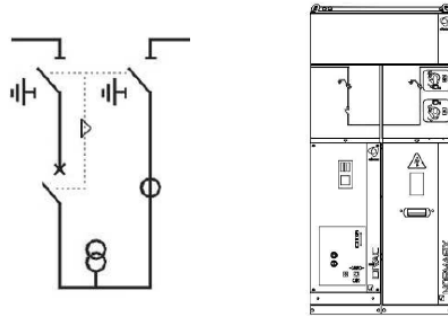


**Figura 25 – Projeto tipo – Celas Interruptor Seccionador**

#### Cela Proteção Geral de Barras e Medida (cela nº 2) – Cela DB [4]

- Barramento tripolar para uma intensidade de corrente nominal de 630 A.
- Dois seccionadores de três posições (fechado, aberto, terra) com isolamento em SF<sub>6</sub>, 630 A, tripolar, com comando manual.
- Disjuntor tripolar de corte.
- Encravamentos intrínsecos entre os interruptores e o disjuntor de forma a proteger a manobra entre os mesmos. Sendo que o interruptor não tem poder de corte, este encravamento permite que apenas seja possível fechá-lo quando o disjuntor estiver fechado.

- Cella equipada com relé de proteção para interligação à rede. Possibilidade de leitura e medição correntes e tensões (modelo TPU S220). [8]
- Cella equipada com três Transformadores de Tensão e três Transformadores de Corrente.



**Figura 26 – Projeto tipo – Cella Proteção Geral de Barras e Medida**

Cela Proteção Fusível (cela nº 3) – Cella CIS [4]

- Barramento tripolar para intensidade nominal de 630 A.
- Interruptor seccionador com três posições (fechado, aberto, terra) com isolamento em SF<sub>6</sub>, 200 A, tripolar, com comando manual. Este interruptor assegura a separação física entre o compartimento superior e o compartimento inferior.
- Conjunto de três isoladores condensadores e uma caixa indicadora de presença de tensão.
- Encravamento por fechadura entre o interruptor e a porta da sala do transformador. Este sistema mecânico permite que seja possível aceder ao transformador de uma forma segura, ou seja, quando este já não se encontra energizado.
- Três fusíveis 36 kV com dimensões definidos pela norma DIN 43625.

#### 4. Definição de características técnicas [9]

Tendo por base as características acima mencionadas, definidas em caderno de encargo, foi realizado um ficheiro em formato Excel que permite definir as características elétricas necessárias no projeto de Média Tensão exposto.

Segue abaixo, Tabela 3, exportada do ficheiro Excel (em anexo).

**Tabela 3 – Características elétricas**

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS		
TENSÃO DE SERVIÇO	30	kV
TENSÃO NOMINAL	36	kV
TENSÃO SUPORTÁVEL À FREQUÊNCIA INDUSTRIAL (50 Hz - 1 MIN)	70	kV
TENSÃO SUPORTÁVEL AO CHOQUE (1,2 / 50 MS)	170	kV
CORRENTE NOMINAL	630	A
INTENSIDADE ESTIPULADA DE CURTA DURAÇÃO	16	kA
TEMPO MÁXIMO ADMISSÍVEL ICC	3	s
VALOR DE CRISTA DA CORRENTE DE CURTA DURAÇÃO ADMISSÍVEL	40	kA
FREQUÊNCIA	50	Hz
TENSÃO DE CIRCUITO AUXILIARES	110	Vcc
TENSÃO DE ENSAIO À FREQUÊNCIA INDUSTRIAL (50 Hz - 1 MIN)	2	kV

Os valores representados a cor verde são valores definidos pelo caderno de encargos. Ou seja, tensão de serviço, que por definição é o valor de tensão que passa num determinado ponto em condições normais, a frequência da rede de distribuição AT e MT e os valores de tensão para circuitos auxiliares.

Os restantes valores foram alvo de cálculo ou análise de tabelas normalizadas.

