



OTIMIZAÇÃO E FORMALIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE ENSAIO DIELÉTRICO DE PRODUTOS DE MÉDIA TENSÃO

BRUNO MIGUEL DA SILVA PEREIRA

julho de 2018

OTIMIZAÇÃO E FORMALIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE ENSAIO DIELÉTRICO DE PRODUTOS DE MÉDIA TENSÃO

Bruno Miguel da Silva Pereira
Março de 2018

Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

Relatório elaborado para satisfação geral dos requisitos da Unidade Curricular de Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Bruno Miguel da Silva Pereira, Nº 1100900, 1100900@isep.ipp.pt

Orientação científica: Prof. Doutor Eng.º Carlos Felgueiras R. F. Assis, mcf@isep.ipp.pt

Empresa: EFACEC – Energia, Máquinas e Equipamentos Elétricos, S. A.

Supervisão: Eng.º António Matos, amatos@efacec.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

2018

À minha eterna irmã, em memória, por ter sido a minha maior força neste percurso. O meu pensamento na sua pessoa foi o forte motivo de inspiração e conclusão desta etapa.

Agradecimentos

O trabalho desenvolvido no âmbito desta tese de mestrado contou, felizmente, com a contribuição de muitas pessoas, pelo que quero expressar a todas os meus mais sinceros agradecimentos, pois acompanharam-me durante esta etapa da minha vida, contribuindo de forma direta e indireta, através da sua disponibilidade, compreensão ou amizade. Tenho o dever, pela sua contribuição ativa, de agradecer a um conjunto de pessoas.

Ao Eng.º António Matos pela disponibilidade de aceitar ser meu orientador na empresa, pois proporcionou-me a oportunidade de desenvolver um trabalho na área da inspeção e ensaios de produtos de média tensão, pertencente ao Departamento de Qualidade da Unidade da Aparelhagem de Média Tensão (AMT);

Ao Prof. Doutor Eng.º Carlos Felgueiras pela disponibilidade de aceitar ser meu orientador científico e pelo estímulo para a conclusão deste trabalho. Sou imensamente grato pela sua orientação, pelas sugestões que enriqueceram o trabalho, pela ajuda dada na revisão de alguns textos e pelos valiosos conselhos. As discussões das ideias apresentadas, as sugestões feitas na etapa inicial do trabalho e a transmissão do conhecimento foram bastante importantes;

Ao Eng.º Arménio Barbosa pela paciência em esclarecer teórica e tecnicamente os métodos de ensaio no setor da energia. A sua disponibilidade na troca de impressões e o apoio dado na revisão da tese foram determinantes;

À empresa EFACEC pelo seu ambiente de trabalho, pelo modo como me acolheram, pelas condições proporcionadas para realizar este trabalho e pelos materiais e equipamentos disponibilizados;

Aos colegas da EFACEC por toda a disponibilidade e paciência, por todo o apoio técnico e pela troca de ideias acerca dos métodos de ensaio. As dúvidas resolvidas e as sugestões apresentadas foram bastante importantes;

Aos meus colegas de trabalho, Carlos Almeida e José Ricardo, que sempre me motivaram e demonstraram interesse no trabalho desenvolvido. A troca de ideias sobre a forma de

organizar e desenvolver este trabalho foram determinantes. Para além disso, a discussão de resultados e de questões relacionadas com o trabalho e a disponibilidade na busca de soluções constituíram uma enorme ajuda no decorrer desta dissertação;

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, em particular ao Laboratório de Investigação em Sistemas de Teste (CIETI – LABORIS), pelo ambiente digno e engrandecedor de trabalho e formação intelectual;

Ao meu colega do mestrado Leandro Silva pelo companheirismo, amizade, espírito de entreatuda e saudável convívio presente durante o mestrado;

Aos meus amigos mais próximos, companheiros de muitas aventuras, não só pela amizade e motivação transmitida durante mais esta etapa, como pelo interesse e apoio demonstrado;

À minha família, pois os seus pensamentos positivos proporcionaram as melhores condições para que eu concluísse esta etapa da minha formação;

Aos meus pais, pelo apoio incondicional nesta jornada e encorajamento e interesse desde o primeiro momento do trabalho;

À minha namorada, Sofia, por toda a motivação e paciência demonstrada durante o desenvolvimento deste trabalho. O seu amor, carinho, incentivo e compreensão foram determinantes.

Resumo

A preocupação crescente com a segurança pública e a complexidade crescente das actuais instalações eléctricas de instalações domésticas, comerciais e industriais coloca uma responsabilidade acrescida sobre os técnicos responsáveis pela realização de ensaios eléctricos, que têm que verificar o cumprimento das exigentes normas internacionais em vigor [1].

Atualmente, no fornecimento de energia eléctrica existe uma exigência elevada, sendo necessário proteger o sistema eléctrico de energia de várias falhas. Tendo em conta a importância no sistema eléctrico dos produtos de média tensão é determinante que a sua taxa de avarias seja mínima. Torna-se então imperativo que exista um grande controlo da qualidade no fabrico deste tipo de equipamentos. De forma a garantir a sua qualidade, é assim necessário que sejam efetuados um conjunto de Ensaio de Tipo e de Rotina, como forma de verificar o correto funcionamento do produto. Assim, a equipa de Inspeção e Ensaio do Departamento de Qualidade da Unidade da Aparelhagem de Média e Alta Tensão (AMT), e que pertence ao grupo EFACEC, tem como principal função a realização de Ensaio de Rotina. Até ao momento, os ensaios e respetiva validação eram tipicamente feitos de modo informal, sendo o Relatório de Ensaio e o Protocolo de Receção ao Cliente em Fábrica (FAT – *Factory Acceptance Tests*) os únicos elementos formais do processo. Esta situação não é compatível com o atual modo de funcionamento de empresas com uma acrescida responsabilidade. O presente trabalho contribui neste esforço pois, de um modo formal, pretende-se identificar os procedimentos relativos à realização de ensaios dieléctricos tendo em vista o fornecimento de documentação de apoio ao Departamento de Qualidade, nomeadamente a equipa de Inspeção e Ensaio, inserindo-se como Instrução Operacional na abordagem de produtos de média tensão - distribuição primária e secundária. Com base na Instrução Operacional realizada, adaptou-se uma outra versão com o objetivo de servir como guia de ensaio aos clientes nos protocolos de receção ao cliente e poder ser adicionada aos relatórios de ensaio, contendo informação acerca dos procedimentos necessários para realização do ensaio no local de serviço.

Adicionalmente, pretende-se uma solução para um assunto pendente na Unidade AMT e relativa à realização de ensaios dielétricos num produto inovador da empresa denominado de IAT – interruptor aéreo com um transformador de tensão para serviços auxiliares. Nunca foi possível submeter o produto a este tipo de testes na Unidade AMT. É um assunto muito crítico pois existem encomendas de um cliente que se encontram dependentes da realização desse ensaio. Assim, no desenvolvimento da solução e, através de um trabalho de investigação, pretende-se integrar as informações relativas aos procedimentos necessários para a realização do ensaio dielétrico neste produto.

Palavras-Chave

Otimização; Qualidade; Inspeção e ensaios; Quadros elétricos; Celas de média tensão; Disjuntores de média tensão; Interruptores; Transformadores de tensão.

Abstract

The growing concern about public safety and the growing complexity of existing electrical installations in domestic, commercial and industrial installations places an increased responsibility on the technicians responsible for carrying out electrical tests, who have to check compliance with the exacting international standards in force [1].

Currently, there is a high requirement in the electric power supply, and it is necessary to protect the electrical energy system from several faults. Taking into account the importance in the electrical system of medium voltage products, it is essential that its failure rate is minimal. It is therefore imperative that there is a great quality control in the manufacture of this type of equipment. In order to ensure its quality, it is therefore necessary to carry out a set of Type Tests and Routine, as a way of verifying the correct functioning of the product. Thus, the Inspection and Testing team of the Quality Department of the Medium and High Voltage Equipment (AMT), which belongs to the EFACEC group, has as main function the performance of Routine Tests. To date, the tests and their validation were typically done informally, with the Test Report and the Factory Acceptance Tests (FAT) being the only formal elements of the process. This situation is not compatible with the current way of operating companies with increased responsibility. The present work contributes to this effort because, in a formal way, it is intended to identify the procedures for conducting dielectric tests in order to provide documentation to support the Quality Department, namely the Inspection and Testing team, as Operational Instruction in the approach of medium voltage products - primary and secondary distribution. On the basis of Operational Instruction, another version was adapted to serve as a test guide for customers in the customer receipt protocols and could be added to the test reports, containing information about the procedures required to carry out the on-site test of service.

In addition, a solution is sought for a pending issue in the AMT Unit and relating to the performance of dielectric tests in an innovative product of the company called IAT - overhead switch with a voltage transformer for auxiliary services. It was never possible to

submit the product to this type of tests in the AMT Unit. This is a very critical issue because there are orders from a customer that are dependent on the test. Thus, in the development of the solution and through a research work, it is intended to integrate the information regarding the procedures necessary for the realization of the dielectric test in this product.

Keywords

Optimization; Quality; Inspection and testing; Electrical switchboards; Medium voltage cells; Medium voltage circuit breakers; Switches; Voltage transformers.

Résumé

La préoccupation croissante de la sécurité publique et la complexité croissante des installations électriques existantes dans les installations domestiques, commerciales et industrielles imposent une responsabilité accrue aux techniciens chargés des essais électriques, qui doivent vérifier le respect des normes internationales rigoureuses en vigueur [1].

Actuellement, il existe un besoin important en alimentation électrique, et il est nécessaire de protéger le système d'énergie électrique contre plusieurs défauts. Compte tenu de l'importance dans le système électrique des produits moyenne tension, il est essentiel que son taux de défaillance soit minime. Il est donc impératif qu'il y ait un grand contrôle de qualité dans la fabrication de ce type d'équipement. Afin d'assurer sa qualité, il est donc nécessaire d'effectuer un ensemble de tests de type et de routine, afin de vérifier le bon fonctionnement du produit. Ainsi, l'équipe Inspection et Essais du Département Qualité des Equipements Moyenne et Haute Tension (AMT), appartenant au groupe EFACEC, a pour principale fonction la réalisation des Essais de routine. À ce jour, les tests et leur validation ont généralement été effectués de manière informelle, le rapport d'essai et les tests d'acceptation en usine (FAT) étant les seuls éléments formels du processus. Cette situation n'est pas compatible avec le mode actuel de fonctionnement des entreprises avec une responsabilité accrue. Le présent travail contribue à cet effort car, d'une manière formelle, il est prévu d'identifier les procédures de réalisation de tests diélectriques afin de fournir une documentation pour soutenir le Département Qualité, à savoir l'équipe Inspection et Essais, comme instruction opérationnelle dans l'approche des produits moyenne tension - distribution primaire et secondaire. Sur la base de l'Instruction Opérationnelle, une autre version a été adaptée pour servir de guide de test pour les clients dans les protocoles de réception des clients et pourrait être ajoutée aux rapports de test, contenant des informations sur les procédures requises pour effectuer le test sur site de service.

En outre, une solution est recherchée pour une question en suspens dans l'unité AMT et relative à la performance des tests diélectriques dans un produit innovant de la société appelée IAT - interrupteur aérien avec un transformateur de tension pour les services

auxiliaires. Il n'a jamais été possible de soumettre le produit à ce type de tests dans l'unité AMT. C'est un problème très critique car il y a des commandes d'un client qui dépendent du test. Ainsi, dans le développement de la solution et à travers un travail de recherche, il est prévu d'intégrer les informations concernant les procédures nécessaires à la réalisation du test diélectrique dans ce produit.

Mots-clés

Optimisation Qualité Inspection et essais; Tableaux électriques; Cellules à moyenne tension; Disjoncteurs moyenne tension; Commutateurs Transformateurs de puissance.

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
RÉSUMÉ	11
ÍNDICE.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS.....	15
ÍNDICE DE TABELAS.....	17
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	19
1. INTRODUÇÃO	21
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	21
1.2.OBJETIVOS DO TRABALHO.....	22
1.3.CALENDARIZAÇÃO	22
1.4.ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	24
2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS	25
2.1.CORRENTE ELÉTRICA.....	25
2.2.RELÉ	27
2.3.FUSÍVEL – PROTEÇÃO CONTRA SOBREINTENSIDADES.....	28
2.4.DISJUNTOR – PROTEÇÃO CONTRA CURTO-CIRCUITOS E SOBRECARGAS ELÉTRICAS	29
2.5.TRANSFORMADOR.....	30
2.6.ARCO ELÉTRICO	33
2.7.RIGIDEZ DIELETRICA.....	34
2.8.QUALIDADE	36
2.9.OTIMIZAÇÃO	38
3. ESTADO DA ARTE.....	41
3.1.ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS	41
3.2.O GRUPO EFACEC	42
3.3.APARELHAGEM DE MÉDIA E ALTA TENSÃO.....	44
3.4.CELAS DE MÉDIA TENSÃO E RESPECTIVA CONSTITUIÇÃO.....	45
3.5.COMPARTIMENTOS DAS CELAS	49
3.5.1.COMPARTIMENTO DE APARELHAGEM - EXTINÇÃO DO ARCO ELÉTRICO EM SF6	52
3.5.2.COMPARTIMENTO DE COMANDO – TIPOS DE COMANDOS	54

3.6.DISJUNTORES DE MÉDIA TENSÃO E RESPETIVA CONSTITUIÇÃO.....	56
3.7.INTERRUPTORES, SECCIONADORES E FUSÍVEIS.....	62
3.8.PRODUTOS DE MÉDIA TENSÃO EM ESTUDO – DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA	62
3.9.ESTADO ATUAL DA INSPEÇÃO E ENSAIOS - ENQUADRAMENTO DOS ENSAIOS EM PRODUTOS DE MÉDIA TENSÃO	68
3.10.NORMALIZAÇÃO TÉCNICA - NORMAS APLICÁVEIS.....	74
4. SOLUÇÃO	77
4.1.PROPOSTA	77
4.2.IMPLEMENTAÇÃO	79
4.2.1.ENSAIOS ELÉTRICOS	80
4.2.2.ENSAIOS MECÂNICOS.....	83
4.2.3.ENSAIOS DIELÉTRICOS.....	86
4.2.4.IAT – INTERRUPTOR AÉREO COM TT PARA SERVIÇOS AUXILIARES	93
4.3.VALIDAÇÃO	112
5. CONCLUSÕES	119
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	123
ANEXO A. TEMPLATE DO RELATÓRIO DE ENSAIO DE CELA (VERSÃO EM PORTUGUÊS).....	125
ANEXO B. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO IAT E PLACA DE CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO	126
ANEXO C. CARACTERÍSTICAS DO TRANSFORMADOR - CATÁLOGO DO FABRICANTE [31].....	127
ANEXO D. SIMULAÇÃO EM LABORATÓRIO DO PRODUTO IAT NO LOCAL DE SERVIÇO.....	128
ANEXO E. EXCERTO DE RELATÓRIO DE ENSAIO DIELÉTRICO DE UM TT – FABRICANTE RS ISOLSEC	129
ANEXO F. IO DO ENSAIO DIELÉTRICO EM SERVIÇO – NORMACEL 17,5 KV	130
ANEXO G. IO DO ENSAIO DIELÉTRICO EM SERVIÇO – QBN7 36 KV.....	131

Índice de Figuras

Figura 1	Exemplo de celas de distribuição primária (cima) e secundária (baixo).	21
Figura 2	Corrente resultante do somatório das cargas.	25
Figura 3	Exemplos de sinais em corrente contínua.	26
Figura 4	Exemplos de sinais em corrente alternada.	27
Figura 5	Esquema do relé.	28
Figura 6	Representação de um fusível de baixa tensão e respetivo símbolo elétrico.	28
Figura 7	Exemplos de transformadores.	30
Figura 8	Estrutura básica de um transformador.	31
Figura 9	Força eletromotriz não induzida no enrolamento secundário.	32
Figura 10	Força eletromotriz induzida no enrolamento secundário.	32
Figura 11	Arco elétrico entre trilho eletrificado e contacto elétrico num comboio [13].	33
Figura 12	Arco elétrico natural – raio [13].	34
Figura 13	Disrupção elétrica [13].	35
Figura 14	Projetos antigos da empresa.	42
Figura 15	Electro-Moderna e EFA-ACEC.	42
Figura 16	Pólo da Arroteia.	43
Figura 17	Setores de negócio da EFACEC.	44
Figura 18	Média e alta tensão no meio urbano.	44
Figura 19	Exemplo de cela com interruptor-seccionador [20].	47
Figura 20	Exemplo de cela com disjuntor [20].	48
Figura 21	Exemplo de compartimento de aparelhagem [20].	50
Figura 22	Exemplo de compartimento do barramento [20].	50
Figura 23	Exemplo de compartimento de cabos [20].	51
Figura 24	Exemplo de compartimento de comando [20].	51
Figura 25	Compartimento de controlo [20].	52
Figura 26	Interruptor e seccionador de Terra numa cela de média tensão [21].	53
Figura 27	Estados do interruptor-seccionador [21].	54
Figura 28	Comparação da rigidez dielétrica entre SF6, óleo e ar [22].	58
Figura 29	Exemplo de disjuntor a ar.	60
Figura 30	Disjuntor a óleo com controlo de arco.	61
Figura 31	Disjuntores extraíveis.	61
Figura 32	Interruptor-seccionador com fusível (a)) e sem fusível (b)) [22].	62
Figura 33	QBN7 – Quadros blindados compartimentados.	63
Figura 34	NORMACEL – Barramento simples.	64
Figura 35	DIVAC – Disjuntores de média tensão.	64
Figura 36	NORMAFIX – Quadros modulares.	65

Figura 37	FLUOFIX – Quadros compactos.	66
Figura 38	IAT – Interruptores aéreos.	66
Figura 39	Diagrama de blocos referente ao processo de fabrico.	77
Figura 40	Diagrama de blocos referente ao processo de ensaio.	78
Figura 41	Ensaio efetuados na abordagem de uma cela de média tensão.	80
Figura 42	Termóstato e resistência de aquecimento.	81
Figura 43	Mecanismo de abertura do circuito por disparo de fusível.	81
Figura 44	Sistema de disparo da bobina.	82
Figura 45	Motor 48Vcc e compartimento de baixa tensão (CBT).	82
Figura 46	Simbologia do comando para ST fechado (NORMAFIX e FLUOFIX).	83
Figura 47	Seccionador de Terra.	83
Figura 48	Encravamento de porta.	84
Figura 49	Montagem do ensaio numa cela de distribuição secundária.	87
Figura 50	Condições para realização do ensaio dielétrico em fábrica.	89
Figura 51	Condições para realizar o ensaio em ambiente de serviço.	90
Figura 52	Realização do ensaio dielétrico em fábrica.	91
Figura 53	Realização do ensaio dielétrico no local de serviço.	91
Figura 54	Sequência de comando numa cela de distribuição secundária.	92
Figura 55	Ampola de isolamento a SF6 e respetiva tampa de enchimento.	92
Figura 56	IAT com invólucro metálico selado.	94
Figura 57	Exemplo de IAT com transformador de tensão para serviços auxiliares.	94
Figura 58	Processos de montagem e verificação planeados.	95
Figura 59	Montagem inicial do IAT (previamente ao TT).	96
Figura 60	Processos de montagem e verificação pretendidos.	97
Figura 61	Vista frontal do IAT após ensaio do arco interno.	97
Figura 62	Rigidez pela tensão aplicada.	98
Figura 63	Excerto das ligações do transformador no esquema elétrico do IAT.	99
Figura 64	Etiqueta de características do transformador de tensão.	99
Figura 65	Eletrificação do TT para serviços auxiliares em regime de serviço.	100
Figura 66	Duração do teste à tensão induzida - Norma IEC 61869-3.	102
Figura 67	Ensaio dielétrico – fabricante RITZ.	104
Figura 68	Excerto do relatório de homologação do produto IAT – cliente ERDF.	104
Figura 69	Preparação do IAT para realização do teste dielétrico.	105
Figura 70	Ligações do IAT para teste de resistência à tensão induzida.	106
Figura 71	Ligações do TT para realização do ensaio dielétrico.	106
Figura 72	Rigidez pela tensão induzida.	110
Figura 73	Características do equipamento de ensaio dielétrico escolhido.	111
Figura 74	Projeção de realização do ensaio dielétrico de IAT's em fábrica.	116

Índice de Tabelas

Tabela 1	Calendarização do projeto	23
Tabela 2	Valores de referência para diversos materiais [14]	35
Tabela 3	Relação entre temperatura ambiente e pressão do gás [21]	54
Tabela 4	Características dos principais comandos utilizados pelo AMT [21]	55
Tabela 5	Agrupamento de Ensaios de Tipo	69
Tabela 6	Especificações de ensaios de produtos de MT por parte da EDP [26]	73
Tabela 7	Normas de segurança e de AMT - celas e disjuntores	75
Tabela 8	Tensão nominal dos produtos de média tensão em estudo	86
Tabela 9	Nível de isolamento estipulado (norma IEC 62271-1: 4.2)	87
Tabela 10	Condições necessárias para realização do ensaio dielétrico	88
Tabela 11	Conceitos relacionados e respetivas fórmulas	100
Tabela 12	Informação pedida pelos fabricantes dos equipamentos	107
Tabela 13	Quadro-resumo das instruções operacionais realizadas	113

Índice de Acrónimos

AC	–	<i>Alternating Current</i>
AIS	–	<i>Air-Insulated Switchgear</i>
AMT	–	Aparelhagem de Média Tensão
AT	–	Alta Tensão
BT	–	Baixa Tensão
CBT	–	Compartimento de Baixa Tensão
CD	–	<i>Compact Disc</i>
CPM	–	Compartimento de Parte Móvel
DC	–	<i>Direct Current</i>
DP	–	Descargas Parciais
EC	–	Edifício de Comando
EDP	–	Energias de Portugal
EMC	–	<i>Electromagnetic compatibility</i>
EN	–	<i>European Norm</i>
EPC	–	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	–	Equipamento de Proteção Individual
ERDF	–	<i>Électricité Réseau Distribution France</i>
FAT	–	<i>Factory Acceptance Tests</i>
IE	–	Inspeção e Ensaios
IEC	–	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IHV	–	<i>Input High Voltage</i>
ILV	–	<i>Input Low Voltage</i>
IO	–	Instrução Operacional
ISO	–	<i>International Organization for Standardization</i>
LED	–	<i>Light Emitting Diode</i>
MEEC	–	Mestrado Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
MT	–	Média Tensão
NA	–	Normalmente Aberto
NF	–	Normalmente Fechado
PD	–	<i>Partial Discharges</i>
PIE	–	Plano de Inspeção e Ensaio
PT	–	Posto de Transformação
QMT	–	Quadro de Média Tensão
RE	–	Relatório de Ensaio
RMS	–	<i>Root Mean Square</i>
SF ₆	–	Hexafluoreto de enxofre – SF ₆
SPI	–	Sistemas e Planeamento Industrial
ST	–	Seccionador de Terra
TSA	–	Transformador de Serviços Auxiliares
TT	–	Transformador de Tensão

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, o tema será introduzido através de uma contextualização. Seguir-se-á um resumo dos objetivos do trabalho e uma calendarização das tarefas planeadas. Por último, serão referidos os capítulos da presente dissertação juntamente com uma breve descrição dos mesmos.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Um quadro elétrico consta de um conjunto de diversos aparelhos de proteção e manobra agrupados numa ou mais celas adjacentes. Este conjunto deve ser assembled apropriadamente, de forma a satisfazer os requisitos de segurança e cumprir as funções para as quais foi concebido. Um quadro elétrico é um envolvente, isto é, um contentor (tem uma função de suporte e proteção mecânica dos componentes que contém). É constituído pela aparelhagem elétrica formada pelos aparelhos, as conexões internas e os bornes de entrada e de saída para a instalação [2]. Nas seguintes figuras apresentam-se exemplos de quadros elétricos de média e alta tensão.