- **Tensão Serviço / Nominal**

Através das soluções que a EFACEC apresenta em catálogo foi definida uma tabela de associação entre a tensão de serviço fornecida pelo caderno de encargos e a tensão nominal que definirá o projeto. Assim, para efeitos de cálculo no ficheiro Excel, a tabela de relação está representada na Tabela 4.

**Tabela 4 – Relação das tensões**

Tensão Serviço (kV)	Tensão Nominal (kV)
30	36
20	24
15	17,5
10	12

Com esta informação, tendo como definição um projeto com tensão de serviço 30 kV, o valor mais aproximado e adequado é o de 36 kV.

- **Níveis de isolamento (BIL)**

Através da Figura 27, que representa a tabela com os níveis de isolamento nominais presentes na norma IEC 62271-1 é possível verificar quais os valores associados a uma solução de 36 kV de tensão nominal.

Rated voltage $U_r$ kV (r.m.s. value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage $U_d$ kV (r.m.s. value)		Rated lightning impulse withstand voltage $U_p$ kV (peak value)	
	Common value	Across the isolating distance	Common value	Across the isolating distance
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
52	95	110	250	290

**Figura 27 – Níveis de isolamento nominal IEC para tensões nominais**

Após análise da figura acima, os valores correspondentes serão 70 kV e 170 kV.

Tendo em consideração que os níveis de isolamento dependem da altitude a qual o quadro de Média Tensão é instalado, é importante calcular o fator de correção IEC para validar quais os valores máximos atingidos para essas características.

A forma abaixo descreve o método de cálculo do Fator de Correção IEC:

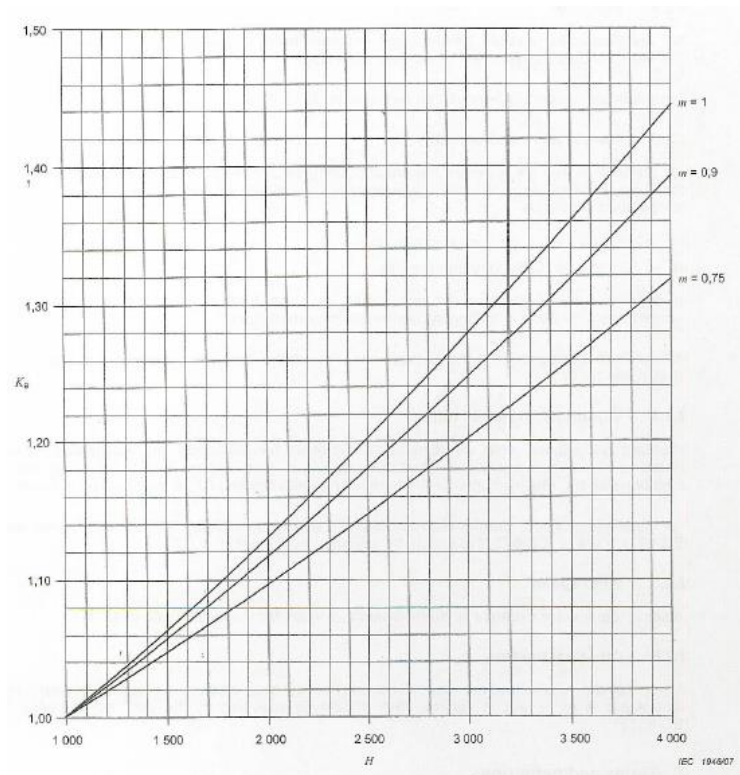
$$Ka = e^{\frac{H-1000}{8150}}$$

$$\Leftrightarrow Ka = e^{\frac{800-1000}{8150}} = 0,9758$$

$Ka$  – Factor de correção de altitude

$H$  – Altitude (m)

A Figura 28 detalha o comportamento do nível de isolamento quando a altitude de instalação do quadro é superior a 1000 m.



**Figura 28 – Evolução  $Ka$  com a altitude (m) [10]**

- **Corrente nominal**

Em conceito, a corrente nominal é definida pela capacidade máxima de corrente elétrica que um determinado aparelho é capaz de suportar sem que os mesmos sejam danificados, garantindo dessa forma um bom funcionamento.

Esta é calculada sobre a seguinte expressão:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * U_c}$$

$I_n$  - Corrente Nominal

$S$  - Potência Aparente

$U_c$  - Tensão Nominal Composta

Dado o exemplo prático utilizado, baseado nas soluções EFACEC, em que os barramentos estão definidos pela escolha das próprias celas, a corrente nominal definida é de 630 A.

- **Valor de crista da corrente de curta duração admissível**

O valor de crista da corrente de curta duração admissível é de 40 kA que é aproximadamente 2,5 vezes a intensidade de corrente estipulada de curta duração admissível.

- **Tensão de ensaio à frequência industrial (50 Hz - 1 min)**

Na figura seguinte (Figura 29) está representada uma tabela que indica os valores recomendados de especificação para a tensão suportável à frequência industrial em equipamentos em BT para instalações MT/BT.

**Tensão suportável à frequência industrial – equipamentos em BT para instalações MT/BT**

	<b>Tensão suportável à frequência industrial</b>	<b>Duração</b>
Entre todos os polos ligados e a massa	10 kV	60 segundos
Entre cada polo e todos os outros polos ligados	2 kV	60 segundos

**Figura 29 – Tensão suportável à frequência industrial [9]**

Desta forma, avaliando a solução, considera-se 2 kV para 60 segundos.

## 5. Dimensionamento dos equipamentos

### a. Transformadores de Medida

#### i. Transformadores de Tensão

3 unidades  $\rightarrow 36000/\sqrt{3} // 110/\sqrt{3} - 110/\sqrt{3}$  V, S1: 15VA 5P; S2: 15VA 0,5

#### i. Transformadores de Corrente

$$S = U * I * \cos \varphi,$$

$$\cos \varphi = 1 \text{ (ideal)}$$

$$\Leftrightarrow I = \frac{630\,000}{36\,000} = 17,5 \text{ A} \cong 20 \text{ A}$$

3 unidades  $\rightarrow 20 / 5-5$  A, S1: 15VA 5P; S2: 15VA 0,5

### b. Fusíveis

Dimensionamento de fusíveis tem por base o transformador que terá instalado a jusante da cela. Neste caso, as características desse transformador são 630 kVA, 36kV/400-230V.

Para este efeito foi consultada a figura abaixo (Figura 30), na qual apresenta a tabela de seleção dos fusíveis presente no manual do produto Normafix. [17]

Potencia Trafo kVA	Tensión primaria del Transformador					
	10/11 kV	13.8 kV	15kV	20kV	24/25 kV	30 kV
	Corriente nominal (A) $I_N$ (**)					
100	16	10	10	10	10	10
125	16	16	10	10	10	10
160	20	16	16	16	10	10
200	25	20	16	16	16	10
250	31.5	25	20	16	16	10
315	40	31.5	25	20	20	16
400	50	40	31.5	25	25	16
500	63	50	40	31.5	31.5	20
630	80	63	50	40	40	25
800	100	80	63	50	50	31,5
1000	125	100	80	63	63	40
1250	160	125	100	80	80	50
1600	160	(*)	125	100	(*)	(*)
2000	250	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

Figura 30 – Projeto tipo – Dimensionamento de fusíveis

3 fusíveis  $\rightarrow 25$  A

## 5.2. PROJETO TIPO: EDP - BRA (DISTRIBUIDOR)

Como segundo exemplo prático de aplicação das celas de Média Tensão, o presente subcapítulo irá apresentar um BRA de 4 funções (Figura 31), constituído por 3 funções/celas IS (interruptor-seccionador) e 1 função/cela CIS (proteção fusível).