Figura 1 Exemplo de celas de distribuição primária (cima) e secundária (baixo).

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Neste trabalho, pretende-se otimizar os métodos de ensaio dielétrico e a respetiva documentação da equipa de Inspeção e Ensaios da Unidade AMT pertencente ao grupo EFACEC. Até ao momento, os ensaios eram realizados de um modo informal (sendo o Relatório de Ensaio o único elemento formal do processo) e o objetivo passa pela formalização e uniformização. A melhoria passa pela gestão de informação durante todo o processo de ensaio, formalizando e uniformizando a sequência de operações efetuadas (PIE específico – Plano de Inspeção e Ensaio produto a produto) e requisitos de saúde e de segurança [3], tornando-se uma Instrução Operacional para ensaios dielétricos, com o objetivo de consulta na receção de um cliente em ambiente fabril. Com base nesta IO, deve ser adaptada uma versão para descrição dos procedimentos necessários para a realização do ensaio no local de serviço, visto ser cada vez mais pedido pelos clientes. Assim, caso o cliente pretenda, a IO referente ao Ensaio Dielétrico em Serviço pode ser adicionado ao Relatório de Ensaio. Esta IO contribuirá para a eficácia dos verificadores e para uma relação de maior transparência com o cliente, tornando-se um fator de destaque para com o mercado concorrente.

Para além disso, foi desenvolvido um produto novo e inovador na empresa denominado de IAT – interruptor aéreo com um transformador de tensão para serviços auxiliares, do qual nunca foi possível submeter a este tipo de testes na unidade fabril. É necessário encontrar uma solução pois existem encomendas de um cliente que se encontram dependentes da realização do ensaio. Através de um trabalho de investigação, pretende-se determinar procedimentos inovadores na Unidade AMT para a realização de ensaios dielétricos neste produto.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

A realização deste trabalho foi feita de acordo com a tabela apresentada a seguir, Tabela 1, de forma a terminar todas as tarefas num prazo máximo de 12 meses. De uma forma geral, pretende calendarizar as os pontos descritos a seguir:

- Estudos dos seguintes produtos de média tensão: NORMAFIX, FLUOFIX e *Extraíveis* (NORMACEL e QBN7) e normas internacionais em vigor;

- Estudo dos requisitos de saúde e segurança ambiental e ocupacional para ensaios em alta tensão [3];
- Elaboração da IO referente a procedimentos de ensaio dielétrico em fábrica (e tradução para inglês);
- Adaptação para IO referente aos procedimentos de ensaio dielétrico em serviço;
- Estudo do produto IAT, nomeadamente o TT para serviços auxiliares:
 - Produto, exigência do cliente, impossibilidade do ensaio, sugestões de ensaio, investigação e análise, consulta das normas internacionais envolvidas, análise de relatórios, procedimentos de ensaio e procura de equipamentos para realização do teste dielétrico.

Tabela 1 Calendarização do projeto

Nome da Etapa	Fevereiro - Abril 2017	Mai - Julho 2017	Agosto - Outubro 2017	Novembro 2017 - Fevereiro 2018
Estudo do estado da arte (enquadramento do tema, requisitos de segurança e normas de referência) [3]				
Elaboração de requisitos de ensaios de conformidade (particularmente Ensaios de Rotina)				
Processo preliminar e requisitos técnicos e legais do processo de ensaio a desenvolver				
Realização da metodologia pretendida de ensaio dielétrico dos produtos de média tensão em estudo (Ensaio Dielétrico em Fábrica – português e inglês)				
Elaboração e organização da documentação dos métodos de ensaio (juntamente com a adaptação para IO do Ensaio Dielétrico em Serviço)				
Estudo técnico e legal de um produto particular através da investigação e análise				
Elaboração do relatório da Tese/Dissertação				

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação realizada no âmbito da Unidade Curricular de Tese/Dissertação (TEDI) do 2º ano do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores – Sistemas e Planeamento Industrial (MEEC – SPI) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) encontra-se escrito ao abrigo do novo acordo ortográfico. O modelo de elaboração do texto disponibilizado no âmbito da Unidade Curricular de TEDI foi utilizado na íntegra e encontra-se organizado em cinco capítulos. O capítulo 1 refere-se à introdução, ou seja, à contextualização e apresentação do projeto e das suas áreas de ação, descrição dos objetivos e calendarização da realização das tarefas. No capítulo 2 são apresentados conceitos fundamentais e descrição dos conceitos com maior enquadramento com o tema. No capítulo 3 tem-se o estado da arte, que incide sobre a descrição das tecnologias mais relevantes utilizadas atualmente, tal como um enquadramento do tema, seguindo-se algumas das pesquisas realizadas na área da inspeção e ensaios. Normas técnicas em vigor também são apresentadas. No capítulo 4 apresenta-se a solução, através da apresentação de diagramas de blocos e respetiva otimização dos procedimentos de ensaio dielétrico, juntamente com a investigação e análise na procura de uma alternativa para a realização deste tipo de ensaios num produto inovador da Unidade do AMT. Por último, no capítulo 5 surgem as conclusões, que referem as principais conclusões acerca da realização do trabalho e ilações retiradas ao desenvolver o mesmo.

A presente dissertação é um resumo do trabalho realizado. Devido à dimensão do número de páginas e para preservação do meio ambiente com redução às folhas de papel utilizadas, os elementos de maiores dimensões encontram-se no CD em anexo que acompanha a presente dissertação. Os elementos incluídos no CD são os seguintes:

Instruções Operacionais - Ensaio Dielétrico em Fábrica (descrição pormenorizada dos ensaios dielétricos de cinco produtos distintos e Ensaio Dielétrico em Serviço (descrição pormenorizada dos ensaios dielétricos de produtos de distribuição primária);

Imagens, esquemas, tabelas e diagramas - tamanho real dos processos de montagem e métodos de ensaio abordados na presente dissertação (caso haja dificuldade na interpretação/visualização no relatório).

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste capítulo, irão ser apresentados os conceitos com maior relação com a área em estudo – energia. Juntamente com a sua referência, também se procederá a uma breve explicação, de forma a haver uma maior compreensão da solução do trabalho.

2.1. CORRENTE ELÉTRICA

A corrente elétrica é definida como a taxa temporal com a qual cargas elétricas atravessam uma determinada superfície. As cargas podem ser negativas (por exemplo, elétrons nos metais sólidos), positivas (interior de baterias) ou negativas e positivas, fluindo em sentidos opostos (semicondutores).

A definição da corrente elétrica pode levar a imaginá-la como um fluxo. Contudo, *ela é uma grandeza escalar*, definida apenas por um valor. Se algumas cargas com direção e sentido diversos atravessam certa região do espaço em dado instante, a corrente elétrica será proporcional ao somatório das cargas, *com respeito a um sentido de referência*. Uma carga negativa movendo-se para a direita é equivalente a uma carga positiva movendo-se para a esquerda. Exemplifica-se essa propriedade da corrente na Figura 2. Considerando que a carga elétrica em todas as partículas tem a mesma magnitude e que todas as partículas cruzam a área ao mesmo tempo, então a corrente será negativa se o sentido de referência (seta cinza) for da esquerda para a direita, ou será positiva, se o sentido for o contrário [4].



Figura 2 Corrente resultante do somatório das cargas.

Corrente contínua e alternada (CC e CA)

A maioria dos equipamentos são alimentados por dois tipos básicos de corrente: a corrente contínua e a corrente alternada. Pode-se dizer que recebem o nome de corrente contínua e corrente alternada, dois sistemas diferentes de coordenar o fluxo de elétrons dentro de um circuito elétrico, pois a diferença reside-se no sentido da corrente.

Uma corrente elétrica, de acordo com a atual explicação, é um fluxo de elétrons (partículas que transportam energia) passando por um condutor. Se, em média, os elétrons se movimentam num único sentido, essa corrente é chamada de contínua. Se eles mudam de direção constantemente, trata-se de uma corrente alternada. Na prática, a diferença está na capacidade de transportar energia para locais distantes. A energia que se utiliza em casa é produzida por uma central e por vezes necessita de percorrer centenas de quilômetros até chegar ao local de consumo. A corrente que chega à tomada de casa continua a ser alternada, mas com uma tensão bem mais baixa. Quanto à corrente contínua, pode ser obtida a partir de pilhas e baterias, pois a energia gerada, usada nos próprios aparelhos que as carregam, não precisa de percorrer uma grande distância. Existem muitos equipamentos eletrônicos que só funcionam com corrente contínua, sendo transformada através de transformadores internos [5].

Corrente contínua

A *corrente contínua* (CC ou DC, de *direct current*) é aquela *cujo sentido de movimentação se mantém com a passagem do tempo, ou seja, é sempre positiva ou sempre negativa*. Ou circula no sentido do polo positivo para o polo negativo, ou circula do polo negativo para o polo positivo. A Figura 3a é o exemplo de corrente contínua mais conhecido. Na Figura 3b há variação da amplitude da corrente, mas não de sentido. Como não há alternância, essa corrente não é aceita pelos transformadores e não origina uma tensão maior ou menor.

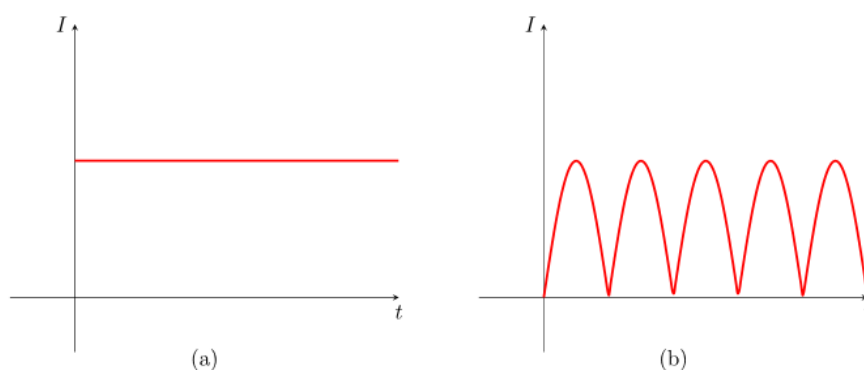


Figura 3 Exemplos de sinais em corrente contínua.

Corrente alternada

Já a *corrente alternada* (CA ou AC, de *alternating current*) é definida como *corrente com sentido variante no tempo, ou seja, é o tipo de corrente que alterna constantemente de sentido* - o fluxo de elétrons que transporta a energia elétrica dentro de um condutor não segue um sentido único, mudando de sentido 120 vezes por segundo e variando continuamente de polaridade. Estas variações sucedem-se a uma determinada frequência que, no caso dos países europeus é de 50 vezes num segundo (50 Hz) e nos países americanos é de 60 vezes num segundo (60 Hz). Essa variação é fundamental, pois os transformadores que existem numa linha de transmissão só funcionam recebendo esse fluxo alternado. Dependendo da forma como é gerada a corrente, esta é invertida periodicamente, descrevendo um formato sinusoidal (Figura 4a). Contudo, a corrente CA é utilizada com outros formatos como ondas quadradas (Figura 4b), triangulares (Figura 4c), dente de serra, entre outras. Pode-se encontrar corrente alternada na rede elétrica residencial (tomadas da casa), nas centrais elétricas, nos alternadores dos automóveis, entre tantos outros [6].

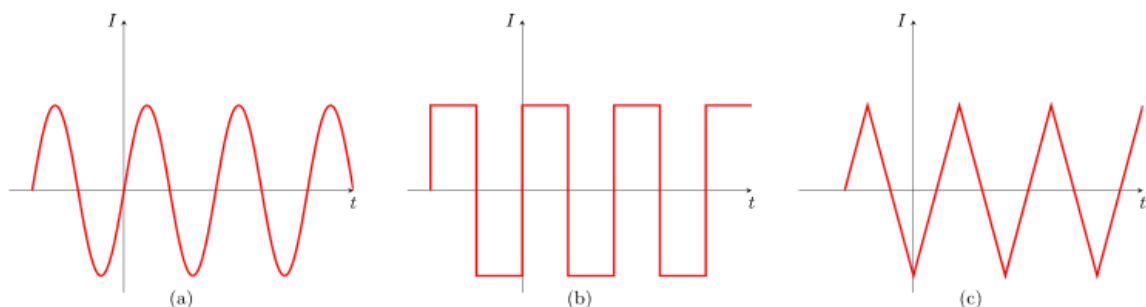


Figura 4 Exemplos de sinais em corrente alternada.

2.2. RELÉ

Os relés são dispositivos interruptores ou comutadores eletromecânicos. Nas suas proximidades é instalada uma armadura móvel que tem por finalidade abrir ou fechar um grupo de contactos. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético que atua sobre a armadura, atraindo-a. Nesta atração ocorre um movimento que ativa os contactos, os quais podem ser abertos, fechados ou comutados. A estrutura simplificada de um relé é apresentada Figura 5.

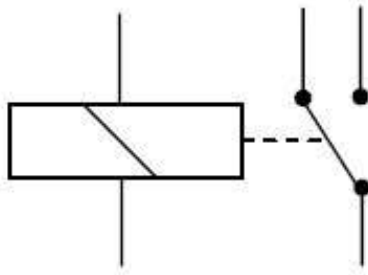


Figura 5 Esquema do relé.

Assim, através de uma corrente de controlo aplicada à bobina de um relé, podem-se abrir, fechar ou comutar os contactos de uma determinada forma, controlando assim as correntes que circulam por circuitos externos. Quando a corrente deixa de circular pela bobina do relé, o campo magnético criado desaparece e, com isso, a armadura volta à sua posição inicial pela ação da mola. Os relés dizem-se ativos quando estão a ser percorridos por uma corrente na bobina capaz de ativar os seus contactos e dizem-se em repouso quando não há corrente a circular pela bobina. [7]

2.3. FUSÍVEL – PROTEÇÃO CONTRA SOBREINTENSIDADES

O fusível é um dispositivo de proteção de um circuito elétrico, que tem a função de interromper a passagem de corrente elétrica no circuito, quando a corrente ultrapassar o limite permitido pelo fusível, evitando assim uma sobreintensidade. Esses curtos-circuitos podem causar incêndios, explosões ou danos a alguns equipamentos do circuito.

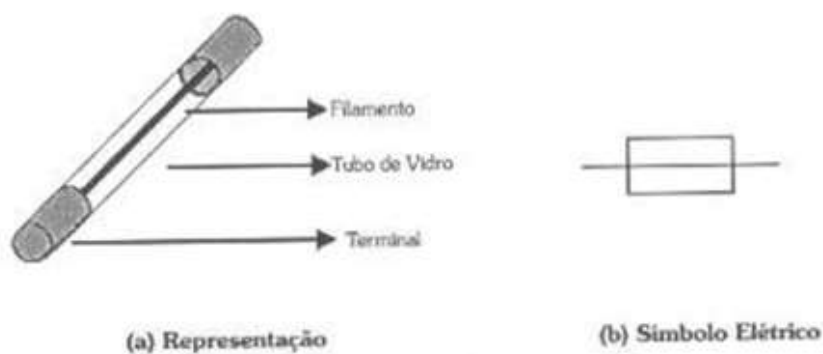


Figura 6 Representação de um fusível de baixa tensão e respetivo símbolo elétrico.

Alguns fusíveis são feitos de uma pequena liga metálica, geralmente o chumbo, de baixo ponto de fusão, pois quando a intensidade da corrente elétrica ultrapassa o limite do fusível, essa liga aquece e funde-se, cortando assim a passagem de corrente elétrica. O tempo que demora para fundir é proporcional ao quadrado da corrente aplicada e da inércia térmica do material da liga metálica do fusível, portanto com a variação desse material, podemos ter fusível de ação muito rápida, rápida, média, lenta ou muito lenta. Normalmente o valor da corrente que o fusível suporta vem expressa nele [8].

2.4. DISJUNTOR – PROTEÇÃO CONTRA CURTO-CIRCUITOS E SOBRECARGAS ELÉTRICAS

Um disjuntor é um dispositivo eletromecânico, que funciona como um interruptor automático, destinado a proteger uma determinada instalação elétrica contra possíveis danos causados por curto-circuitos e sobrecargas elétricas, tendo assim uma capacidade de corte.

Uma das principais características dos disjuntores é a sua capacidade de poderem ser rearmados manualmente, depois de interromperem a corrente em virtude da ocorrência de uma falha. Diferem assim dos fusíveis, que ficam inutilizados quando realizam a interrupção. Por outro lado, além de dispositivos de proteção, os disjuntores servem também de dispositivos de comando, funcionando como interruptores que permitem interromper manualmente a passagem de corrente elétrica. Existem diversos tipos de disjuntores, que podem ser desde pequenos dispositivos que protegem a instalação elétrica de uma única habitação até grandes dispositivos que protegem os circuitos de alta tensão que alimentam uma cidade inteira [9].

Disjuntores de média e alta tensão

Para a interrupção de altas correntes, especialmente na presença de circuitos indutivos, são necessários mecanismos especiais para a interrupção do arco voltaico (ou arco elétrico), resultante na abertura dos polos. Para aplicações de grande potência, esta corrente de curto-circuito, pode alcançar valores de 100 kA. Após a interrupção, o disjuntor deve isolar e resistir às tensões do sistema. Por fim, o disjuntor deve atuar quando comandado, ou seja, deve haver um alto grau de fiabilidade.

Atualmente, temos os seguintes disjuntores de alta potência em atividade: disjuntor a grande volume de óleo, disjuntor a pequeno volume de óleo, disjuntor a ar comprimido, disjuntor a vácuo e disjuntor a hexafluoreto de enxofre (SF6).

2.5. TRANSFORMADOR

Os *Transformadores* são equipamentos utilizados na alteração de valores de tensão e corrente, além de permitirem variar as características de potência, podendo ser utilizados na adaptação de impedâncias em circuitos elétricos. Na Figura 7 apresentam-se alguns exemplos de transformadores.

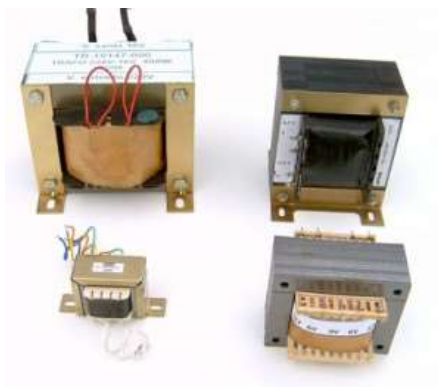


Figura 7 Exemplos de transformadores.