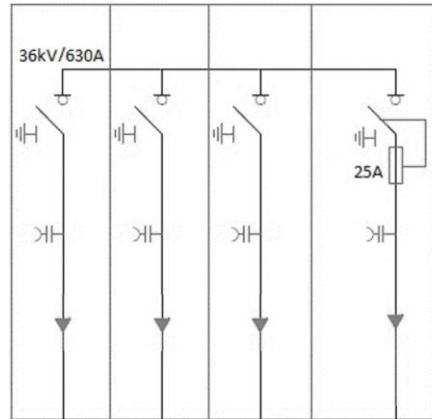


Figura 31 – BRA de 4 funções

A EDP Distribuição, para além da configuração apresentada anteriormente, possui também outras configurações disponíveis: BRA de 1 função, BRA de 2 funções e BRA de 3 funções.

Todas as configurações BRA, normalizadas pela EDP, servem para fazer a ligação de uma determinada carga à rede pública e são instaladas em Postos de Transformação de Distribuição Pública da EDP Distribuição. Aplicando este conceito ao caso prático definido nesta dissertação, a Figura 32 representa o tipo de ligação entre a rede pública e a rede privada (neste caso, a unidade fabril).

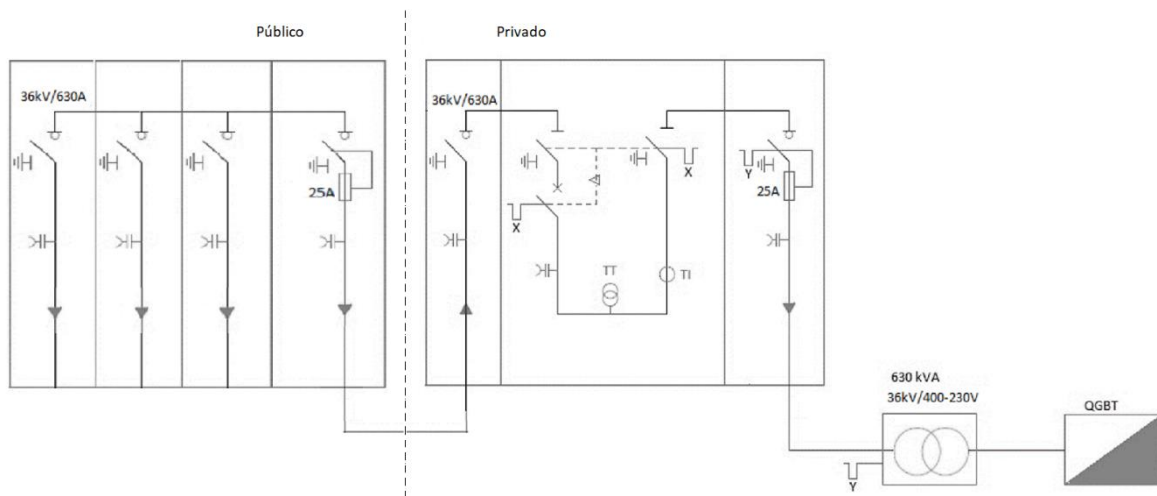


Figura 32 – Interligação Público - Privado

A EDP criou uma especificação própria, de forma a estabelecer as condições, no que respeita à conceção, construção, características estipuladas e ensaios, que essas configurações devem satisfazer. Esta especificação referida é a DMA C64-420. [15]

Conforme já referido anteriormente, existem múltiplas configurações normalizadas. Todas elas podem ser constituídas por dois tipos de funções básicas: a função “Anel” e a função “Proteção de Transformador”. Relacionando estas referências com as descrições já efetuadas no subcapítulo anterior, entende-se função “Anel” como sendo cela Interruptor-Seccionador (cela IS) e a função “Proteção de Transformador” como sendo cela Proteção Fusível (cela CIS). [15]

Deste modo, a função “Anel” destina-se a estabelecer a ligação do BRA à rede de MT e é equipada por um interruptor-seccionador. A função “Proteção de Transformador” destina-se a estabelecer a ligação e a proteger a rede privada. [15]

#### 5.2.1. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

##### 1. Rede de Alimentação

A rede de alimentação será subterrânea a uma tensão de 30 kV e frequência 50 Hz.

##### 2. Aparelhagem de Média Tensão

###### a. Características Gerais das Celas

As funções que incorporem interruptores-seccionadores e respetivos seccionadores de terra, deverão conter estruturalmente compartimentos únicos para esses aparelhos. Esse compartimento deverá ser constituído por uma cuba metálica estanque (sistema de pressão selado, segundo a norma IEC 62271-200) e cheia de SF<sub>6</sub> sob pressão. O valor deve ser inferior a 1,5 bar.

Deve ser considerado a instalação de um dispositivo indicador de pressão.

Para cada função deve existir um compartimento de ligação de cabos.

### 3. Definição de características técnicas [15]

Relativamente às características elétricas, estas estão definidas nas especificações DMA (que, por sua vez, são baseadas nas normas IEC). A Tabela 5 apresenta essas mesmas características.

**Tabela 5 – Características elétricas, estabelecidas na DMA C64-420**

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS		
TENSÃO DE SERVIÇO	30	kV
TENSÃO NOMINAL	36	kV
TENSÃO SUPORTÁVEL À FREQUÊNCIA INDUSTRIAL (50 Hz - 1 MIN)	70	kV
TENSÃO SUPORTÁVEL AO CHOQUE (1,2 / 50 MS)	170	kV
CORRENTE NOMINAL	400	A
INTENSIDADE ESTIPULADA DE CURTA DURAÇÃO	8	kA
TEMPO MÁXIMO ADMISSÍVEL ICC	3	s
VALOR DE CRISTA DA CORRENTE DE CURTA DURAÇÃO ADMISSÍVEL	20	kA
FREQUÊNCIA	50	Hz
TENSÃO DE CIRCUITO AUXILIARES	48	Vcc
TENSÃO DE ENSAIO À FREQUÊNCIA INDUSTRIAL (50 Hz - 1 MIN)	2	kV

- **Tensão Serviço / Nominal**

Para o caso prático, será aplicada a tensão de serviço será 36 kV. Com isto, é possível verificar através das Figuras 33 e 34, a tensão associada e estipulada para instalações EDP terá de ser de 30 kV.

<b>Tensão nominal da rede (kV)</b>	10	15	30
<b>Tensão mais elevada da rede (kV)</b>	12	17,5	36
<b>Frequência da rede (Hz)</b>	50		
<b>Número de fases da rede</b>	3		
<b>Regime de neutro</b>	- à terra, por impedância limitadora a 1000 A ou 300 A	- à terra, por impedância limitadora a 1000 A ou 300 A - neutro isolado	- à terra, por impedância limitadora a 1000 A ou 300 A - neutro isolado

**Figura 33 – Características da rede [DMA-C64-420, ponto 4]**

Requisito	Descrição
R 5 - ELE	A tensão estipulada será uma das seguintes <sup>2)</sup> : — 12 kV, para as redes de 10 kV; — 17,5 kV, para as redes de 15 kV; — 36 kV para as redes de 30 kV.

Figura 34 – Tensão estipulada [DMA-C64-420, ponto 5.2]

- **Níveis de Isolamento (BIL)**

Tendo por base o estipulado pelas especificações DMA, apresentadas na Figura 35, com uma tensão estipulada de 36kV o valor de crista será de 170 kV e o valor eficaz 70 kV.