O princípio de funcionamento de um transformador é baseado nas leis de Faraday e Lenz, as leis do eletromagnetismo e da indução eletromagnética, respectivamente. Estes equipamentos possuem mais de um enrolamento, sendo que estas partes são chamadas de primário e secundário em casos de transformadores com dois enrolamentos, e em transformadores que possuem três enrolamentos, além dos dois nomes já citados, o terceiro enrolamento é denominado terciário. Um transformador é geralmente constituído por um núcleo de ferro e por um par de enrolamentos (bobinas) com diferentes números de espiras, N_1 e N_2 . Como se pode ver na Figura 8, o enrolamento ligado à fonte de alimentação de CA é chamado enrolamento primário (Bobina A), e o ligado à carga é chamado enrolamento secundário (Bobina B) [10].

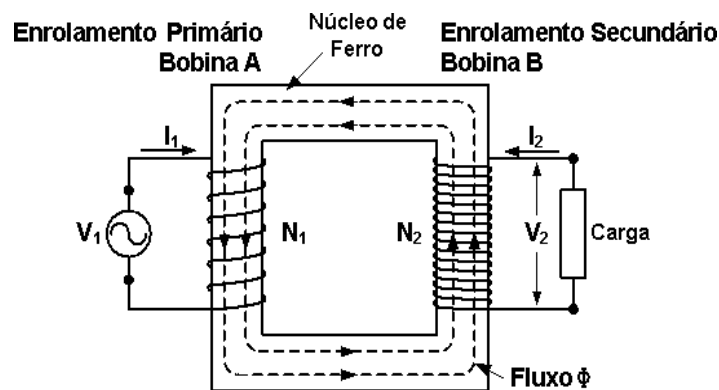


Figura 8 Estrutura básica de um transformador.

Existem diversos tipos de transformadores: monofásicos, bifásicos, trifásicos (ou de potência), que são aplicados na alteração da tensão e corrente, em que eleva-se a tensão e diminui-se a corrente, diminuindo assim a perda por Efeito de Joule (perdas por sobreaquecimento nos enrolamentos). Também existem os autotransformadores, que têm o seu enrolamento secundário ligado eletricamente ao enrolamento primário e os de baixa potência, que têm a sua maior aplicação na diminuição de impedâncias de circuitos eletrônicos. A utilização deste tipo de transformadores dá-se a partir da acoplagem deste à entrada do primário de outro transformador. Assim, entre as aplicações básicas do transformador, as três principais são: aumento ou redução da tensão ou da corrente, adaptador de impedâncias e isolador (sem ligação física) de uma parte de um circuito, de parte de outro. Além de serem classificados de acordo com o fim a ser usado, ainda existe a classificação de acordo com o núcleo. Os tipos de transformadores de acordo com o núcleo são: os de núcleo de ar, cujos enrolamentos ficam em contato com a própria atmosfera e os de núcleo ferromagnético, onde são usadas chapas de aço laminadas (no geral usam-se chapas de aço-silício, por diminuírem a perda por Corrente de Foucault ou correntes parasitas). Alguns transformadores são sensíveis a acoplamento estático nos enrolamentos, por isso recebem uma proteção chamada de Blindagem Eletrostática.

Nas Figuras 9 e 10, a Bobina A é alimentada por uma corrente elétrica variável e um campo magnético variável é gerado. Se a Bobina B for colocada suficientemente próxima da Bobina A, o campo magnético variável irá induzir uma força eletromotriz (f.e.m.) na Bobina B. Esta propriedade é designada por Indutância Mútua.

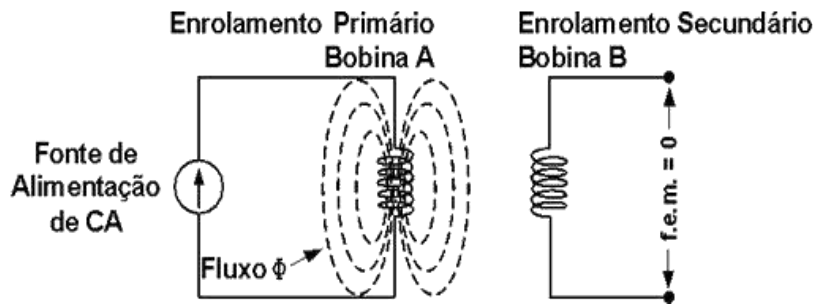


Figura 9 Força eletromotriz não induzida no enrolamento secundário.

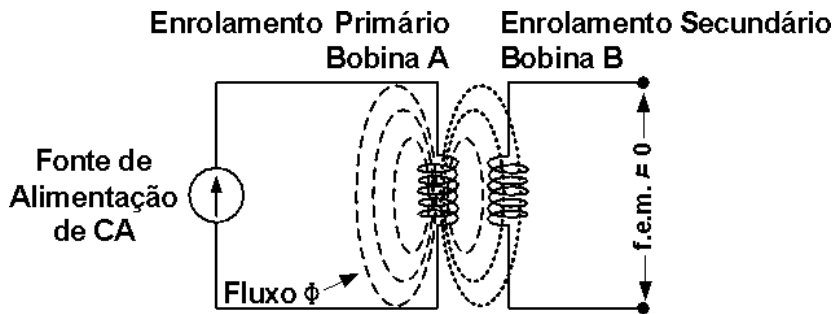


Figura 10 Força eletromotriz induzida no enrolamento secundário.

Como se pôde ver na Figura 9, o fluxo magnético gerado pelo enrolamento primário não envolve o enrolamento secundário e não é nele induzida qualquer força eletromotriz. Já na Figura 10, o fluxo magnético gerado pelo enrolamento primário envolve o enrolamento secundário e é nele induzida uma força eletromotriz.

O seu funcionamento é baseado na criação de uma corrente induzida no secundário, a partir da variação de fluxo gerada pelo primário. Os cálculos de transformação de tensão, corrente e número de enrolamentos são os seguintes:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Onde:

- U_p é a tensão no primário e U_s é a tensão no secundário;
- N_p é o número de espiras do primário e N_s é o número de espiras do secundário.

Com esta fórmula, chega-se à conclusão de que a tensão de entrada e de saída são proporcionais ao número de espiras em cada bobina. Em caso de ter-se um transformador

com $N_p > N_s$, será um transformador abaixador de tensão e se tiver $N_p < N_s$, será um transformador elevador de tensão [11].

A potência, P , é igual ao produto da tensão, V , pela corrente, I . A relação entre P , V , I e N pode ser resumida pelas seguintes fórmulas: $P = V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2$ e $\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$.

Conclui-se então que, a tensão é inversamente proporcional à corrente. No entanto, os transformadores comuns têm perdas de energia, o que faz reduzir a potência de saída. Ao considerar que toda a energia é conservada, a potência no primário deverá ser exatamente igual à potência no secundário. Assim: $P_p = P_s$. Portanto, $U_p \times I_p = U_s \times I_s$ [12].

2.6. ARCO ELÉTRICO

Um *arco elétrico* é resultante de uma ruptura dielétrica de um gás a qual produz uma descarga de plasma, similar a uma fagulha instantânea, resultante de um fluxo de corrente num meio normalmente isolante tal como o ar. Um termo mais antigo é o de arco voltaico como usado na expressão lâmpada de arco voltaico.



Figura 11 Arco elétrico entre trilho eletrificado e contacto elétrico num comboio [13].

O arco ocorre num espaço preenchido de gás entre dois elétrodos condutores (frequentemente feitos de carbono) e isto resulta numa temperatura muito alta, capaz de fundir ou vaporizar os contactos.

Comercialmente, o fenómeno de arco elétrico é usado para solda, corte a plasma, e como uma lâmpada de arco voltaico em projetores de filme e holofotes. Fornos a arco elétrico são usado para produzir aço e outras substâncias.

Arcos elétricos de baixa pressão são usados para iluminação, por exemplo na forma de lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor mercúrio e sódio, lâmpadas de câmara de flash, monitores de plasma e letreiros de néon. Arcos elétricos indesejáveis podem levar a deterioração de sistemas transmissão de energia elétrica e equipamentos eletrônicos [13].



Figura 12 Arco elétrico natural – raio [13].

2.7. RIGIDEZ DIELÉTRICA

A ideia de um material isolante se tornar condutor parece inviável, mas pode acontecer. Sabe-se que os materiais isolantes, também chamados de dielétricos, possuem elétrons que estão presos ao núcleo dos átomos, ou seja, não existem elétrons livres nesses materiais.

Se se aplicar um campo elétrico entre as extremidades de um material isolante, atuará uma força sobre os átomos desse corpo tentando arrancar dele alguns dos seus elétrons, mas acontece que esses elétrons estão fortemente ligados ao núcleo. Sendo assim, é necessário a aplicação de um campo elétrico mais intenso para que seja possível arrancá-los. Se a intensidade do campo elétrico não for suficientemente grande, a força elétrica provocará somente a polarização do material dielétrico.

Aumentando a intensidade do campo sobre o isolante, a intensidade da força que atua sobre os seus elétrons também aumenta. Sendo assim, pode-se concluir que vai chegar um determinado instante em que o valor do campo elétrico será tão grande que a força elétrica conseguirá arrancar os elétrons dos átomos, dessa forma os elétrons que antes estavam presos tornam-se livres e, como consequência, o material que antes era isolante passa a ser condutor. Esse fato pode acontecer com qualquer material isolante, depende apenas da intensidade do campo elétrico que é aplicado sobre ele.

A maior intensidade do campo elétrico que é aplicada sobre o material isolante, tornando-o condutor, é chamada de *rigidez dielétrica*, que varia de material para material, pois alguns se mantêm isolantes com um determinado valor de campo elétrico e outros se transformam em condutores com a mesma intensidade de campo [14].



Figura 13 Disrupção elétrica [13].

Assim, a rigidez dielétrica especifica a tensão máxima que pode ser aplicada entre dois eletrodos até que o material deixe de ser isolante. Em outras palavras, a rigidez mede a qualidade de um material como isolante. Para o ar, por exemplo, o valor indicado resulta em que a cada 1 cm temos uma tensão de 10 000 V. Assim, se entre dois eletrodos que são afastados gradualmente, a faísca ocorre em distâncias até 2 cm, por exemplo, podemos dizer que a tensão aplicada é da ordem de 20 000 V. De seguida, apresenta-se uma tabela com valores de referência de tensão para diversos materiais [14].

Tabela 2 Valores de referência para diversos materiais [14]

Material	Rigidez Dielétrica (V/m)
Ar	3×10^6
Baquelite	24×10^6
Borracha de Neopreno	12×10^6
Nylon	14×10^6
Papel	16×10^6
Polistireno	24×10^6
Vidro Pyrex	14×10^6
Quartzo	8×10^6

Óleo de Silicone	15 x 106
Titanato de Estrôncio	8 x 106
Teflon	60 x 106

2.8. QUALIDADE

Qualidade é o grau esperado ou adquirido de qualquer coisa, verificável através da forma e dos elementos constitutivos do mesmo e pelo resultado do seu uso. Vem do latim *qualitatem*, e é utilizado em situações bem distintas.

A palavra qualidade tem um conceito subjetivo que está relacionado com as percepções, necessidades e resultados de cada indivíduo. Diversos fatores como a cultura, tipo de produto ou serviço prestado, necessidades e expectativas influenciam diretamente a percepção da qualidade. Há várias definições para a qualidade em relação a produtos e/ou serviços, como o produto estar em conformidade com as exigências dos clientes, adequação ao uso, produtos e/ou serviços com efetividade, ter valor agregado, algo que produtos similares não possuem, relação custo/benefício, etc.

A qualidade de um produto ou serviço pode ser vista de duas óticas: a do produtor e a do cliente. Do ponto de vista do produtor, a qualidade associa-se à concepção e produção de um produto que vá ao encontro das necessidades do cliente. Do ponto de vista do cliente, a qualidade está associada ao valor e à utilidade reconhecidas ao produto, estando em alguns casos ligada ao preço. Neste caso, a qualidade é multidimensional, pois os clientes não avaliam um produto tendo em conta apenas uma das suas características, mas várias: dimensão, cor, durabilidade, *design*, funções que desempenha, etc. A qualidade tem muitas dimensões e é por isso mais difícil de definir. De tal forma, que pode ser difícil até para o cliente exprimir o que considera um produto de qualidade [15].

Do ponto de vista da empresa, contudo, se o objetivo é oferecer produtos e serviços de qualidade, o conceito não pode ser deixado ao acaso, tem de ser definido de forma clara e objetiva. Isso significa que a empresa deve apurar quais são as necessidades dos clientes e, em função destas, definir os requisitos de qualidade do produto. Os requisitos são definidos em termos de variáveis como: comprimento, largura, altura, peso, cor, resistência, durabilidade, funções desempenhadas, tempo de entrega, simpatia e rapidez do atendimento, eficácia do serviço, etc. Cada requisito é em seguida quantificado, a fim de

que a qualidade possa ser interpretada por todos (empresa, trabalhadores, gestores e clientes) exatamente da mesma maneira. Assim, a boa qualidade de um produto ou serviço é determinada por três questões básicas: a dimensão técnica (que abarca os aspetos científicos e tecnológicos que afetam o produto), a dimensão humana (zela pelas relações harmoniosas entre clientes e empresas) e a dimensão económica (que visa minimizar os custos, tanto para a empresa como para o cliente).

Os produtos devem exibir esses requisitos, pelo que a publicidade se fez nesses requisitos, o controlo de qualidade visa assegurar que os mesmos estão presentes no produto e a medição da satisfação faz-se para apurar em que medida esses requisitos estão presentes e em que medida vão realmente ao encontro das necessidades.

Controlo da qualidade, garantia da qualidade e gestão da qualidade são conceitos relacionados com o de qualidade na indústria e serviços. Gestão da qualidade é o processo de conceber, controlar e melhorar os processos da empresa, quer sejam processos de gestão, de produção, de marketing, de gestão de pessoal, de faturação, de cobrança ou outros. A gestão da qualidade envolve a conceção dos processos e dos produtos/serviços, envolve a melhoria dos processos e o controlo da qualidade. Garantia da qualidade são as ações tomadas para redução de defeitos. Controlo da qualidade são as ações relacionadas com a medição da qualidade, para verificar se os requisitos estão a ser respeitados e se os objetivos da empresa estão a ser atingidos [15].

Medição da Qualidade

Desde meados do século XX, a qualidade passou a ter uma definição baseada em conformidades, ou seja, estabeleceu-se padrões mínimos para que produtos e serviços tivessem a qualidade exigida pela sua utilização, devendo ter características que lhe dessem o valor devido. A procura da qualidade levou à criação de órgãos certificadores para definir os padrões de qualidade, como a ISO 9001, incentivando as empresas a criarem sistemas de gestão de qualidade, fazendo um controlo em produtos e serviços que lhe dessem a garantia de qualidade junto aos clientes [15]. É o chamado padrão de qualidade. Este conceito acabou por ser divulgado entre as empresas, sendo que a gestão da qualidade tornou-se uma necessidade para o seu desenvolvimento e desempenho junto à sociedade. A medição da qualidade dos produtos e serviços da organização é baseada no uso de indicadores. Em relação à qualidade de serviços, dadas as características particulares dos serviços, não se pode medir a qualidade desses da mesma forma feita para produtos.

Tradicionalmente, as organizações dispõem de conjuntos ou sistemas de medição de desempenho, direcionadas à avaliação do desempenho financeiro, e às vezes de produtividade. Mas o que se propõe é que os indicadores de desempenho da qualidade mostrem se a organização está a ser competitiva em relação ao que os clientes desejam. Indicadores são modos de representação, quantitativa e qualitativa, de características e propriedades de uma dada realidade. Noutras palavras, é “uma característica específica que reflete um aspeto da realidade observada”. Com o uso de indicadores, um conceito nada novo, mas que ainda revoluciona as empresas, foram criadas algumas organizações que propõem estudos e certificações, com o uso de indicadores [15].

Para garantir a qualidade de um produto, existem normas que funcionam como regras que têm que ser cumpridas. Ainda que cada empresa disponha das suas próprias normas internas, existem outras que são imperativas de acordo com o estipulado pela lei. “Qualidade é a adequação ao uso. É a conformidade às exigências”. Esta é a definição técnica estabelecida pelo ISO – INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION, situado na Suíça e responsável pelas normas de qualidade, em diversos setores, no mundo inteiro [16].

2.9. OTIMIZAÇÃO

Otimização é o processo de otimizar, de tornar ótimo ou próximo do ideal. Consiste em extrair o melhor rendimento possível, no que respeita a qualquer área de atividade. É o emprego de técnicas para seleção das melhores alternativas, com o propósito de alcançar objetivos determinados. A otimização consiste na elaboração de um planeamento estratégico e adequado para uma gestão eficiente, visando obter um retorno dentro dos padrões de excelência. Otimizar custos, otimizar produtividade, otimizar processos, otimizar o tempo, etc., significa estabelecer prioridades para uma maior eficiência e eficácia em busca de obter os melhores rendimentos.

As organizações enfrentam constantemente o desafio de produzir mais gastando o mesmo. Para crescer, empresas procuram meios para melhorar seus processos de uma maneira que resulte numa redução de custos e numa consciência sobre o que cada processo realmente representa dentro do negócio. Não importa as ferramentas, as tecnologias e os recursos investidos. Não importa os investimentos feitos e nem mesmo os esforços empregados pela equipa. Um processo ineficiente e não otimizado nunca gerará os resultados mais

eficientes. Se realizado corretamente, o que a otimização de processos trará de positivo é a redução de tempo, dinheiro e erros num processo, levando a melhores resultados de negócios [17].

Identificar

Inicialmente é necessário identificar o que é otimização de processos numa determinada empresa. De seguida, seleciona-se um processo que está a custar à empresa mais do que deveria, ou que está causando insatisfação nos clientes, ou até mesmo *stress* nos colaboradores.

Com o objetivo de determinar qual é a espinha dorsal do processo, depara-se com as seguintes questões: Qual é o objetivo final desse processo? Qual deveria ser o resultado? Onde começa o processo e onde termina? Que atividades fazem parte do processo, levando-o adiante? Que departamentos e funcionários estão envolvidos? Que informação viaja entre os passos?

Repensar

É importante saber como os passos são realizados, como o processo flui, como parte da otimização de processos: Existe uma forma melhor de realizar esse processo? Como é que esse processo é conduzido? Quanto papel (por exemplo) é usado nesse processo? Quanto tempo demora para o processo ser realizado por completo? Quanto tempo é perdido na correção de erros? Onde o processo paralisa? Comparando as respostas dessas perguntas com as do primeiro passo, conclui-se que tarefas que pareciam imprescindíveis na verdade são dispensáveis.

Implementar

Depois de conhecer detalhadamente o processo e identificar as possibilidades de mudança e as necessidades de melhoria, segue-se a implementação de um novo processo. É crucial, tanto para os objetivos do processo como para a otimização dos mesmos que todos adotem o novo processo desde o início e implementem todas as mudanças visualizadas. Assim, verificam-se resultados, reúne-se informação e consegue-se ver se as melhorias foram positivas ou não. Pode acontecer que o processo não acabe como planeado, que a equipa não se adaptou ou que a implementação não tenha sido feita corretamente. Nesses casos, é necessário começar o processo novamente.

Automatizar

Insistir nos mesmos erros e esperar por resultados diferentes é a receita do fracasso. Repetir e incrementar práticas de sucesso é a chave para prosperar. Deve-se automatizar os processos que foram provados e aprovados e espalhá-los pela empresa para depois ver os resultados em redução de gastos, prevenção de erros, corte em desperdício e aumento de produtividade.

Monitorizar

Durante todo o processo de otimização de processos, é necessário refletir e balancear resultados. Como na gestão de processos, este é um projeto cíclico. Se realizado somente uma vez, não trará soluções para a organização. Se embutido na cultura da empresa, trará satisfação dos clientes, felicidade dos colaboradores, aumento nos ganhos e corte de desperdícios, tudo isso em níveis nunca antes vistos [17].

3. ESTADO DA ARTE

3.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS

A evolução tecnológica e demográfica bem como a procura de uma melhor qualidade de vida, conduziram a um enorme crescimento do consumo energético a nível mundial. A eletricidade é o motor da vida moderna, daí que a importância no fornecimento de energia elétrica tenha atingido um nível elevado, considerando-se necessário proteger o sistema elétrico de energia de diversas falhas que possam ocorrer, garantindo ao máximo o contínuo fornecimento da mesma. Desta forma, foram criados equipamentos que permitem proteger geradores, linhas de transmissão, transformadores e outro equipamento durante falhas do sistema. Durante o funcionamento normal, as celas permitem ligar e desligar geradores ou linhas. Por outro lado, em caso de ocorrência de falhas do sistema, por exemplo de curto circuitos, os equipamentos estariam sujeitos a elevadas correntes, que danificariam os equipamentos e consequentemente levaria à interrupção do fornecimento de energia. No entanto, as celas de média tensão conseguem detetar essas falhas e proteger os equipamentos, desligando-os. Tendo em conta a importância no sistema elétrico deste tipo de equipamentos é vital que a taxa de avarias seja mínima, logo torna-se crucial existir um grande controlo no seu fabrico e dimensionamento. Assim, para diagnosticar o correto funcionamento do produto e garantir a sua qualidade, é necessário que sejam efetuados um conjunto de ensaios, por parte da equipa de Inspeção e Ensaio. Estes ensaios são realizados nos fabricantes dos

equipamentos ou então em laboratórios especializados e estão sujeitos a normas internacionais referentes aos ensaios em alta tensão e a celas de média tensão, pelo que foi necessário realizar um estudo dos procedimentos e requisitos de vários tipos de ensaio. Esta dissertação tem então como objetivo documentar o modo de operação de um Verificador de Qualidade perante os produtos de média tensão da unidade AMT, fabricados pela empresa EFACEC.