Tensão estipulada (valor eficaz) [kV]	Valor estipulado da tensão suportável ao choque atmosférico (valor de crista) [kV]		Valor estipulado da tensão suportável à frequência industrial, durante 1 minuto (valor eficaz) [kV]	
	- à terra, entre polos e entre terminais da aparelhagem de ligação na posição "aberto"	- sobre a distância de seccionamento	- à terra, entre polos e entre terminais da aparelhagem de ligação na posição "aberto"	- sobre a distância de seccionamento
12	75	85	28	32
17,5	95	110	38	45
36	170	195	70	80

Figura 35 – Níveis de isolamento [DMA-C64-420, ponto 5.3]

- **Corrente nominal**

A solução EDP utilizada para este caso prático, conforme já referido, terá três funções “Anel” e uma função “Proteção de Transformador”. Através da análise da Figura 36, são definidas as correntes de barramento e por cada função a ser aplicadas, ou seja, 400 A.

Parte do BRA	Tensão estipulada		
	12 kV	17,5 kV	36 kV
Barramento	400	400	400
Função “Anel”	400	400	400
Função “Proteção de Transformador”	100	63	40
Função “Medição de energia em MT”	400	400	400

Figura 36 – Correntes de serviço [DMA-C64-420, ponto 5.4]

- **Valor de crista da corrente da curta duração admissível**

Por definição, à semelhança do estipulado na solução do quadro MT particular presente no ponto 5.1, o valor de pico corresponde a 2,5 vezes do valor de corrente de curta duração.

$$I_p = I_{CC} * 2,5$$

$I_p$  – Corrente de pico

$I_{CC}$  – Corrente de Curta Duração

Utilizando os valores normativos da Figura 37, com um valor de tensão 36 kV, a corrente de curta duração ( $I_{cc}$ ) corresponde a 8 kA e conseqüentemente o valor de pico ( $I_p$ ) será 20 kA para 3 s.

Tensão estipulada [kV]	Valor eficaz da corrente estipulada de curta duração (3s) [kA]	Valor de pico da corrente estipulada de curta duração [kA]
12	16	40
17,5	12,5	31,5
36	8	20

Figura 37 – Níveis de isolamento [DMA-C64-420, ponto 5.5]

#### 4. Dimensionamento dos equipamentos

##### a. Fusíveis

O fusível que será aplicado na função “Proteção de Transformador” deverá ter em conta a tensão nominal do transformador e a potência nominal do mesmo. Pela Figura 38, validando as características do transformador, o fusível terá um calibre de 25 A.

Tensão nominal do transformador (kV)	Tensão estipulada do fusível (kV)	Potência nominal do transformador (kVA)				
		160	250	400	630	1000
Calibres dos fusíveis (A)						
10	12		31,5	40	63	100
15	24	16	20	25	50	63
30	36	6,3	10	16	25	40

Figura 38 – Correspondência entre os fusíveis MT e o transformador [DMA-C64-210, Anexo A]

## **5. Comando - Motorização**

Por definição e obrigatoriedade indicada na DMA C64-420, todas as funções que incorporem interruptor-seccionador constituintes dos BRA (como funções de “Anel” e outras saídas MT, incluindo as saídas para PT clientes) deverão ser motorizadas. Ou seja, conter comando manual e elétrico. Os motores devem funcionar a uma tensão contínua de 48 Vcc. [DMA-C64-420, ponto 9.2]



## 6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente relatório teve como principal objetivo a abordagem de aspetos teóricos e práticos sobre Aparelhagem de Média Tensão, com maior foco na vertente de Quadros de Média Tensão. Foi realizada uma descrição aprofundada de conceitos teóricos adjacentes a este tema, bem como uma demonstração na sua aplicabilidade na prática através de dois exemplos tipo. Foi também criada uma folha de cálculo de apoio à tomada de decisão da melhor solução a considerar para cada caso prático.