3.2. O GRUPO EFACEC

A EFACEC é uma empresa portuguesa com perfil fortemente exportador e presença internacional em mais de 65 países. Na Figura 14 tem-se alguns exemplos de projetos da empresa, sendo transformadores transportados por via terrestre e via marítima.



Figura 14 Projetos antigos da empresa.

Com quase 70 anos de marca, feita por grandes personalidades, e a origem, com mais de 100 anos de história, remonta à fundação, em 1905, da “A Moderna” Sociedade de Serração Mecânica. Em 1921, “A Moderna” (Figura 15) dá origem à Electro-Moderna, Lda., empresa já dedicada à produção de “motores, geradores, transformadores e acessórios elétricos” e onde se criaram as competências necessárias para suportar os grandes desenvolvimentos futuros do que viria a ser a “EFACEC”.



Figura 15 Electro-Moderna e EFA-ACEC.

A 12 de Agosto de 1948 constituiu-se como EFME – Empresa Fabril de Máquinas Elétricas, SARL, dando origem ao nascimento da marca e do projeto EFACEC. O capital da empresa estava então distribuído entre a Electro-Moderna, com 20%, os ACEC – Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi com igual valor, a CUF – Companhia União Fabril com 45%, estando os restantes 15% distribuídos por outros acionistas.

Após diversas alterações na distribuição do capital, nomeadamente pela saída da CUF, os ACEC passaram a ser acionistas maioritários. O nome EFACEC – Empresa Fabril de Máquinas Elétricas, SARL, nasce assim em 1962, ano em que se iniciou um período de notável crescimento. No final da década de sessenta a EFACEC torna-se umas das primeiras empresas portuguesas cotadas na Bolsa de Valores de Lisboa.

Cerca de 25 anos depois, no contexto da integração na CEE e da saída do capital social da empresa, dos ACEC, então sócio maioritário, iniciou-se um forte período de crescimento nos mercados internacionais e de consolidação do desenvolvimento tecnológico em vários domínios.

Já no século XXI, como resposta à crise económica e financeira que se fez sentir em todo o mundo, adotou-se um novo posicionamento, que culminou no redimensionamento da estrutura internacional e na simplificação do portfolio. Paralelamente à alienação de alguns ativos e negócios considerados não nucleares para a EFACEC, passou-se então a designar-se Efacec Power Solutions, SA. (EPS). A EPS foi constituída em 14 de Agosto de 2014, tendo como objeto a gestão de participações sociais como forma indireta de exercício de atividades económicas. A constituição da EPS inseriu-se no processo de reestruturação que a Efacec Capital, SGPS, S.A. encetou a partir do final de 2013, com o objetivo de alinhar a estrutura societária do Grupo EFACEC com os segmentos de mercado abordados e as geografias-alvo. Na Figura 16 tem-se a vista aérea de um dos polos da EFACEC – Arroiteia.



Figura 16 Pólo da Arroiteia.

No final de 2014 a Efacec Power Solutions passou a constituir, ela própria, um grupo de empresas que reúne todos os meios de produção, tecnologias e competências técnicas e humanas para o desenvolvimento de atividades nos domínios das soluções de Energia, Engenharia, Ambiente, Transportes e Mobilidade Elétrica, abrangendo ainda uma vasta rede de filiais, sucursais e agentes espalhados por quatro continentes, como é demonstrado de seguida na Figura 17 [18].



Figura 17 Setores de negócio da EFACEC.

3.3. APARELHAGEM DE MÉDIA E ALTA TENSÃO

Com um vasto e completo portefólio de produtos para média e alta tensão (MT e AT), a unidade é reconhecida em Portugal e internacionalmente pela qualidade das soluções e produtos e pela capacidade de adequação de resposta aos requisitos dos seus clientes. Os segmentos de mercado nos quais o grupo EFACEC se insere são: Produção de Energia, Transmissão e Distribuição de Energia e Sistemas Industriais (Subestações Compactas), sendo segmentos visíveis na Figura 18.



Figura 18 Média e alta tensão no meio urbano.

A empresa oferece um serviço integral do tipo *chave-na-mão* que cobre o fabrico da solução proposta, a montagem e a assistência pós-venda. Preocupa-se em acrescentar

valor através dos serviços prestados pelas equipas de engenharia de produto e de operações, em Portugal e internacionalmente, bem como através da relação comercial de proximidade que estabelece com os seus clientes. De seguida, apresentam-se as principais vantagens desta empresa em comparação com a concorrência:

- Maior benefício económico para o cliente;
- Rápida colocação ao serviço;
- Integração de trabalhos de engenharia específicos;
- Customização total;
- Garantia absoluta EFACEC.

A unidade conta ainda com equipas experientes no desenvolvimento de equipamento de AT/MT, com recurso a avançados *softwares* de modelização 3D e de simulação do comportamento do equipamento nas condições limite de funcionamento. Os produtos da unidade são auditados e certificados pelos mais exigentes padrões de qualidade e de gestão: ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, sendo também certificados segundo o referencial de Investigação, Desenvolvimento e Inovação NP 4457. Estas certificações são parte integrante de uma política de melhoria contínua, transversal, que visa a satisfação dos clientes e o reconhecimento enquanto parceiros preferenciais [19].

3.4. CELAS DE MÉDIA TENSÃO E RESPETIVA CONSTITUIÇÃO

As celas de média tensão permitem uma grande variedade de funções e serviços, como é exigido em sistemas de distribuição de potência modernos. Procura-se aliar a simplicidade de operações com a funcionalidade, conseguindo grandes períodos sem manutenção. Tenta-se assegurar que estes quadros de média tensão tenham a máxima segurança durante as manobras e que tenham uma boa proteção contra a propagação de incêndios. Também é necessário que exista uma boa facilidade nas manobras. Estas manobras são efetuadas na parte frontal do quadro, através de dispositivos simples e funcionais que são acompanhados por uma sinalização mecânica da posição dos vários componentes. Existiu uma grande evolução tecnológica ao longo dos anos. Com a evolução do sistema elétrico de energia, houve um requisito para que as celas se tornassem cada vez mais flexíveis e com maior automatismo remoto e que a rede tivesse um maior número de pontos de

medição. Existiu também um requisito para tornar as celas de média tensão cada vez mais livres de manutenção e que fossem possíveis de serem usadas em qualquer tipo de ambiente. Os componentes que a compõem também tiveram uma grande evolução tecnológica.

O sistema elétrico moderno relaciona-se com uma enorme rede e um elevado número de equipamentos. É assim necessário que existam equipamentos que meçam, regulem e controlem toda a atividade da rede, pelo que os dispositivos de proteção de manobra sejam de vital importância.

Do mesmo modo que podemos utilizar um interruptor das nossas casas para abrir ou fechar um circuito elétrico, também aí existem fusíveis para proteger o circuito elétrico de fenómenos transitórios. Da mesma forma todo o sistema elétrico desde alta até à baixa tensão necessita de dispositivos para interromper e proteger os diferentes elementos que compõem o sistema elétrico de energia. Assim, as celas são necessárias para as seguintes ações:

- Isolar equipamentos em falha;
- Para dividir grandes redes em secções, para facilitar reparações;
- Para reconfigurar redes de forma a restaurar o fornecimento de energia;
- Para controlar outros equipamentos.

As celas tomam assim um papel de grande importância no controlo das redes elétricas de energia, sendo constituídas por cinco compartimentos, tendo em conta a função para que estão destinadas. Nas Figuras 19 e 20 observa-se a predisposição dos compartimentos mediante o tipo de cela (celas com interruptor-seccionador e celas com disjuntor) e a explicação de cada um dos cinco compartimentos.

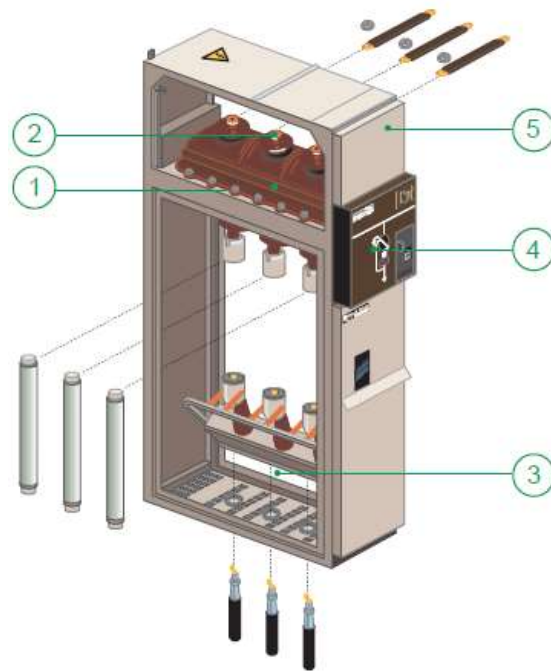


Figura 19 Exemplo de cela com interruptor-seccionador [20].

- 1 - Aparelhagem: interruptor-seccionador e seccionador de ligação à Terra no interior de um invólucro cheio de SF6 selado para sempre;
- 2 - Barramento: barras que permitem a extensão do quadro e a ligação a outras celas existentes;
- 3 - Ligação: acesso pela parte frontal aos terminais inferiores de ligação do interruptor e seccionador de ligação à Terra ou aos terminais de ligação das bases porta-fusíveis inferiores, dependendo da cela. Este compartimento está igualmente equipado com um seccionador de ligação à Terra, que liga à Terra a parte inferior dos fusíveis nas celas de proteção de transformador;
- 4 - Comandos: contém os mecanismos que permitem manobrar o interruptor e o seccionador de ligação à Terra, o indicador de posição mecânica (corte plenamente aparente) e o bloco de lâmpadas de presença de tensão. Em opção, o comando pode ser motorizado e equipado com diversos acessórios (bobinas, contactos auxiliares);
- 5 - Controlo: permite a instalação de uma régua de terminais (opção motorização), de fusíveis BT e de relés de pequeno volume. Em opção, pode-se montar no teto da cela um compartimento de BT adicional, de 450 mm de altura, com porta [20].

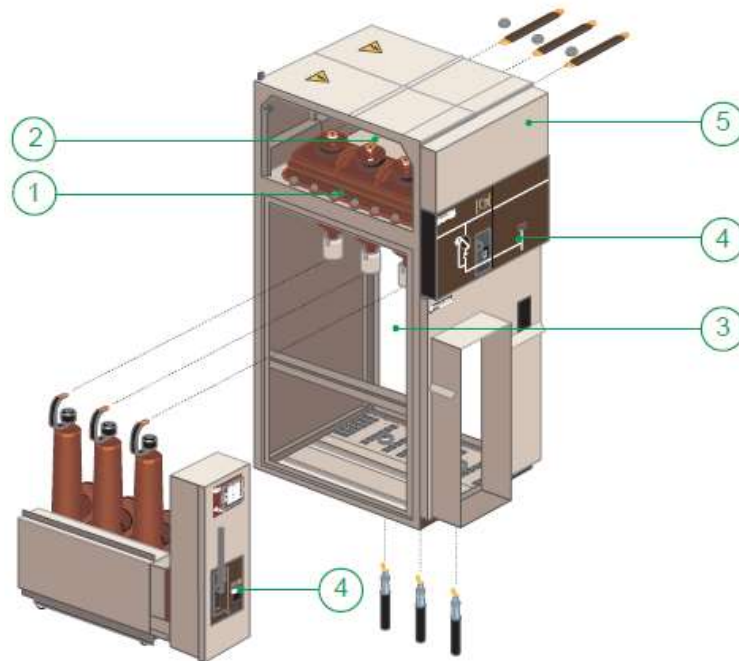


Figura 20 Exemplo de cela com disjuntor [20].

1 - Aparelhagem: seccionador e seccionador de ligação à Terra, dentro de um invólucro cheio de SF6 selado para sempre;

2 - Barramento: barras que permitem a extensão do quadro e a ligação a outras celas existentes;

3 - Ligação e aparelhagem: acesso pela parte frontal, para ligação dos cabos. 2 disjuntores em opção: disjuntor com proteção autónoma (sem fonte de alimentação auxiliar) integrada que se alimenta de captadores associados e disjuntor ao qual se podem associar 3 transformadores de intensidade de proteção, para assegurar a proteção indireta com relés eletrónicos.

4 - Comandos: contém os mecanismos que permitem manobrar o seccionador, o disjuntor e o seccionador de ligação à Terra, bem como a sinalização correspondente, e um bloco de lâmpadas de presença de tensão. O comando do disjuntor pode ser motorizado.

5 - Controlo: permite a instalação de relés de pequeno volume e uma régua de terminais. Em opção, caso existam relés eletrónicos, pode-se montar no teto da cela um compartimento de BT adicional, de 625, 650 ou 450 mm de altura, com porta [20].

Evolução tecnológica das celas de média tensão

Os operadores dos sistemas de transmissão e de distribuição necessitam que a rede seja estável. Dado que se espera que as celas de média e alta tensão tenham um tempo de vida

mais longo possível, tal faz com que os operadores de sistema consigam gerir melhor o sistema, caso não existam mudanças nos hábitos de consumos dos utilizadores. No entanto, as grandes evoluções tecnológicas em celas de média e alta tensão ocorrem a cada 20 ou 30 anos. Nos últimos anos, tem havido uma necessidade cada vez maior em desenvolver equipamentos com novos requisitos. Com a evolução da rede, as celas tornaram-se mais flexíveis e com maior automação através de mecanismos remotos e a rede tem um maior número de pontos de medição. Para além disso, os disjuntores são praticamente livres de manutenção e é possível serem utilizados em qualquer ambiente com uma grande esperança de vida. De um ponto de vista económico, já não se considera apenas o custo de aquisição mas sim o ciclo de vida do equipamento, ou seja, inclui os custos de construção, da manutenção e de remoção da cela de serviço. Assim, todos estes fatores devem ser considerados na construção da nova geração de celas no contexto atual das redes elétricas. No ponto seguinte, irão ser abordados os compartimentos da geração de celas mais atual.

3.5. COMPARTIMENTOS DAS CELAS

Para se ter uma noção real dos ensaios com que os verificadores se deparam diariamente, é necessário ter um conhecimento mais profundo acerca de cada um dos compartimentos. Assim, apresenta-se de seguida a descrição de cada um dos cinco compartimentos normalmente constituintes de uma cela, tendo sido apresentados nas Figuras 19 e 20.

Compartimento de aparelhagem (interruptor ou seccionador e seccionador de ligação à Terra) - é delimitado pelo invólucro, que forma uma divisória entre o compartimento do barramento e o compartimento de ligação de cabos. O invólucro está preenchido de SF6 e é selado para o tempo de vida útil do equipamento, de acordo com a norma. O sistema de selagem é verificado individualmente na fábrica, pelo que não é necessária qualquer verificação do gás durante toda a sua vida útil (trinta anos) [20].

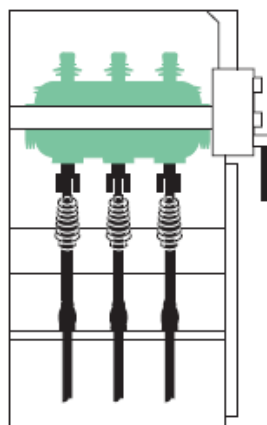


Figura 21 Exemplo de compartimento de aparelhagem [20].

Compartimento do barramento - o barramento é composto por 3 barras de tubo de cobre, retas e isoladas. A ligação faz-se na parte superior do invólucro, onde são fixados os repartidores de campo. A intensidade estipulada do barramento é de 400 ou 630 A. Nalgumas celas, pode ser montado na parte superior, um barramento com uma intensidade estipulada de 1250 A [20].

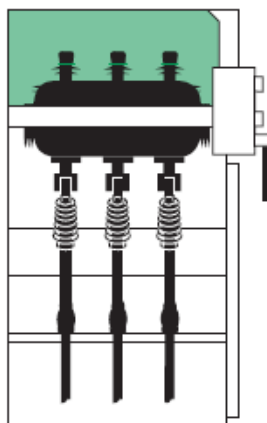


Figura 22 Exemplo de compartimento do barramento [20].

Compartimento de cabos ou ligação e aparelhagem - os cabos MT são ligados aos terminais inferiores de ligação do invólucro. Os cabos de saída para o transformador são ligados aos terminais de ligação das bases porta-fusíveis inferiores ou às platinas de ligação das celas com disjuntor. Podem utilizar-se cabos unipolares com isolamento seco ou com isolamento de papel impregnado. Para cabos tripolares de campo radial com isolamento seco ou com isolamento de papel impregnado, deve-se fazer a derivação por baixo do

fundo da cela. As extremidades dos cabos devem ser do tipo simplificado, para isolamento seco ou termo retráctil, para isolamento com papel impregnado. A secção máxima admissível dos cabos unipolares é a seguinte: 240 mm² para celas de interruptor e disjuntor e 95 mm² para as celas de proteção com fusíveis [20].

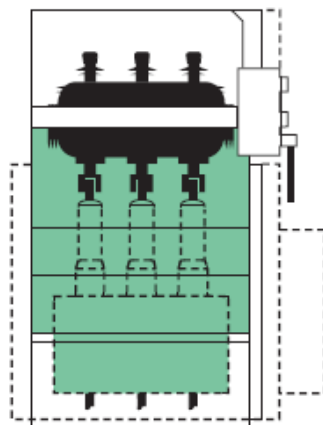


Figura 23 Exemplo de compartimento de cabos [20].

Compartimento de comando - conforme o tipo de cela, contém os seguintes comandos: do interruptor e do seccionador de ligação à Terra, do seccionador e do seccionador de ligação à Terra, do disjuntor, bem como o bloco de lâmpadas de presença de tensão e o indicador mecânico de posição. O compartimento de comandos do interruptor e do seccionador de ligação à Terra é acessível sob tensão no compartimento do barramento ou de ligação, otimizando as operações de troca de comandos ou a instalação da motorização do interruptor-seccionador. Permite a instalação fácil de cadeados, fechaduras de encravamento e acessórios BT opcionais (contactos auxiliares, bobinas e motorização) [20].

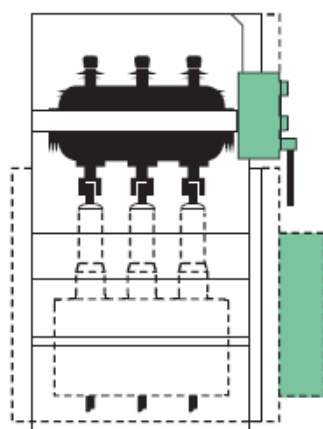


Figura 24 Exemplo de compartimento de comando [20].

Compartimento de controlo - caso o comando do interruptor seja motorizado, este compartimento é equipado com uma régua de terminais de ligação e fusíveis BT. Existem 2 tipos de compartimentos de controlo: normalizado, para a régua de terminais de ligação e fusíveis BT e ampliado, que permite instalar interruptores automáticos magneto-térmicos e alguns relés de pequeno volume. Ambos podem ser complementados com um compartimento BT adicional, de 450, 625 ou 650 mm de altura, com porta, montado no teto da cela, que pode receber relés e automatismos de maiores dimensões. Em todos os casos, o compartimento de controlo e o compartimento BT adicional são acessíveis sob tensão no compartimento do barramento ou no de ligação [20].

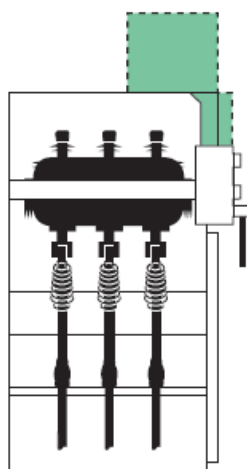


Figura 25 Compartimento de controlo [20].

3.5.1 COMPARTIMENTO DE APARELHAGEM - EXTINÇÃO DO ARCO ELÉTRICO EM SF₆

Os três contactos rotativos encontram-se no interior de um invólucro de resina, cheio de gás SF₆ a uma pressão relativa de 1,5 bar. O conjunto oferece todas as garantias de segurança na exploração.

Estanquicidade - o invólucro é selado para sempre após o enchimento, sendo a estanquicidade verificada sistematicamente em fábrica.

Segurança - o interruptor tem 3 posições: "fechado", "aberto" e "à Terra", o que constitui um encravamento natural que impede qualquer manobra falsa. A rotação do equipamento móvel é feita com o auxílio de um mecanismo de ação brusca e independente do operador.

À função de corte, este aparelho associa a função de seccionamento. O seccionador de Terra dentro do invólucro de SF6, dispõe conforme as normas, de poder de fecho em curto-circuito (2,5 vezes a intensidade estipulada de curta duração admissível). Qualquer sobrepressão accidental (2,5 bar) originada no interior do invólucro é limitada pela abertura da membrana de segurança existente na parte posterior do invólucro. Os gases serão canalizados para a parte posterior da cela [21].

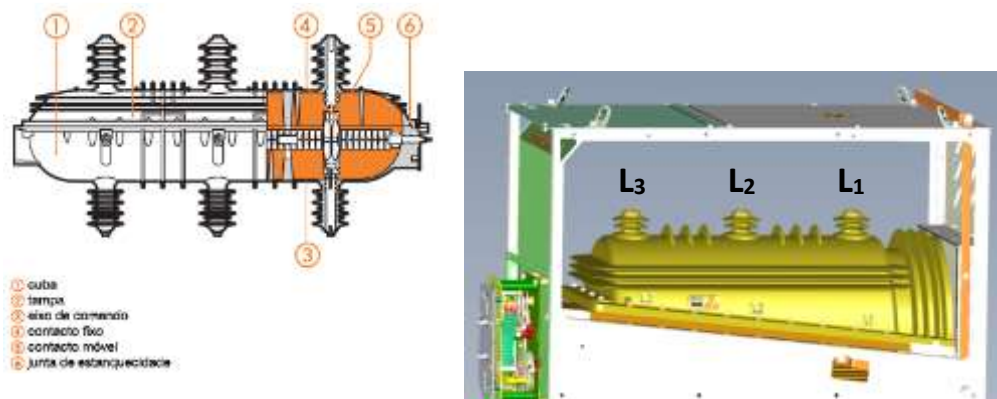


Figura 26 Interruptor e seccionador de Terra numa cela de média tensão [21].

Princípio de corte - as qualidades excepcionais do SF6 como agente de corte são aproveitadas para extinguir o arco elétrico, que se produz quando os contactos móveis se separam dos fixos. O movimento relativo entre o arco e o gás aumenta o arrefecimento do arco, acelerando a sua extinção. A combinação do campo magnético, gerado por um íman permanente com a intensidade da corrente, provoca uma rotação do arco em redor do contacto fixo, o seu alongamento e arrefecimento até à extinção, no momento da passagem da corrente por zero. A distância entre os contactos fixos e móveis, é então suficiente para suportar a tensão de restabelecimento. Este sistema, simultaneamente simples e seguro, garante uma duração de vida elétrica acrescida, dado o desgaste dos contactos ser muito reduzido [21].

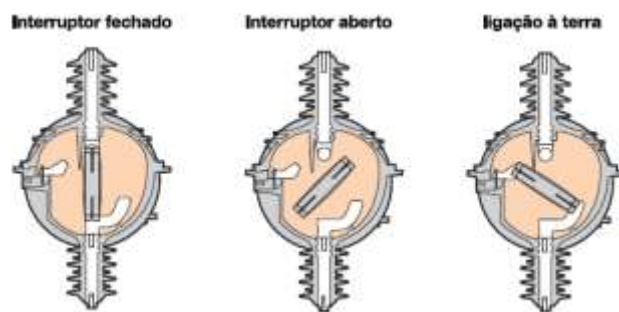


Figura 27 Estados do interruptor-seccionador [21].

A pressão de enchimento deve ser verificada em função da temperatura ambiente, estando os valores apresentados na Tabela 3.




Tabela 3 Relação entre temperatura ambiente e pressão do gás [21]

Temp. (°C)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Pressão (bar rel.)	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36

3.5.2 COMPARTIMENTO DE COMANDO – TIPOS DE COMANDOS

O comando está associado ao tipo de cela e existem vários comandos, dependendo da função que a cela está projetada. A seguir, apresenta-se na Tabela 4, as funções e características dos comandos com maior importância da unidade do AMT, sendo aqueles que têm uma maior aplicação em celas de média tensão. [21].

Tabela 4 Características dos principais comandos utilizados pelo AMT [21]

Comando/ Característica	Comando CIT de dupla função	Comando CI1 com dupla função	Comando CI2 com dupla função
Função interruptor	 <p>fecho e abertura por alavanca (ou motorização) independente do operador;</p>	 <p>fecho com manobra independente por alavanca (ou motorização). A energia necessária às manobras é obtida por compressão de uma mola que, após passagem por um ponto morto, provoca o fecho. Abertura com manobra independente por botão de pressão (O), bobina de abertura ou fusão de fusíveis;</p>	 <p>fecho com manobra independente. É feito em dois tempos: rearme de molas por alavanca (ou motorização) e libertação da energia acumulada por botão de pressão (I) ou bobina de fecho. Abertura com manobra independente por botão de pressão (O) ou bobina de abertura;</p>
Função seccionador de ligação à Terra	<p>fecho e abertura por alavanca independente do operador. A energia necessária às manobras é obtida por compressão de uma mola que, após passagem por um ponto morto, provoca o fecho ou a abertura do aparelho;</p>	<p>fecho com manobra independente por alavanca. A energia necessária é obtida por compressão de uma mola que, após passagem por um ponto morto, provoca o fecho. Abertura com manobra dependente por alavanca;</p>	
Contactos auxiliares opcionais	<p>comando manual (2 NA + 2 NF), comando manual (1 NA + 4 NF) e seccionador de Terra (2 NF ou 1 NA + 1 NF);</p>	<p>comando manual (2 NA + 1 NF), comando manual com bobina (2 NA + 2 NF), comando motorizado (2 NF), fusão de fusíveis (1 NF) e seccionador de Terra (2 NF ou 1 NA + 1 NF);</p>	<p>comando manual (1 NA + 1 NF), comando manual com bobina (2 NA + 2 NF), comando motorizado (1 NA + 1 NF) e seccionador de Terra (2 NF ou 1 NA + 1 NF);</p>

Sinalização mecânica	fusão de fusível;	-	-
Bobinas de abertura	-	por emissão de tensão;	
Bobinas de fecho	-	-	por emissão de tensão;
Motorização (opcional)	sem bobinas e com contactos livres 2 NA + 2 NF. Em opção, podem acrescentar-se 3 NF.	com bobina de abertura e com contactos livres 2 NA + 2 NF.	

3.6. DISJUNTORES DE MÉDIA TENSÃO E RESPETIVA CONSTITUIÇÃO

Durante correntes de defeito ou outro tipo de falhas no sistema elétrico, os disjuntores sofrem grandes sobrecargas de corrente que poderão resultar em danos permanentes tanto nos equipamentos como na rede de energia. De forma a proteger estes equipamentos a corrente de defeito deve ser extinta o mais rápido possível. Também é necessário que depois de extinta a corrente de defeito, o sistema volte a funcionar normalmente o mais rápido possível, de forma a existir uma boa fiabilidade na rede. Assim, o ato de ligar e o desligar de diferentes partes da rede de proteção e controlo, deve ser assegurada pelos disjuntores que conseguem operar sobre fortes correntes, além de também verem suportar os arcos elétricos que se poderão formar durante ações de manobra. Existem diferentes critérios para classificar diferentes tipos de disjuntores. De acordo com o modo de extinção do arco o disjuntor pode ser dividido em:

- Disjuntor a óleo;
- Disjuntor a ar;
- Disjuntor a SF6;
- Disjuntor a vácuo [22].

Disjuntor a óleo - o óleo mineral possui boas capacidades dielétricas e boas propriedades térmicas condutoras. O seu nível de isolamento depende, no entanto, da quantidade de impurezas presentes. Por isso, é necessário a existência de análises recorrentes ao óleo de forma a assegurar o desempenho ideal do disjuntor (verificar que o nível de contaminantes

é inferior ao permitido). As impurezas de carbono formam-se no óleo (especialmente a seguir à extinção de fortes correntes de curto circuito) devido à formação de arcos elétricos. A instabilidade do oxigénio no óleo é caracterizada pela formação de ácidos e impurezas, que devem ser minimizadas para manter as propriedades de arrefecimento do óleo. A capacidade de isolamento está diretamente dependente da mistura do óleo. O óleo deve ser seco e filtrado antes da utilização.

As propriedades isolantes do óleo podem ser avaliadas através da medição da rigidez dielétrica, pela resistividade volúmica ou pelo ângulo de perdas. Os disjuntores a óleo têm assegurado anos de serviço e não são um meio menos capaz de extinção de arcos elétricos. No entanto, atualmente, este tipo de disjuntores a óleo torna-se obsoleto, uma vez que exige um elevado nível de manutenção para manter o óleo em boas condições. Disjuntores a óleo de pequenas dimensões são ainda hoje em dia usadas na Europa para níveis de corrente de curto-circuito baixas e onde os tempos de curto-circuito não são críticos para o sistema. No entanto, o sistema de interrupção de arcos a óleo é difícil de modelar dado que o esquema do disjuntor é bastante complexo, por incluir três líquidos que são o óleo, o gás e o plasma. Também a viscosidade do óleo varia bastante com a temperatura e a variação da pressão do gás pode situar-se entre um bar e as centenas de bar [22].

Disjuntor a ar - os disjuntores a ar são normalmente utilizados para tensões baixas, mas também estão disponíveis para ser usados em correntes elevadas (até 6000 A) e para correntes de curto-circuito de 100 kA. A dimensão física destes dispositivos, que contêm grandes câmaras de sopragem, torna-os inviáveis economicamente para tensões superiores a 3,6 kV. Apesar disso, têm uma construção bastante simples uma vez que usam o ar para extinguir os arcos elétricos. Estes equipamentos devem ser cuidadosamente ventilados para fora da principal área de contacto e para fora do invólucro do disjuntor. Estes dispositivos estão apenas dimensionados para interromper as correntes de curto-circuito um número limitado de vezes, pelo que se torna necessário uma manutenção frequente. Os disjuntores de ar comprimido usam o ar comprimido para facilitar os contactos no processo de extinção do arco. Este tipo de disjuntores tem elevadas capacidades de corte de correntes elevadas. São bastante fiáveis e têm uma manutenção bastante reduzida. No entanto, tendem a ser bastante ruidosos, pelo que não são aconselháveis para subestações perto de áreas urbanas, além de que necessitam também

de uma central de armazenamento de ar comprimido fiável. Todos estes fatores aumentam o custo de manutenção em comparação com outro tipo de disjuntores [22].

Disjuntor a SF6 - o Hexafluoreto de Enxofre, SF₆, é um gás inerte e bastante estável até 50 °C. É incombustível, não tóxico, sem odor e sem cor. A Figura 28 faz uma comparação da rigidez dielétrica do SF6 em comparação com o ar e o óleo em função da pressão. O SF6 possui excelentes capacidades isolantes entre a pressão de 2 e 6 bar e tem uma rigidez dielétrica 2,5 a 3 vezes maior que o ar à mesma pressão. Este gás é 5 vezes mais pesado que o ar, com um peso molecular de 146 e uma densidade de 6,14 g/l. A densidade normal deste gás não passa para o seu estado líquido a não ser que se encontra a temperaturas muito baixas (-40 °C), no entanto o equipamento pode ser construído com aquecedores para prevenir este facto [22].

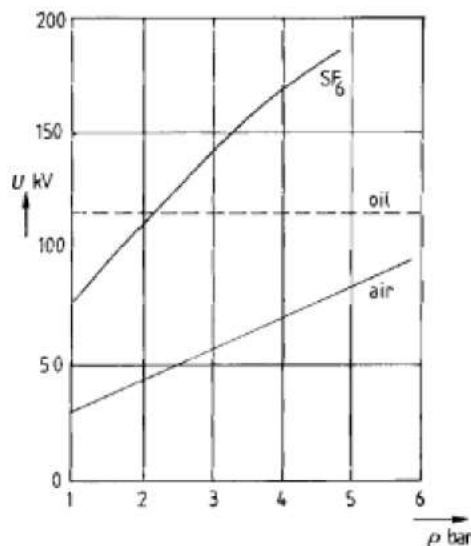


Figura 28 Comparação da rigidez dielétrica entre SF6, óleo e ar [22].

Os gases às temperaturas normais são bons isolantes, mas as suas moléculas tendem a separar-se a elevadas temperaturas durante os processos de interrupção de arcos elétricos. O SF6 também se dissocia durante o processo de extinção do arco e é transformado em condutor elétrico mantendo a corrente até que esta se torne nula. Está provado cientificamente que o SF6 é excelente para a extinção de arcos elétricos. Isto advém não só devido à sua estabilidade e rigidez dielétrica como também devido ao seu calor específico, condutividade térmica e à sua boa capacidade de agarrar eletrões livres. Tem também uma capacidade de arrefecimento bastante rápida (os iões de enxofre e flúor são

combinados rapidamente para formar a capacidade de isolamento do SF6). Todas estas propriedades ajudam na extinção da energia do arco durante o processo de extinção da mesma. Para tensões abaixo dos 36 kV, o disjuntor nunca será aberto. Para tensões mais elevadas a cela poderá ser aberta para inspeção e manutenção depois de vários milhares de manobras. Precauções de higiene e segurança no trabalho devem ser tomadas em conta (luvas, máscaras, óculos de proteção) durante a realização de trabalhos de manutenção. Para tensões até 15 kV e para corte de correntes tanto de disjuntores como contactores pode ser usado o princípio de rotação do arco. Este princípio diz que em vez de se descolar gás frio (ar, SF6 ou óleo) para o arco, o arco é forçado a deslocar-se devido à ação de um campo magnético produzido pela carga ou corrente de curto-circuito. Isto estende e move o arco contra o gás criando um arrefecimento e eventual extinção do arco. As vantagens deste tipo de disjuntores a SF6 podem ser resumidas da seguinte forma:

- Isolamento completo do disjuntor da atmosfera exterior e dos seus contaminantes;
- O facto de não ter óleo reduz o risco de incêndio;
- Normalmente, até 36 kV a sela mantém-se selada, sendo que não é necessário efetuar a sua manutenção;
- De um modo geral a manutenção destes equipamentos é reduzida;
- Este tipo de equipamento não necessita de um mecanismo de funcionamento pesado e volumoso [22].

Disjuntor a vácuo - os tubos dos disjuntores a vácuo com invólucros cerâmicos e metálicos são submetidos a pressões de 10^{-6} bar até 10^{-9} bar de forma a atingirem elevada rigidez elétrica. O espaço entre os contactos para estas pressões baixas tem de estar compreendido entre 0 e 20 mm e mecanismos de baixo consumo de energia poderão ser utilizados para operar os contactos. A tecnologia necessária para que este disjuntor a vácuo seja fiável está relacionada com os contactos. A interrupção de correntes de curto-circuito envolve a formação de um caminho condutor entre os contactos que se tornam rapidamente isolantes. O arco é extinto quando a corrente atinge o valor nulo. O vapor metálico condutor condensa nas paredes metálicas no interior dos tubos em vácuo em apenas uns μ s e a rigidez elétrica é restaurada formando-se um circuito aberto. 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 10 ms a 50 Hz. 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 (alguns amperes). O tempo de vida destes dispositivos é bastante longo, (normalmente têm uma vida útil de 20 000 interrupções e algumas centenas de operações de curto circuito) até que seja necessário substituir o equipamento. 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 desde equipamentos é reduzida;
- O equipamento tem um volume reduzido;
- Se necessário também podem incorporar fusíveis para aumentar a capacidade de curto-circuito [22].

Evolução tecnológica de disjuntores de média tensão

Inicialmente os disjuntores utilizaram o ar para a extinção do arco, ou seja, a primeira tecnologia a ser utilizada para interrupção de arco foi o ar. Estes disjuntores eram bastante volumosos pois necessitavam de grandes volumes para a expansão do arco e eram bastante ruidosos na sua extinção. Necessitavam também de uma elevada manutenção e por isso eram extraíveis. No entanto, com uma maior consciência a nível da segurança, foram gradualmente substituídos por aparelhagens por involucro metálico [22].



Figura 29 Exemplo de disjuntor a ar.

Num esforço de reduzir esse volume, foram criados os disjuntores a óleo. No entanto, estes necessitavam de grande manutenção, a troca de óleo após algumas operações e, para além disso, não são seguros de manobrar pois existe o risco de incêndio. Falhas nos disjuntores

a óleo podem resultar facilmente em acidentes fatais, tanto para os operadores como para os seus residentes nas imediações [22].



Figura 30 Disjuntor a óleo com controlo de arco.

Mais tarde, surgiram os disjuntores isolados a ar (AIS) ou então com disjuntores extraíveis de SF6 ou de vácuo que trouxeram grandes vantagens ao nível da manutenção e da redução de espaço. No final dos anos 60, os disjuntores a SF6 e a vácuo eram suficientemente compactos em comparação com os disjuntores isolados a ar ou a óleo. Eram muito mais seguros, pois reduziam o risco de incêndios e foram ficando ao longo do tempo cada vez mais fiáveis. Devido ao elevado interesse por parte dos operadores de sistema na segurança, fiabilidade e relação custo-eficácia, disjuntores livres de manutenção, capazes de serem usados em qualquer ambiente e com uma longa vida útil foram criados. A endurance elétrica também aumentou, passando a haver disjuntores capazes de extinguir um maior número de falhas. A mudança de disjuntores extraíveis para disjuntores fixos e o uso de vácuo como forma de extinção do arco faz com que estes tenham uma boa relação custo/desempenho. A propagação destes disjuntores mais modernos e fiáveis foi um dos grandes fatores de aceitação dos disjuntores fixos. Como consequência desta melhoria de fiabilidade, a manutenção foi sendo cada vez mais reduzida e podemos considerar que nos modelos mais avançados a sua manutenção é praticamente nula. Normalmente, os disjuntores são removíveis do seu quadro modular devido à forma como são instalados nos diferentes locais [22].



Figura 31 Disjuntores extraíveis.

3.7. INTERRUPTORES, SECCIONADORES E FUSÍVEIS

Os interruptores são dispositivos com capacidade de interrupção da corrente até ao seu valor nominal. Os seccionadores têm uma capacidade de interrupção de corrente desprezável e são apenas manobrados em vazio. Os interruptores de baixa tensão (< 1000 V) são normalmente isolados a ar e os de média tensão podem ser a ar, óleo ou SF6. Os interruptores têm molas que asseguram uma ação rápida. Ambos são dimensionados para serem termicamente estáveis e adequados (por exemplo o elemento de temperatura não pode ser excedido) para que sejam assegurados os regimes contínuos de corrente e os regimes de curta duração (1 a 35) de correntes de defeito [22].

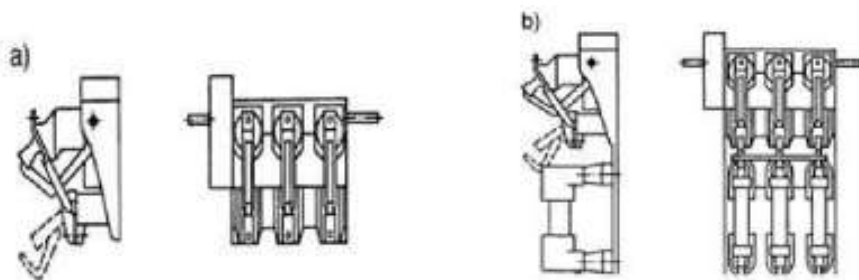


Figura 32 Interruptor-seccionador com fusível (a) e sem fusível (b) [22].

Os fusíveis devem ser capazes de suportar uma determinada corrente sem se deteriorarem e devem ser capazes de interromper a corrente de curto-circuito definida para o disjuntor. A maioria dos fusíveis são combinados com outros componentes. É bastante comum encontrar componentes como interruptor-fusível ou interruptor-seccionador. Estas combinações cumprem os requisitos técnicos individuais dos elementos ativos destas combinações [22].

3.8. PRODUTOS DE MÉDIA TENSÃO EM ESTUDO – DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA

Antes de se poder proceder à explicação dos métodos de ensaio, é necessário dar um enquadramento acerca dos produtos em causa. Os produtos a seguir referidos apresentam os maiores índices de produção da unidade da AMT.

Produtos de distribuição primária

Os quadros de média tensão da gama QBN7, são de isolamento no ar, de construção modular, compartimentada e facilmente extensível, como se pode ver na Figura 36. A área de instalação ocupada é bastante reduzida, sem comprometer a simplicidade da exploração, assim como a acessibilidade para a manutenção. A operação normal dos equipamentos é feita exclusivamente pela parte frontal, sendo apenas necessário o acesso traseiro para montagem dos cabos MT. A construção dos QBN7 é resistente ao arco interno conforme IEC 62271-200 [23], para a proteção de pessoas e restantes equipamentos. As celas estão equipadas com disjuntores extraíveis de corte no vácuo do tipo DIVAC, de elevadas prestações elétricas e mecânicas segundo IEC 62271-200 [23]. A gama QBN7, apresentada na Figura 33, atinge já os 31,5 kA.



Figura 33 QBN7 – Quadros blindados compartimentados.

Os quadros de média tensão da gama NORMACEL são blindados e compartimentados, de isolamento no ar, de construção modular e facilmente extensível. A área de instalação ocupada é bastante reduzida, sem comprometer a simplicidade da exploração, assim como a acessibilidade para a manutenção. A operação dos equipamentos é feita exclusivamente pela parte frontal, o que permite que os QMTs NORMACEL possam ser instalados contra a parede, reduzindo ainda mais a área necessária. A construção dos QMTs NORMACEL é resistente ao arco interno conforme IEC 62271-200, para a proteção de pessoas e restantes equipamentos [23]. As celas estão equipadas com disjuntores extraíveis de corte no vácuo do tipo DIVAC, de elevadas prestações elétricas e mecânicas segundo IEC 62271-200 [23]. O desenvolvimento contínuo desta gama de produtos, apresentada na Figura 34, permite

atingir elevadas prestações, com correntes nominais até 4000 A e capacidades de curto-circuito até 50 kA.



Figura 34 NORMACEL – Barramento simples.