Como foi descrito no relatório, os QMT são equipamentos que necessitam de oferecer garantias a nível de segurança para com a instalação e para com as pessoas intervenientes nas funções de operação e manutenção. Necessitam também de ser construídos de modo a oferecer ao utilizador manobras simples e funcionais.

Graças à evolução tecnológica dos sistemas elétricos de energia, estes equipamentos têm também vindo a sofrer importantes otimizações, tornando-os assim mais flexíveis, com mais possibilidades de controlo remoto e que incluísse um maior número de pontos de medida. Adicionalmente, esta evolução veio também trazer benefícios a nível de manutenção, uma vez que são cada vez mais livres de manutenção e que são construídos de forma a serem capazes de operar em diversas condições meteorológicas.

Relativamente a trabalhos futuros, o presente tema poderá ser alvo de aprofundamento na demonstração de como é feita a conceção de um QMT.

O aprofundamento deste assunto tinha como objetivo a apresentação ao leitor de todos os tipos de materiais que se devem utilizar nos QMT; relacionar as dimensões dos equipamentos com os níveis de tensão de serviço, tendo por base o conceito de rigidez dielétrica; aprofundar a temática dos barramentos consoante os níveis de corrente; explicar como é feita toda a instalação/ligação de componentes BT; entre outros temas relevantes.



## *Referências Documentais*

- [1] Canpeng MA, Bertrand CABARET, Gilles MOESCH, Juan TOBIAS, “Innovative mv switchgear for today’s applications”, China International Conference on Electricity Distribution, Shanghai, 2012
- [2] Jean-Marc Biasse, “What will MV Switchgear look like in the future”, Schneider Electric, 2013.
- [3] <https://paginas.fe.up.pt/~ee97153/TI22.htm>
- [4] “Aparelhagem de Média Tensão”, Portefólio de Soluções, EFACEC
- [5] <https://selinc.com/pt/products/tables/ansi/>
- [6] “Easergy VIPS V2”, Schneider Electric
- [7] McGraw-Hill, “Tata Handbook of Switchgear”, The McGraw-Hill Companies, Inc., 200
- [8] “Relés de Proteção e Controlo – Guia de Seleção”, EFACEC
- [9] “Instalações Elétricas - Condições de serviço e características gerais da rede de distribuição em AT, MT e BT”, D00-C10-001/N, EDP Distribuição
- [10] IEC 62271-1, “High-voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear”, 2017
- [11] <https://paginas.fe.up.pt/~ee07373/referencias.html>
- [12] Stan Stewart, “Distribuiton Switchgear”, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2004
- [13] Colin Bayliss and Brian Hardy, “Transmission and Distribuiton Electrical Engineering”, 3rd edition Elsevier Ltd, 2007
- [14] <https://universoeletrico.wordpress.com/2016/10/13/disjuntores-a-sopro-pneumatico/>
- [15] DMA C64-420, “Materiais para Redes – Aparelhagem AT e MT, Blocos para Redes em Anel (BRA), Características e Ensaios”, Edição 7, 2020
- [16] “Avaliação de Desempenho de Relés de Proteção Digitais”, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012
- [17] “NORMAFIX – Manual de Instruções”, EFACEC



## Anexo A. Tabela de Funções de Proteção ANSI

Neste anexo são apresentadas todas as funções de proteção que podem ser definidas num relé de proteção [5]:

<b>Funções de Proteção</b>	
<b>Nr.</b>	<b>Descrição</b>
1	Elemento Principal
2	Relé de partida ou fechamento temporizado
3	Relé de verificação ou interbloqueio
4	Contator principal
5	Dispositivo de interrupção
6	Disjuntor de partida
7	Relé de taxa de variação
8	Dispositivo de desligamento da energia de controle
9	Dispositivo de reversão
10	Chave comutadora de sequência das unidades
11	Dispositivo multifunção
12	Dispositivo de sobrevelocidade
13	Dispositivo de rotação síncrona
14	Dispositivo de subvelocidade
15	Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade e/ou frequência
16	Dispositivo de comunicação de dados
17	Chave de derivação ou descarga
18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	Contator de transição partida-marcha
20	Válvula operada eletricamente
21	Relé de distância
22	Disjuntor equalizador
23	Dispositivo de controle de temperatura
24	Relé de sobreexcitação ou Volts por Hertz
25	Relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26	Dispositivo térmico do equipamento
27	Relé de subtensão
28	Detector de chama
29	Contator de isolamento
30	Relé anunciador
31	Dispositivo de excitação
32	Relé direcional de potência
33	Chave de posicionamento
34	Dispositivo master de sequência
35	Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores

36	Dispositivo de polaridade ou polarização
37	Relé de subcorrente ou subpotência
38	Dispositivo de proteção de mancal
39	Monitor de condições mecânicas
40	Relé de perda de excitação ou relé de perda de campo
41	Disjuntor ou chave de campo
42	Disjuntor / chave de operação normal
43	Dispositivo de transferência ou seleção manual
44	Relé de sequência de partida
45	Monitor de condições atmosféricas
46	Relé de reversão ou desbalanceamento de corrente
47	Relé de reversão ou desbalanceamento de tensão
48	Relé de sequência incompleta / partida longa
49	Relé térmico
50	Relé de sobrecorrente instantâneo
51	Relé de sobrecorrente temporizado
52	Disjuntor de corrente alternada
53	Relé para excitatriz ou gerador CC
54	Dispositivo de acoplamento
55	Relé de fator de potência
56	Relé de aplicação de campo
57	Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
58	Relé de falha de retificação
59	Relé de sobretensão
60	Relé de balanço de corrente ou tensão
61	Sensor de densidade
62	Relé temporizador
63	Relé de pressão de gás (Buchholz)
64	Relé detetor de terra
65	Regulador
66	Relé de supervisão do número de partidas
67	Relé direcional de sobrecorrente
68	Relé de bloqueio por oscilação de potência
69	Dispositivo de controle permissivo
70	Reostato
71	Dispositivo de detecção de nível
72	Disjuntor de corrente contínua
73	Contator de resistência de carga
74	Relé de alarme
75	Mecanismo de mudança de posição
76	Relé de sobrecorrente CC
77	Dispositivo de telemedição
78	Relé de medição de ângulo de fase / proteção contra falta de sincronismo

79	Relé de religamento
80	Chave de fluxo
81	Relé de frequência (sub ou sobre)
82	Relé de religamento de carga de CC
83	Relé de seleção / transferência automática
84	Mecanismo de operação
85	Relé receptor de sinal de telecomunicação (teleproteção)
86	Relé auxiliar de bloqueio
87	Relé de proteção diferencial
88	Motor auxiliar ou motor gerador
89	Chave seccionadora
90	Dispositivo de regulação (regulador de tensão)
91	Relé direcional de tensão
92	Relé direcional de tensão e potência
93	Contator de variação de campo
94	Relé de desligamento
95	Usado para aplicações específicas
96	Relé auxiliar de bloqueio de barra
97 à 99	Usado para aplicações específicas
150	Indicador de falta à terra
AFD	Detector de arco voltaico
CLK	Clock
DDR	Sistema dinâmico de armazenamento de perturbações
DFR	Sistema de armazenamento de faltas digital
ENV	Dados do ambiente
HIZ	Detector de faltas com alta impedância
HMI	Interface Homem-Máquina
HST	Histórico
LGC	Esquema lógico
MET	Medição de Subestação
PDC	Concentrador de dados de fasores
PMU	Unidade de medição de fasores
PQM	Esquema de monitoramento de potência
RIO	Dispositivo Remoto de Inputs/Outputs
RTU	Unidade de terminal remoto / Concentrador de Dados
SER	Sistema de armazenamento de eventos
TCM	Esquema de monitoramento de Trip
SOTF	Fechamento sob falta