Mais de 60 anos de desenvolvimento tecnológico permitiu à EFACEC Aparelhagem apresentar o equipamento DIVAC, sendo um disjuntor tripolar que utiliza a tecnologia de corte no vácuo. Esta solução, entre muitas outras aplicações, é utilizada pelas gamas de produtos de Distribuição Primária e Distribuição Secundária. Caracterizado por ser um equipamento com dimensões reduzidas, o disjuntor DIVAC alcança excelentes prestações elétricas e mecânicas e requer pouca energia para realizar as manobras de fecho/abertura. A tecnologia utilizada de corte no ar, aliada a uma construção simples e robusta garante-lhe uma elevada fiabilidade. A versão base está munida de um dispositivo de rearme manual, podendo ser opcionalmente monitorizado. Na sua construção, os polos podem estar dispostos de forma transversal ou longitudinal, como se pode ver na Figura 35.



Figura 35 DIVAC – Disjuntores de média tensão.

Produtos de distribuição secundária

O NORMAFIX apresenta-se como uma cela modular com isolamento no ar para colocação em redes de média tensão bem como nas mais variadas indústrias e aplicações, que lhe conferem uma elevada versatilidade no momento da configuração personalizada em função do projeto. As celas desta gama são totalmente concebidas em chapa de aço, estruturadas em unidades modulares e equipadas com diversas funções como a inclusão de interruptores e disjuntores e a sua construção modular permite a incorporação de várias opções. Este produto está disponível para tensões até 36kV, adaptado aos mercados de qualquer área geográfica. As suas aplicações na distribuição secundária vão desde a produção de energia (eólica, fotovoltaica, entre outras) até às redes de distribuição de energia elétrica públicas e privadas (indústria, serviços e outras aplicações). A gama NORMAFIX é mostrada na Figura 36.



Figura 36 NORMAFIX – Quadros modulares.

Quanto à gama FLUOFIX, é constituída por um conjunto de celas modulares e compactas com isolamento integral em SF6 para colocação em redes de média tensão até 36 kV. Solução modular de fácil instalação devido às suas dimensões e peso. A segurança de operação é garantida pelos ensaios realizados em conformidade com as mais exigentes normas bem como pela construção e estanquidade das soluções. Esta solução permite diversas configurações bem como a incorporação de opções variadas conforme as exigências do cliente. Estão disponíveis soluções extensíveis e não extensíveis. A solução compacta pode incorporar até cinco funções numa só cuba de aço inoxidável, com isolamento integral em SF6 à pressão relativa de 0,3 bar. A cela FLUOFIX, apresentada na

Figura 37, é insensível face às condições ambientais mais agressivas, possui uma longa vida útil e ausência de manutenção das partes ativas proporcionadas pelo isolamento integral em SF6.



Figura 37 FLUOFIX – Quadros compactos.

O IAT é um interruptor-seccionador de corte no SF6 para montagem em postes de linhas aéreas. Todas as partes ativas estão protegidas contra as agressões ambientais no interior de um compartimento cheio com SF6. O interruptor é selado para a vida num invólucro em aço inox. O IAT foi concebido para ser utilizado no exterior, em instalações de distribuição de energia, suportando as condições mais adversas. Este equipamento é particularmente indicado para ambientes industriais (pó, areia), tropicais, áridos ou salinos. Pode ser utilizado em locais situados acima dos 1000 m de altitude. O IAT é montado e testado de acordo com a norma IEC 60265. As crescentes exigências relativamente à proteção das pessoas e equipamento são consideradas pela EFACEC Aparelhagem no desenvolvimento e conceção do equipamento apresentado na Figura 38.



Figura 38 IAT – Interruptores aéreos.

No caso das celas de média tensão em estudo, são celas com aparelhagem em invólucro metálico para o interior. A temperatura ambiente não deve exceder 40 °C e o seu valor médio, medido ao longo de um período de 24 h, não deve exceder 35 °C. Os valores preferenciais da temperatura mínima do ar ambiente são de -5° C, -15 °C e -25° C. A influência da radiação solar pode ser ignorada e o ar ambiente não é significativamente poluído por poeira, fumaça, gases corrosivos e / ou inflamáveis, vapores ou sal. Quanto à altitude, não deve ser superior a 1000 m. O valor médio da humidade relativa, medida ao longo de um período de 24 h, não deve ser superior a 95. Durante um período de um mês, não deve exceder 90. Quanto ao valor médio da pressão do vapor de água, ao longo de um período de 24 h, não deve exceder 2,2 kPa. Ao longo de um período de um mês, não deve exceder 1,8 kPa. Para estas condições, a condensação pode ocorrer ocasionalmente. Vibrações devido a causas externas à cela e aparelhagem de comando ou a tremores de Terra são insignificantes em relação às funções normais do equipamento em operação. O fabricante assume que, na ausência de algum requisito por parte do usuário, o ambiente é o ideal.

As celas FLUOFIX e o interruptor IAT são isolados a SF₆, enquanto que as celas NORMAFIX, NORMACEL e QBN7 são isoladas a ar, sendo que o produto NORMAFIX contém uma ampola sem poder de corte (apenas interruptor-seccionador) com isolamento em SF₆. Quanto ao disjuntor DIVAC, é um disjuntor a vácuo. Todos, são produtos para instalação em redes de média tensão e nas mais variadas indústrias e aplicações. As celas são totalmente concebidas em chapa de aço, estruturadas em unidades modulares (NORMAFIX, NORMACEL e QBN7) e compactas – várias unidades numa só (FLUOFIX) equipadas com diversas funções como a inclusão de interruptores e disjuntores e a sua construção permite a incorporação de várias opções. Têm como características gerais:

- a) Barramento em cobre;
- b) Montagem de cabos secos;
- c) Compartimento suplementar baixa tensão;
- d) Disjuntores (a ar, a SF₆, a vácuo ou a óleo);
- e) Visualização do Seccionamento;
- f) Controlo de presença de tensão e de concordância de fases;

- g) Encravamentos mecânicos e elétricos;
- h) Sistema de proteção contra o arco interno;
- i) Sem manutenção;
- j) Concebido para instalação em PT's de exterior e subestações.

3.9. ESTADO ATUAL DA INSPEÇÃO E ENSAIOS - ENQUADRAMENTO DOS ENSAIOS EM PRODUTOS DE MÉDIA TENSÃO

Hoje em dia na indústria energética, como já foi referido, a equipa de Inspeção e Ensaios (IE) resume-se principalmente à inspeção final dos produtos de média tensão, de forma a dar garantias de qualidade de um produto encomendado pelo cliente. Assim, tanto a EFACEC como as marcas do mercado concorrente (Siemens, Schneider, ABB, ...), seguem não só normas de montagem das celas, como também normas de ensaio, a nível internacional. Essas normas englobam não só requisitos de saúde e segurança [3] (sendo referidos na IO no CD em anexo), como também elétricos e mecânicos. De acordo com as normas IEC 62271-1 [24] e IEC 62271-200 [23], existem dois tipos de ensaios a realizar:

- Ensaio de Tipo (*Type Tests*) — têm o objetivo de verificar as características estipuladas da cela e aparelhos de comando, os mecanismos de operação e equipamentos auxiliares;
- Ensaio de Rotina (*Routine Tests*) — têm o propósito de revelar falhas no material ou da sua construção. Eles não prejudicam as propriedades e fiabilidade do objeto de teste. Os testes de rotina devem ser feitos sempre que possível nas instalações do fabricante de cada aparelho fabricado, para assegurar que está em conformidade. Qualquer teste de rotina pode ser feito no local.

Ensaio de Tipo (*Type Tests*)

No caso dos produtos de média tensão em estudo, de acordo com as normas internacionais em vigor, os seguintes testes devem ser obrigatórios para este tipo de testes:

- a) Verificar o nível de isolamento do equipamento;
- b) Medição da resistência dos circuitos;
- c) Demonstrar a capacidade dos circuitos principais e dos circuitos de Terra aos valores de pico de corrente admissível e de corrente admissível de curta duração;
- d) Comprovar a capacidade dos interruptores e o funcionamento dos dispositivos de comutação incluídos e das partes móveis;

- e) Verificar o código de proteção;
- f) Verificar os circuitos auxiliares e de controlo;
- g) Verificar a proteção do equipamento contra choques mecânicos;
- h) Verificar a proteção das pessoas contra os efeitos elétricos perigosos;
- i) Verificar a qualidade do gás nos compartimentos;
- j) Verificar os apertos dos compartimentos cheios de líquido ou gás;
- k) Os testes para avaliar os efeitos do arco devido a um arco interno;
- l) Ensaaios de radiação para interruptores a vácuo;
- m) Verificar a proteção do equipamento contra efeitos externos devido às condições climatéricas adversas;
- n) Ensaaios dielétricos em circuitos de testes de cabos. Testes opcionais (se requeridos pelos compradores);
- o) Avaliar o isolamento do equipamento através da medição de descargas parciais.

Tabela 5 Agrupamento de Ensaaios de Tipo

Ensaaios de Tipo

Testes dielétricos nos circuitos principais

Tensão de rádio interferência

Medição da resistência no circuito principal

Subidas de temperatura

Valor de pico de corrente admissível e corrente admissível de curta duração

Testes de esforço

Testes para verificar o grau de proteção da estrutura

Testes de tensão de aperto

Testes mecânicos

Testes ambientais

Testes dielétricos nos circuitos de controlo e auxiliares

Ensaio de Rotina (*Routine Tests*)

Os resultados de todos os testes de rotina devem ser incluídos nos relatórios de teste, que devem conter informação suficiente para comprovar que as características estipuladas e as normas estejam de acordo. Em particular a seguinte informação deve ser incluída:

- Fabricante;
- Designação do modelo e número de série da cela e da aparelhagem de comando ensaiadas;
- Características da cela e da aparelhagem de comando ensaiadas de acordo com as especificações das normas IEC;
- Descrição geral (pelo fabricante) da cela e aparelhagem de comando ensaiadas, incluindo o número de polos;
- Fabricante, tipo, número de série e as especificações das partes essenciais, quando aplicável (por exemplo: mecanismos de funcionamento, interruptores, impedâncias shunt);
- Detalhes gerais da estrutura de suporte dos dispositivos de comutação ou disjuntores de manobra;
- Detalhes gerais do mecanismo de e dispositivos utilizados durante os testes, quando aplicável;
- Esquemas e datas de ensaio que representam os equipamentos ensaiados;
- Os números de referência de todos os esquemas, incluindo os números de revisão submetidos para identificar as partes essenciais da aparelhagem de teste;
- Informações sobre a aparelhagem - apresentação do comportamento da aparelhagem durante os testes, sendo validada a sua condição de funcionamento (após os testes e quaisquer peças renovadas ou reparadas durante os mesmos).

O Anexo A demonstra o *template* (em português) do relatório de cela efetuado pela IE, sendo que a versão em francês se encontra no CD em anexo. Como se pode ver, sendo Ensaio de Rotina, contém informações como ensaios realizados, características do produto e nomes do Verificador de Qualidade e responsável de equipa. De seguida, referem-se os ensaios impostos pela legislação técnica, também referida mais adiante.

Ensaio de conformidade de quadros elétricos de BT e MT

Os ensaios destinam-se a detetar os erros eventualmente cometidos na fabricação do produto. É, portanto, necessário verificar se:

- Os componentes são os previstos nos planos e estão montados corretamente;
- O funcionamento corresponde às exigências do caderno de encargos.

O produto é então submetido ao seguinte conjunto de ensaios: controlo de conformidade dos componentes, controlo do aperto das ligações, verificação do circuito de potência e do circuito de comando (controlo fio a fio), ensaio de conjunto, controlo de isolamento, ensaios dielétricos e, por último, caso existam, testes de diferenciais [25]. Os próximos pontos são mais específicos e correspondem aos diversos ensaios a realizar numa subestação ou posto de transformação, isto é, quando os equipamentos se encontram instalados no local de serviço.

Quanto às condições de segurança, o quadro elétrico de MT deve garantir os seguintes requisitos:

- a) Distâncias de segurança elétrica no ar;
- b) Acessos a elementos sob tensão e a elementos de manobra ou suscetíveis de inspeção periódica;
- c) Identificações de segurança e da aparelhagem AT e MT;
- d) Existência do equipamento de proteção e segurança.

Numa instalação, também deve obedecer às seguintes condições:

- a) Concordância com o esquema geral unifilar da instalação, com esquema de manobra, com o esquema de sequência de fases (AT, MT e BT) e com os planos da instalação;
- b) Comprovação das identificações gerais e respetivas nomenclaturas nos painéis, aparelhagem, cabos (AT, MT e BT), condutores e réguas de bornes.
- c) O quadro de média tensão também tem o seu modo de verificação, relativamente à montagem da própria aparelhagem:
- d) Aspeto e estado da aparelhagem;
- e) Execução da montagem;
- f) Inexistência de esforços ou solicitações indevidas;
- g) Fixação aos dispositivos de suporte;
- h) Estado da sílica-gel nos transformadores;

- i) Diversas verificações e medições nos disjuntores AT e MT, transformadores AT/MT e MT/BT, reactância e/ou resistência de neutro, escalões de bateria de condensadores e no carregador/bateria de corrente contínua;
- j) Distância entre as peças em tensão e a massa;
- k) Derrames de óleos e estado das massas isolantes eventualmente utilizadas nos bornes da aparelhagem e ligadores.

Na montagem dos circuitos de potência AT e MT, deve ser verificado os seguintes pontos:

- a) Montagem (condições de estabelecimento, aperto das ligações, etc.) e comprovação da secção dos cabos e condutores;
- b) Continuidade dos condutores;
- c) Inexistência de esforços ou solicitações indevidas;
- d) Medição do isolamento dos cabos MT em relação à massa;
- e) Bom aperto mecânico dos cabos MT e da respetiva ligação do ecrã metálico à Terra;
- f) Instalação e disposição dos cabos MT em caleiras, tubos e enterramento diretamente no solo;
- g) Ensaio de rigidez dielétrica do quadro metálico MT.

Quanto aos circuitos de Terra, estes estão sujeitos às seguintes verificações:

- a) Ligações da aparelhagem e equipamentos à rede geral de Terras;
- b) Medição da resistência da malha de Terra, da resistência de cada eléctrodo e da resistência da rede geral de Terra;
- c) Medição do valor da tensão de passo segundo dois perfis definidos;
- d) Medição do valor da tensão de contacto segundo dois perfis;
- e) Continuidade do circuito de Terra.

Relativamente aos disjuntores AT e MT e do seu enchimento com SF₆, seccionadores AT e transformadores de potência AT/MT, devem ser realizadas as seguintes verificações:

- a) Pressão de SF₆, quando aplicável;
- b) Tempos de funcionamento;
- c) Simultaneidade de atuação;
- d) Afinação e tempos de manobra;
- e) Fixação dos tubos de comando.

- f) Análise de óleo;
- g) Resistência de isolamento e dos contactos principais;
- h) Relação de transformação;
- i) Grupo de ligação;
- j) Atuação das proteções próprias;
- k) Funcionamento do comutador em carga;
- l) Funcionamento dos ventiladores,
- m) Regulação das hastes de descarga das travessias de AT e MT;
- n) Assistência à colocação em serviço.

Para um detalhe maior dos ensaios referidos anteriormente, mostra-se na Tabela 6 os ensaios realizados por parte da EDP na abordagem de um produto de média tensão em serviço ou instalado no local onde vai entrar em serviço – subestação ou posto de transformação. Os elementos com maior atenção são os seguintes: Painéis de Linha AT/Transformador de Potência AT/MT, Bateria de Condensadores MT, Linha de MT, Chegada Transformador de Potência MT, Transformador de Serviços Auxiliares, Reatância de Neutro e Potencial de Barras MT; Quadro Metálico de Média Tensão; Iluminação do Parque Exterior de Aparelhagem; Sistema de Comando e Controlo; Serviços Auxiliares de Corrente Alternada e Corrente Contínua; Circuitos auxiliares BT e de contagem [26].

Tabela 6 Especificações de ensaios de produtos de MT por parte da EDP [26]

Ensaio Mecânicos	Ensaio Elétricos
1) Verificação da afinação dos seccionadores de Terra, disjuntores e extração dos mesmos; 2) Manobra da aparelhagem - seccionadores de Terra, disjuntores e elementos extraíveis; 3) Intermutabilidade dos elementos extraíveis; 4) Sinalização mecânica de aberto/fechado da	1) Verificação da conformidade com os esquemas de princípio e da independência dos diversos circuitos; 3) Verificação das condições de montagem e estabelecimento, aperto das ligações, comprovação do tipo de cabos, da secção dos condutores e do calibre e curvas dos disjuntores de painel; 4) Ensaio primário em todos os transformadores de medida e respetiva verificação da relação de transformação; 5) Verificação da correspondência de fases, de polaridades e respetiva continuidade nos diversos circuitos, incluindo os circuitos de medida; 6) Verificação do fecho de todos os circuitos secundários de corrente; 7) Verificação da atuação das proteções próprias do Transformador de Potência AT/MT;

<p>aparelhagem (disjuntores e seccionadores);</p> <p>5) Sinalização mecânica do número da tomada dos transformadores AT/MT;</p> <p>6) Encravamentos gerais e encravamentos associados à cela correspondente no quadro metálico MT;</p> <p>8) Comutação de tomada do transformador de serviços auxiliares;</p> <p>9) Ensaios da orientação dos projetores da iluminação do Parque Exterior de Aparelhagem.</p>	<p>8) Verificação da iluminação, aquecimento e tomadas dos armários de reagrupamento de cabos e do Edifício de Comando (EC);</p> <p>9) Verificação de todos os circuitos de comando e sinalização e da aparelhagem complementar BT instalada;</p> <p>10) Unidades de Painel e funcionalidades de comando, encravamentos, proteção e automatismos;</p> <p>11) Verificação da sequência de fases dos circuitos de alimentação provenientes dos TSA;</p> <p>12) Após a montagem na subestação o carregador será submetido a novos ensaios, onde são verificados as parametrizações de todos os valores de funcionamento, todas as suas funcionalidades e as comunicações com o centro de supervisão;</p> <p>13) Alimentação e leitura dos contadores;</p> <p>14) Emissão de impulsos e verificação da atuação de arco interno;</p> <p>15) Ensaios de comunicação com a central de telecontagem, instalação telefónica e sistemas de deteção de intrusão e de incêndio.</p> <p>16) Iluminação exterior normal e de reforço, de emergência no Parque Exterior de Aparelhagem e do EC;</p>
---	--

Documentação de Apoio - deverá ser verificada a existência na subestação de um exemplar da seguinte documentação: esquemas desenvolvidos, instruções de serviço e documentação técnica incluindo as instruções de manutenção referente aos equipamentos instalados.

3.10. NORMALIZAÇÃO TÉCNICA - NORMAS APLICÁVEIS

Referidos os ensaios necessários para o bom funcionamento de um produto de média tensão, é importante dispor de uma garantia de qualidade por parte da empresa, que é demonstrada através de normas internacionais. Os editores mais importantes de normas para o fabrico de equipamentos a nível internacional são a *International Electrotechnical Commission* (IEC) e a *International Organization for Standardization* (ISO) com sede em Genebra. A IEC ocupa-se principalmente com assuntos da parte elétrica e eletrónica, ao passo que a ISO refere-se apenas à parte mecânica. Na Tabela 7 serão referidas as principais normas que a EFACEC se apoia, visto tratar-se de uma empresa eletromecânica. Para além

das normas associadas às partes elétricas e mecânicas, também serão referenciadas normas de segurança e de equipamentos de ensaio adequados para realizar os ensaios impostos pela IEC e pelo Comité Europeu de Normalização Eletrónica (CENELEC) [27].

Tabela 7 Normas de segurança e de AMT - celas e disjuntores

Norma	Campo de Aplicação	Application	Aplicação
EN50110-1	Segurança	<i>Operations in electrical installations</i>	Operações em instalações elétricas.
IEC 60060-1	Celas e disjuntores	<i>High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements [29];</i>	Técnicas de ensaio de alta tensão – Parte 1: Definições gerais e requisitos de ensaio [29];
IEC 60265-1	Celas e disjuntores	<i>High-voltage switches - Part 1: Switches for rated voltages above 1kV and less than 52kV;</i>	Interruptores de alta tensão - Parte 1: Comutadores para tensões nominais acima de 1kV e menos de 52kV;
IEC 60265-2	Celas e disjuntores	<i>High-voltage switches - Part 2: High-voltage switches for rated voltages of 52kV and above;</i>	Interruptores de alta tensão - Parte 2: Interruptores de alta tensão para tensões nominais de 52kV e acima;
IEC 60364.6.61	Celas e disjuntores	<i>The verification of the installation must be carried out in a certain sequence. To test the protective measures, the IEC 60364.6.61 standard refers to the standard IEC 61557 [1];</i>	A verificação da instalação deverá ser realizada numa certa sequência. Para testar as medidas de proteção, a norma IEC 60364.6.61 refere-se à norma IEC 61557 [1];
IEC 62271-1 (4.2)	Celas e disjuntores	<i>High-Voltage Switchgear and Controlgear – Part 1: Common specifications [25];</i>	Aparelhagem de alta tensão e comando de alta tensão - Parte 1: Especificações comuns [25];
IEC 62271-100	Celas e disjuntores	<i>High-Voltage Switchgear and Controlgear – Part 100:</i>	Aparelhagem de alta tensão e comando de alta tensão - Parte 100:

		<i>Alternating-current circuit-breakers [30];</i>	Disjuntores de corrente alternada [30];
IEC 62271-200 (7.1, 7.5)	Celas e disjuntores	<i>High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1kV and up to and including 52kV [24];</i>	Aparelhagem de comutação e controlo de alta tensão - Parte 200: Aparelho de comutação e aparafusamento de metal alternativo para tensões nominais superiores a 1kV e inferiores ou iguais a 52kV [24];
IEC 61557	Celas e disjuntores	<i>Requirements for test equipment used in performing installation tests. It consists of general requirements for test equipment and specific requirements for combined measuring equipment [1].</i>	Requisitos para equipamento de ensaio utilizado na realização de ensaios de instalações. Consiste em requisitos gerais para equipamento de ensaio e requisitos específicos para equipamentos de medição combinados [1].

4. SOLUÇÃO

Este capítulo descreve a proposta do trabalho, abordando essencialmente a tarefa principal, isto é, a da solução. Esta está dividida em Proposta, Implementação e Validação.

4.1. PROPOSTA

A proposta deste projeto consiste na otimização do plano de ensaios dielétricos, capaz de facilitar a equipa na abordagem de um determinado tipo de produto e que a informação respetiva aos ensaios realizados seja mais completa, sendo mais elucidativa na documentação entregue ao cliente. De modo a compreender o processo de fabrico de um produto da Unidade AMT, apresenta-se na Figura 39 um diagrama de blocos, desde a receção de material (início) até à expedição do produto pretendido (fim).

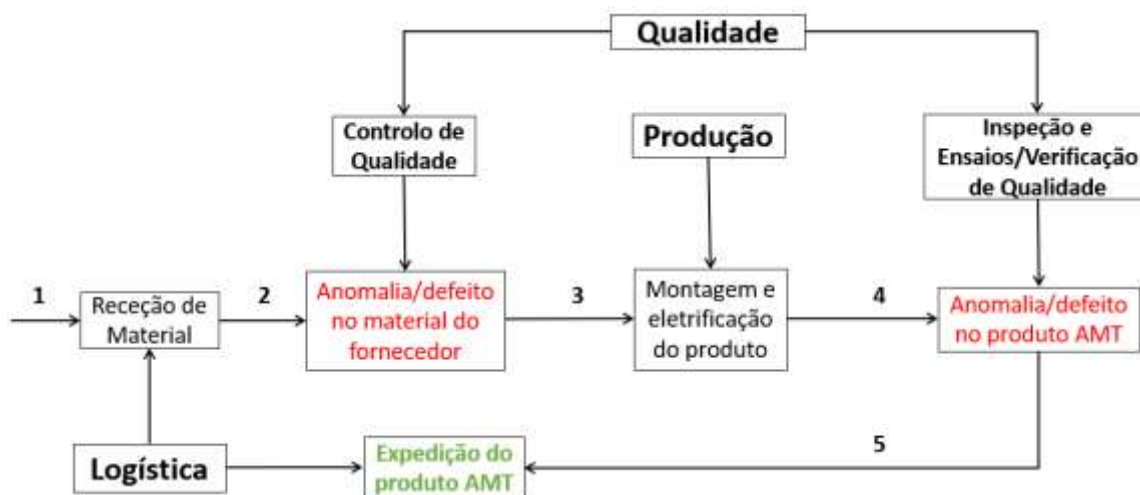


Figura 39 Diagrama de blocos referente ao processo de fabrico.

Como se pode ver, havendo a receção de um determinado material por parte da equipa da Logística (Receção), o mesmo é sujeito a um controlo da sua qualidade. De seguida, é reencaminhado para um elemento da equipa da Produção (serralheiro, soldador ou electricista) que procederá à montagem e eletrificação do produto final. Quando este se

encontra concluído, é dada uma indicação (por parte da chefia da Produção para a chefia da Inspeção e Ensaios), de início de ensaios. Essa indicação apenas é dada se o produto final estiver com a eletrificação do CBT concluída, com os encravamentos exigidos e com a montagem de todos os materiais constituintes de um produto de média tensão (como barramento ou transformadores).

O produto é então inspecionado por um elemento da equipa de Inspeção e Ensaios. Havendo um defeito ao nível da montagem, eletrificação ou de fabrico, o Verificador de Qualidade deverá detetar o erro. Caso haja necessidade de uma reparação, o verificador comunica à chefia da Produção, de forma a identificar o serralheiro/eletricista pertencente ao projeto.

Por fim, quando se encontram realizados todos os ensaios e o produto passou nos diversos testes, o verificador indica à equipa da Produção de que o produto garante a qualidade exigida. Para além disso, a equipa da Logística (Expedição) é notificada para que se proceda à expedição do produto. Na Figura 40 é apresentado um diagrama de blocos mais pormenorizado, relativo às tarefas de um elemento da equipa de Inspeção e Ensaios na abordagem de um produto de média tensão.

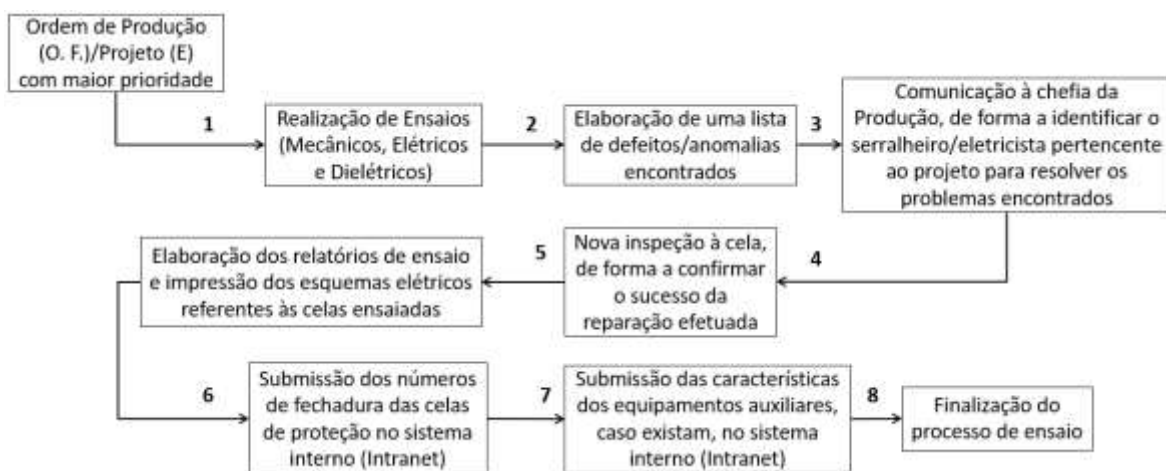


Figura 40 Diagrama de blocos referente ao processo de ensaio.

É então necessário documentar os procedimentos necessários para efetuar ensaios dielétricos, pois os produtos da Unidade da Aparelhagem de Média e Alta Tensão (AMT) do grupo EFACEC são cada vez mais complexos, tendo características distintas entre si. A Instrução Operacional necessária incluirá os procedimentos de ensaio, requisitos de saúde

e de segurança [3] e funcionamento dos equipamentos constituintes, tendo em conta a legislação em vigor.

4.2. IMPLEMENTAÇÃO

A equipa de Inspeção e Ensaios tem como principal âmbito de aplicação a inspeção final de produtos de média tensão. Para além disto, existe uma tarefa tão ou mais importante que a referida e que é a de Receção ao Cliente (nacional ou internacional).

Durante a Receção ao Cliente, o Verificador de Qualidade tem que receber o cliente em fábrica, com o objetivo de verificar que as características do produto estão de acordo com o pretendido. Essa demonstração é realizada através de ensaios propostos pela equipa de Inspeção e Ensaios e aprovados ou não pelo cliente. No entanto, mesmo não havendo contacto direto com o cliente em área fabril, o elemento da equipa da Inspeção e Ensaios encarregue de ensaiar o produto encomendado necessita de fazer um relatório no final da inspeção, denominado de Relatório de Ensaio. Assim, existe uma necessidade cada vez mais premente de destacar positivamente a EFACEC no mercado internacional, como uma marca de qualidade cada vez mais presente. Para isso, o Relatório de Ensaio necessita de ser aumentado com mais informações relevantes e elucidativas, nomeadamente ao nível de procedimentos de ensaio (PIE específico – Plano de Inspeção e Ensaio produto a produto). Estas informações irão contribuir não só para a eficácia dos verificadores mas também para uma relação de maior transparência com o cliente, tornando-se um fator de destaque para com o mercado concorrente.

Assim, é cada vez mais necessário a formalização de instruções operacionais respetivas aos ensaios mais críticos, tornando a documentação mais sistematizada. Procedimentos utilizados nos principais produtos da Unidade AMT (incluindo a sequência de operações para cada produto) e requisitos necessários de saúde e segurança [3] são informações cada vez mais exigidas pelos clientes.

Para uma melhor compreensão dos Ensaios de Rotina realizados na Unidade AMT, apresenta-se na Figura 41 um diagrama relativo aos ensaios normalmente realizados na abordagem de uma determinada cela de média tensão - distribuição primária e secundária.

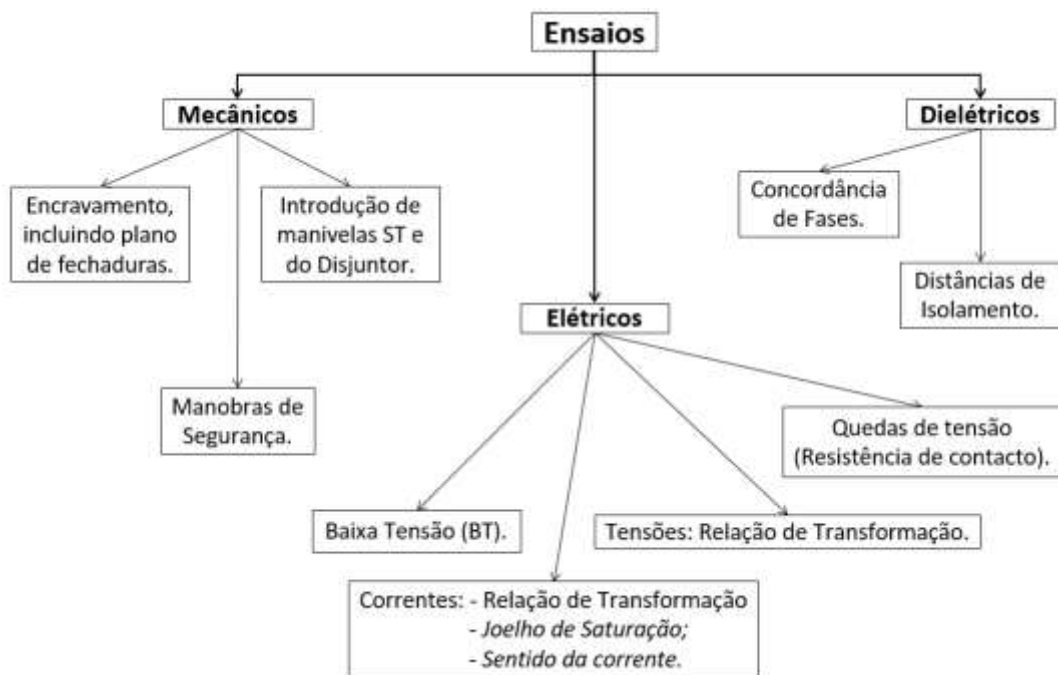


Figura 41 Ensaio efetuado na abordagem de uma cela de média tensão.

Como se pode ver, apesar do ensaio dielétrico estar inserido na categoria dos Ensaio de Tipo (de acordo com as normas), na Unidade considera-se também como um Ensaio de Rotina, pois tornou-se um ensaio cada vez mais exigido pelos clientes. A exigência deve-se à criticidade do ensaio para a qualidade do produto, pois garante as distâncias de isolamento e a concordância de fases.

No seguimento do diagrama, e apenas para uma breve referência, nos próximos pontos serão indicados alguns dos ensaios elétricos e mecânicos efetuados pelos Verificadores de Qualidade.

4.2.1 ENSAIOS ELÉTRICOS

Aquecimento - este ensaio pode ser realizado através de duas formas. A primeira forma consiste na observação do valor da resistência de aquecimento consoante a variação do termóstato. Fechando o contacto do termóstato, a resistência tem de ter o valor aproximado de $R \cong 3,3 \text{ k}\Omega$. A segunda, ao submeter uma tensão de 230 V na resistência e afinando o termóstato para o valor máximo, após alguns segundos, a resistência tem obrigatoriamente de aquecer. Caso não se verifique um valor aproximadamente igual ou a resistência não aqueça, o problema poderá estar na ausência do fusível.



Figura 42 Termóstato e resistência de aquecimento.

Fusão de fusível - através de um simulador, denominado de *fusão fusível*, confirma-se que o circuito abre após a atuação de um mecanismo que se encontra no interior de cada uma das três coquilhas superiores. Esta inspeção é extremamente importante, pois caso haja alguma anomalia na rede (em qualquer uma das três fases), através do disparo de um fusível, garante a abertura do circuito, protegendo o transformador, produto que é normalmente protegido por uma cela de proteção.



Figura 43 Mecanismo de abertura do circuito por disparo de fusível.

Disparo da bobina - este ensaio é realizado em duas etapas. A primeira etapa corresponde ao ajuste da bobina, tendo que estar a uma distância reduzida do percutor, quando o circuito se encontra fechado. A segunda etapa refere-se ao disparo da bobina através da submissão de três tensões distintas. A primeira tensão corresponde a 85% da tensão nominal (85% de 230 V = 183 V), tendo o disparo que ser realizado 3 vezes. A segunda tensão imposta é a tensão nominal (230 V), sendo o disparo realizado apenas uma vez. A terceira e última tensão imposta corresponde a 110% da tensão nominal (110% de 230 V = 253 V), sendo o disparo também realizado apenas uma vez.



Figura 44 Sistema de disparo da bobina.

BT (Baixa Tensão): Motorizações e sinalizações - as motorizações são inspeções realizadas para verificar que as ordens elétricas não se sobrepõem às mecânicas e que as ordens locais e à distância não se encontram com as linhas trocadas. Para além disso, é necessário garantir que o *kit* motorizado ou o próprio motor não se encontra com ruído mecânico.

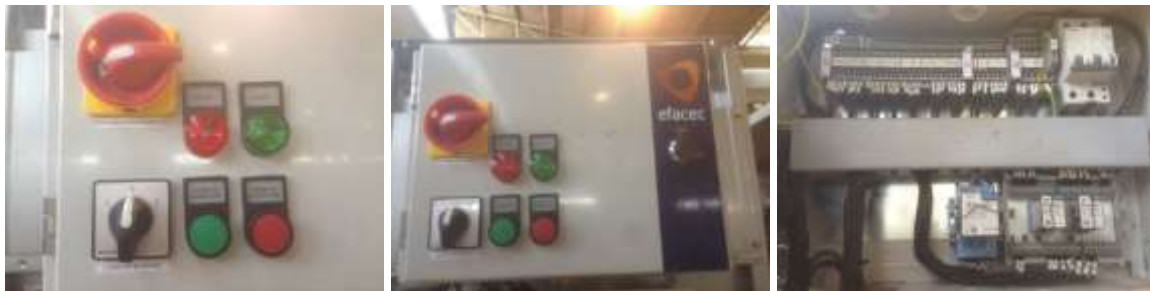


Figura 45 Motor 48Vcc e compartimento de baixa tensão (CBT).

Relação de transformação - este ensaio consiste na visualização da relação de transformação dos transformadores de tensão e dos transformadores de corrente. Através da injeção de certos valores de tensão e corrente no primário, verifica-se a respetiva relação no secundário do transformador.

Correntes - no seguimento do ensaio das correntes, é necessário verificar a curva de saturação (denominado *Joelho de Saturação*) através da aplicação de 2 kV (valor de

referência), de forma a poder diferenciar as linhas de medida (valores de corrente e tensão de saturação mais baixos) das linhas de proteção (valores de corrente e tensão de saturação mais elevados). Para além disso, verifica-se o sentido da corrente (deverá ser o sentido que o cliente pretender), com a utilização de um equipamento de ensaio específico.

4.2.2 ENSAIOS MECÂNICOS

Seccionadores de Terra - esta inspeção é constituída por quatro visualizações. A primeira é baseada nas velocidades de abertura e fecho, tendo que ser quase tão instantâneos quanto os mecanismos de operação.



Figura 46 Simbologia do comando para ST fechado (NORMAFIX e FLUOFIX).

A segunda consiste no balanceamento do seccionador, pois este não pode ter grande oscilação, quer na abertura quer no fecho. A terceira é meramente visual, confirmando que a trança de Terra está colocada por todo o seccionador. A quarta e última visualização consiste na distância do seccionador às coquilhas dos isoladores-condensadores (nas três fases), tendo distâncias de abertura e fecho já definidas, de forma a garantir o bom funcionamento deste mecanismo.



Figura 47 Seccionador de Terra.

Chapas traseiras - neste ensaio, meramente visual, é necessário confirmar que as chapas traseiras estão bem soldadas e as pontas de solda estão na parte inferior da chapa. Esta inspeção visual é importante, pois garante, caso haja alguma fuga na cela, que os gases sejam expulsos pela parte traseira da cela.

Encravamentos - a maior parte dos encravamentos das celas são compostos por tesouras e *micro-switches*, estando ambos interligados. Assim, é necessário garantir que o *micro-switch* atue quando se está em operação, ou seja, quando uma manivela estiver colocada numa tesoura, o micro correspondente tem de estar pressionado.



Figura 48 Encravamento de porta.

Encravamentos funcionais

Apresentam-se de seguida as condições impostas pelos encravamentos funcionais nas celas com interruptor-seccionador e celas com disjuntor.

Celas com interruptor-seccionador:

- O fecho do interruptor só é possível se o seccionador de Terra estiver aberto e o painel de acesso colocado no lugar;
- O fecho do seccionador de Terra só é possível se o interruptor estiver aberto;
- A abertura do painel de acesso às ligações só é possível se o seccionador de Terra estiver fechado;
- O interruptor fica encravado na posição de aberto quando o painel de acesso é retirado. É então possível manobrar o seccionador de Terra para ensaios.

Celas com disjuntor:

- O fecho do(s) seccionador(es) só é possível se o disjuntor estiver aberto e o painel de acesso colocado no lugar;

- O fecho do(s) seccionador(es) de Terra só é possível se o(s) seccionador(es) estiverem abertos;
- A abertura do painel de acesso só é possível se:
- O disjuntor estiver aberto e encravado;
- O(s) seccionador(es) estiver(em) aberto(s);
- O(s) seccionador(es) de Terra estiver(em) fechado(s).

Nota: É possível encravar o(s) seccionador(es) na posição aberto(s) para manobrar o disjuntor em vazio.

Além dos encravamentos funcionais, cada seccionador ou interruptor possui:

- Encravamentos por cadeado integrados (cadeados não fornecidos);
- 4 perfurações destinadas a receber uma fechadura cada (fornecida por encomenda), para eventuais encravamentos por fechaduras ou chaves.

Os encravamentos referidos obedecem aos requisitos exigidos pelas normas internacionais indicadas anteriormente.

Após estarem referidos alguns dos ensaios efetuados por um Verificador de Qualidade perante uma cela de média tensão, pretende-se introduzir um dos ensaios mais críticos e determinantes no funcionamento de um produto de média tensão, denominado de ensaio dielétrico. Este termo, tal como o nome rigidez dielétrica, são normalmente utilizados na Unidade. No entanto, e de acordo com a norma, este ensaio também pode ser referido como um dos seguintes termos: ensaio de potência, ensaio à frequência industrial e teste de resistência (de fonte separada ou à tensão induzida), sendo termos utilizados na realização das instruções operacionais (Ensaio Dielétrico em Fábrica e Ensaio Dielétrico em Serviço). A IO referente ao Ensaio Dielétrico em Fábrica refere-se à análise de um Verificador de Qualidade perante os ensaios dielétricos de cinco produtos distintos, de distribuição primária e secundária, servindo como guia de ensaio na receção a clientes em fábrica, de forma a explicar o procedimento de ensaio e consciencializar tanto os clientes como todos os colaboradores da Unidade AMT do perigo adjacente. Esta IO serviu como base à realização da Instrução Operacional referente ao Ensaio Dielétrico em Serviço,

sendo um guia de ensaio para a realização de ensaios dielétricos a produtos de distribuição primária no local de instalação, sendo um pedido cada vez mais frequente dos clientes.

4.2.3. ENSAIOS DIELÉTRICOS

Os ensaios dielétricos das celas de média tensão devem ser realizados de acordo com as normas IEC 62271-1 e IEC 60060-1, na qual se denomina, entre outros termos, como *ensaio à frequência industrial* [29].

Critério de validação - considera-se que o produto de média tensão e os seus componentes passaram ao ensaio se nenhuma descarga disruptiva ocorrer.

Tensão nominal (Un) - a tensão nominal é igual à tensão máxima do sistema para o qual o equipamento se encontra projetado. Este indica o valor máximo da "mais alta tensão do sistema" de redes que o equipamento possa ser utilizado. Os produtos de média tensão em estudo têm os valores de tensão nominal apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 Tensão nominal dos produtos de média tensão em estudo

NORMAFIX	FLUOFIX	DIVAC	NORMACEL	QBN7	IAT
24 kV	24 kV	36 kV	24 kV	36 kV	24 kV

Condições para a aplicação da tensão - os valores das tensões aplicadas devem estar em conformidade com os valores da tabela relativa ao nível de isolamento estipulado, tabela apresentada na norma IEC 62271-1. Na Tabela 9 são apresentados valores de tensão a aplicar, mediante o tipo de ensaio (Fase-Terra ou Fase-Fase), para tensões nominais de 24 kV e 36 kV. O ensaio consiste na aplicação de uma tensão que deve ser mantida durante um minuto.

Tabela 9 Nível de isolamento estipulado (norma IEC 62271-1: 4.2)

Tensão Nominal U_r (kV) - RMS	Tensão Nominal da Frequência Industrial U_d (kV) - RMS	
	Fase-Terra	Fase-Fase
24	50	60
36	70	80

Como se pode ver, a norma IEC 62271-1: 4.2 (Nível de isolamento nominal) indica que existem duas formas de realização de um ensaio dielétrico:

- i. Ensaio Fase-Terra;
- ii. Ensaio Fase-Fase.

A Unidade AMT apenas pretende formalizar a realização do Ensaio Fase-Terra, sendo este o mais utilizado. Neste caso, numa cela, o interruptor-seccionador ou disjuntor deve estar no estado fechado. O valor total da tensão é aplicada a uma fase e as outras duas fases, juntamente com a estrutura da cela, são ligadas à Terra, como se percebe na Figura 49.



Figura 49 Montagem do ensaio numa cela de distribuição secundária.

Antes do início do teste, é muito importante realizar uma inspeção visual à natureza dos materiais, qualidade de montagem, ao acabamento e, se necessário, verificar o isolamento contra a corrosão da própria cela, de modo a garantir o bom isolamento térmico.

No interior de cada cela de média tensão poderá haver um interruptor-seccionador/disjuntor de média tensão para além de um fusível por fase (compartimento de cabos). Em qualquer um dos casos, as condições a seguir referidas na Tabela 10 poderão ou não ser aplicáveis.

Tabela 10 Condições necessárias para realização do ensaio dielétrico

Operação/Produto	DIVAC	NORMAFIX	FLUOFIX	NORMACEL	QBN7
Verificar que o produto se encontre limpo de poeiras, humidade, etc.	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
As unidades em teste devem ser completamente assembledas.	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
Todos os seccionadores de Terra devem estar abertos e qualquer Terra temporária deve ser removida.	Não aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
Verificar os marcadores/torque do barramento.	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
A tensão de teste deve ser aplicada em cada fase, sendo que as outras fases devem estar ligados à Terra. O teste deve ser repetido nas outras fases de forma semelhante.	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
A tensão de teste pode ser aplicada nas três fases em simultâneo.	Aplicável	Não Aplicável	Não Aplicável	Não Aplicável	Não Aplicável
A corrente de fuga para cada fase em teste é anotada e registrada.	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
O teste deve ser realizado com os disjuntores em posição de serviço e no estado fechado.	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
O teste deve ser realizado com fusíveis ou, caso não haja em fábrica, com barras de alumínio (para conectar o barramento ao compartimento de cabos).	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Não Aplicável	Não Aplicável
Certificar que todos os transformadores de tensão sejam extraídos.	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável

Os para-raios, se existentes, devem ser desconectados das barras primárias.	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável
Os terminais secundários dos transformadores de corrente devem estar em curto-circuito e ligados à Terra.	Não Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável	Aplicável

No entanto, apesar de todas as condições referidas se aplicarem em ambiente de fábrica, nem todas se aplicam em ambiente de serviço. Caso haja necessidade por parte do cliente de realizar novamente o ensaio, a equipa de Inspeção e Ensaio indica que deverá aplicar uma tensão de teste correspondente a 80% da tensão estipulada, comprovando a informação através do recurso normativo. Esta condição está na norma IEC 62271-1: 4.2 – Nível de isolamento nominal, que cita que, devido ao grande desgaste que o equipamento sofre durante um minuto, uma repetição do ensaio deve ser realizado a 80% da tensão exigida [25]. Para além disso, a Instrução Operacional para realização do ensaio no local de instalação difere do modo de operação na unidade fabril. Para uma melhor compreensão das diferenças operacionais entre o ensaio realizado em fábrica e o ensaio em local de serviço, apresenta-se nas seguintes figuras as condições necessárias para a realização do ensaio dielétrico na unidade fabril (Figura 50) e no local de instalação (Figura 51).

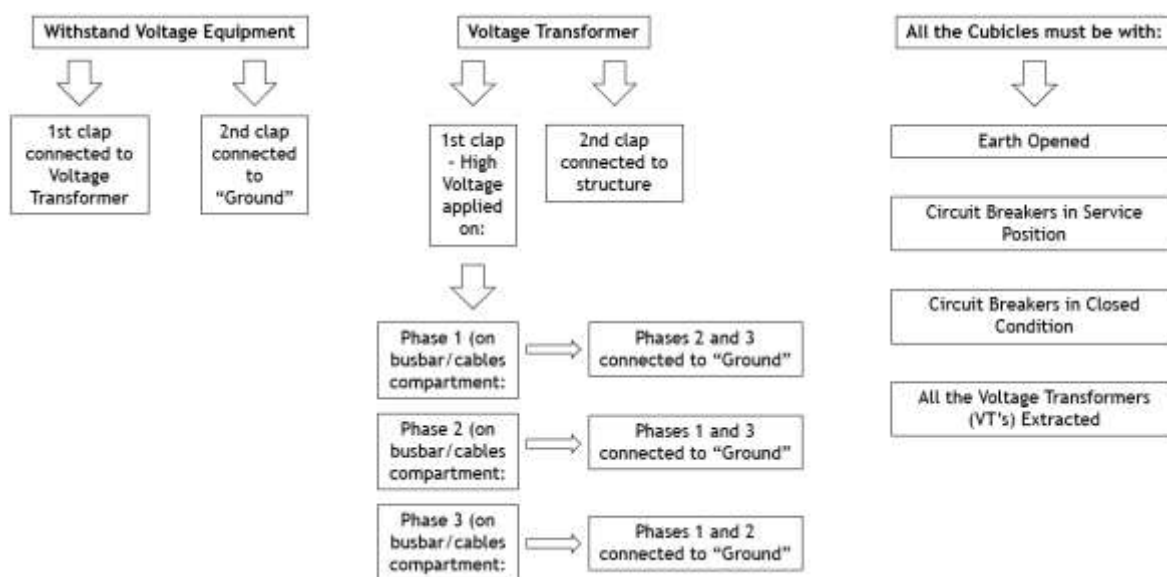


Figura 50 Condições para realização do ensaio dielétrico em fábrica.

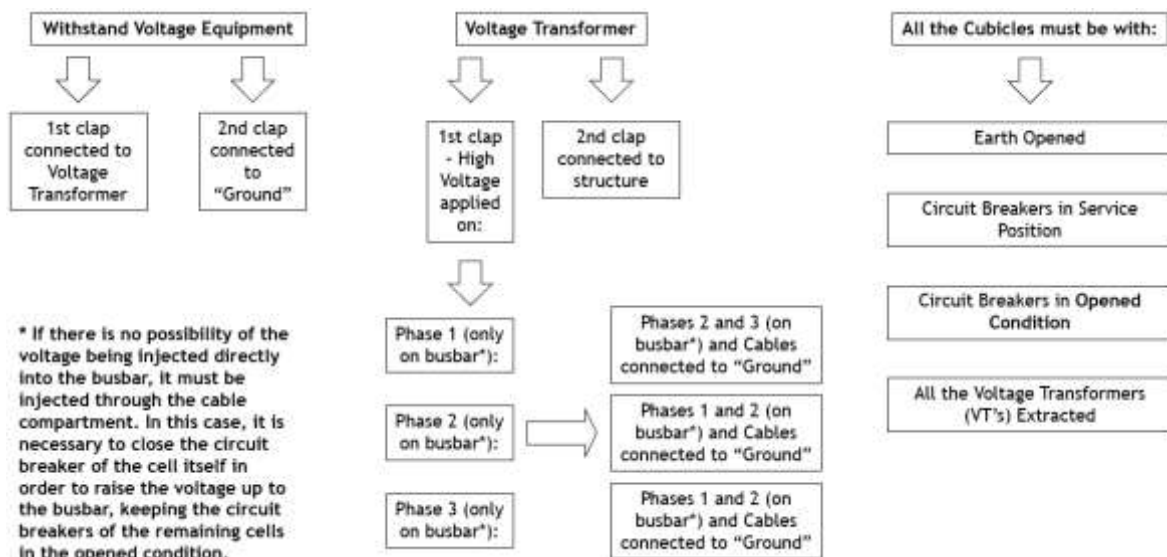


Figura 51 Condições para realizar o ensaio em ambiente de serviço.

No primeiro esquema, como se pode ver, caso haja disjuntores, eles têm de estar introduzidos e fechados. No segundo esquema, a única diferença está no facto dos disjuntores estarem no estado aberto à exceção da cela onde será aplicada a tensão. Nesta cela, fecha-se o disjuntor, de forma a haver passagem de tensão dos cabos para o barramento. Em ambiente de serviço, é a única hipótese de realizar o ensaio, visto que o acesso ao compartimento do barramento é de difícil acesso.

A diferença consiste, então, no modo de aplicação da tensão de teste. Na representação esquemática apresentada na Figura 52, está representada a montagem dos equipamentos de ensaio para realização do teste na fase 1, em fábrica. Nesta situação, como todos os compartimentos do barramento estão com os painéis traseiros extraídos, pode-se aplicar a tensão de teste diretamente no barramento.

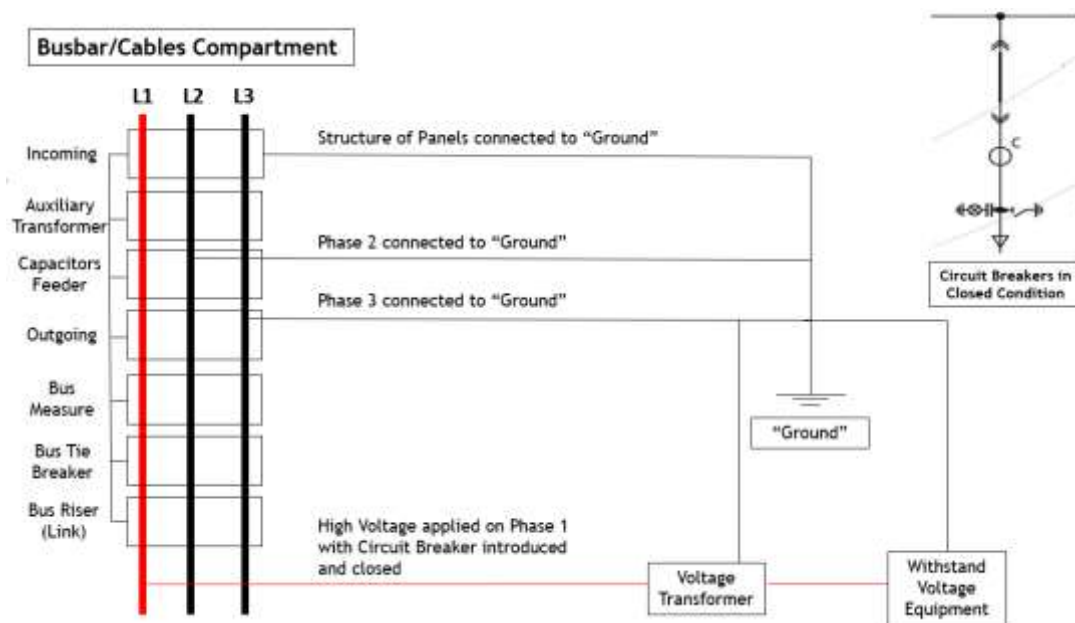


Figura 52 Realização do ensaio dielétrico em fábrica.

Caso o quadro elétrico se encontre instalado no local de serviço e o proprietário pretenda realizar este ensaio, apenas poderá fazê-lo através da injeção de tensão nos cabos, visto que o acesso ao barramento é de difícil acesso. Nesse caso, a tensão terá de ser aplicada através dos cabos de entrada/saída, tendo o disjuntor da própria cela que estar inserido e fechado, de forma a haver passagem de tensão para o compartimento do barramento. Na Figura 53 apresenta-se a montagem de equipamentos para realização do ensaio na fase 1 no local de instalação.

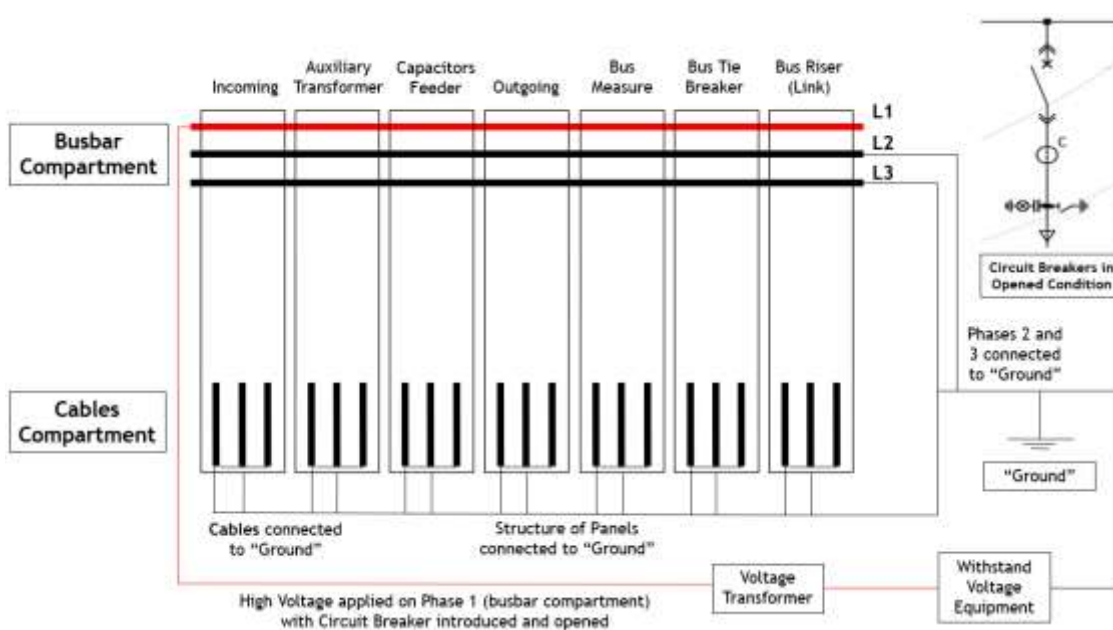


Figura 53 Realização do ensaio dielétrico no local de serviço.

Desta forma, uma das operações comuns a todos os produtos para a realização do ensaio, incide na colocação do interruptor-seccionador/disjuntor na posição fechado. A Figura 54 mostra a sequência para colocar um interruptor-seccionador na posição fechado usando a manivela de desencravamento, sendo que a posição inicial é de interruptor-seccionador aberto/seccionador de terra aberto.



Figura 54 Sequência de comando numa cela de distribuição secundária.

Alguns produtos contêm uma ampola (interruptor-seccionador) com isolamento em SF₆ (hexafluoreto de enxofre), sendo o seu objetivo a extinção de disrupções/arcs elétricos. Assim, o foco inicial reside em garantir que a ampola tem os níveis de pressão adequados. Mediante a temperatura ambiente, a pressão deste gás deverá ter determinados valores, sendo estes valores tabelados de acordo com a norma, como mostrado na Tabela 3. Na Figura 55 apresenta-se a ampola e a tampa de enchimento (mostrada no meio da figura), sendo a última acedida pelo verificador para medição da pressão do gás, sendo depois selada. Como se pode ver, a tampa já se encontra com os furos de abertura selados, para salvaguarda da empresa perante uma possível adulteração.



Figura 55 Ampola de isolamento a SF₆ e respetiva tampa de enchimento.

Após estes passos, mediante o produto em causa, o processo diverge. Por isso, a sequência operacional dos ensaios à frequência industrial encontra-se na Instrução Operacional, no CD em anexo. Nesta IO, para além dos requisitos de saúde e de segurança [3], tem-se a descrição do processo para cada um dos seguintes produtos: DIVAC, NORMAFIX, FLUOFIX, NORMACEL e QBN7, sendo estes dois últimos denominados pela Unidade AMT, por *Extraíveis*. Mediante as tensões de serviço dos produtos, foram aplicadas tensões de teste (de acordo com a norma IEC 62271-1: 4.2 – Nível de isolamento nominal [25]) durante 60 segundos para verificar o isolamento do produto.

Com isto, convém recordar o conceito do ensaio. O Ensaio Fase-Terra consiste na verificação da rigidez dielétrica do meio, ou seja, em verificar se a distância de isolamento proporcionada pelo dielétrico, suporta o valor de tensão estipulado. Se não ocorrer nenhuma descarga disruptiva (disrupção) nas três fases, o ensaio é considerado válido e, só assim, se conclui que o dielétrico existente entre Fase-Terra está devidamente dimensionado para os valores pretendidos, ou seja, as distâncias entre as fases estão corretamente dimensionadas. Caso ocorram disrupções, poderão ter origem num mau dimensionamento ou fabrico do produto de média tensão, pois uma pequena variação de milímetros entre as fases pode alterar drasticamente em algumas centenas de quilovolts o valor suportado.

4.2.4. IAT – INTERRUPTOR AÉREO COM TT PARA SERVIÇOS AUXILIARES

O produto IAT é relativamente novo, comparativamente com os produtos anteriormente referidos. Para além disso, já existe um número muito considerável de encomendas para um produto desta gama, mas com um TT para serviços auxiliares (alimentação de um armário de comando). As encomendas são provenientes de um cliente francês, ERDF (*Électricité Réseau Distribution France*) com destino à Argélia, e encontram-se pendentes devido à alegada impossibilidade de realizar o seu ensaio dielétrico. O Anexo B apresenta uma breve descrição do produto em estudo, juntamente com a placa de características.

Apresentação do produto IAT da encomenda ERDF

Este produto, designado por IAT, é um invólucro metálico em forma de cilindro, conforme se pode observar na Figura 56, que terá o propósito de servir como um interruptor aéreo.



Figura 56 IAT com invólucro metálico selado.

A sua constituição resume-se a um conjunto de isoladores-condensadores por fase, uma ampola com isolamento em SF6, barramento, um transformador de tensão e uma régua de bornes com circuitos de aquecimento e iluminação, como se pode ver na Figura 57.

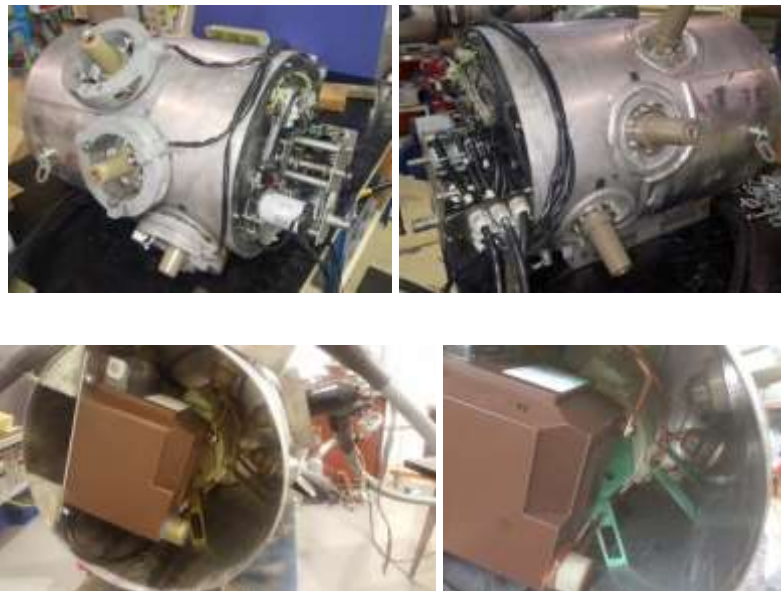


Figura 57 Exemplo de IAT com transformador de tensão para serviços auxiliares.

A régua de bornes encontra-se no exterior do invólucro e encontram-se os circuitos de baixa tensão (aquecimento, iluminação e secundário do transformador, juntamente com um fusível). A tensão proveniente do secundário do transformador servirá para alimentar os circuitos de aquecimento e iluminação do próprio IAT e, principalmente, o armário de comando situado no solo da instalação, sendo a alimentação de uma UPS (*Unit Power Supply*) através de um conversor CA-CC, dado que este equipamento opera com corrente contínua. Trata-se assim, de um transformador de tensão apenas para serviços auxiliares.

Alegada impossibilidade do ensaio

Como já foi referido na Tabela 10 e de acordo com a norma, para um ensaio à frequência industrial em celas de média tensão, os transformadores de tensão devem ser extraídos, de forma a evitar a saturação do núcleo magnético. Por isso, em celas de média tensão deve haver sempre a hipótese da sua extração. No entanto, neste produto específico é diferente, pois a alegada impossibilidade do ensaio neste produto deve-se ao seu processo de montagem. No produto final, os terminais do primário do TT estarão soldados no barramento no interior do invólucro, tornando-se impossível proceder à extração do próprio transformador. Desta forma, a saturação do núcleo magnético iria ser um fenómeno constante perante a aplicação da tensão de teste (50 kV), nomeadamente nas fases 1 e 2, isto porque estas fases estarão ligadas aos terminais P1 e P2 do primário do TT, respetivamente. Trata-se assim, de uma limitação decorrente da conceção deste produto, de modo que, devido à exigência do cliente, era necessário criar um planeamento do ciclo produtivo diferente do planeamento apresentado na Figura 58, em que o ensaio seria realizado no momento anterior à montagem do TT.

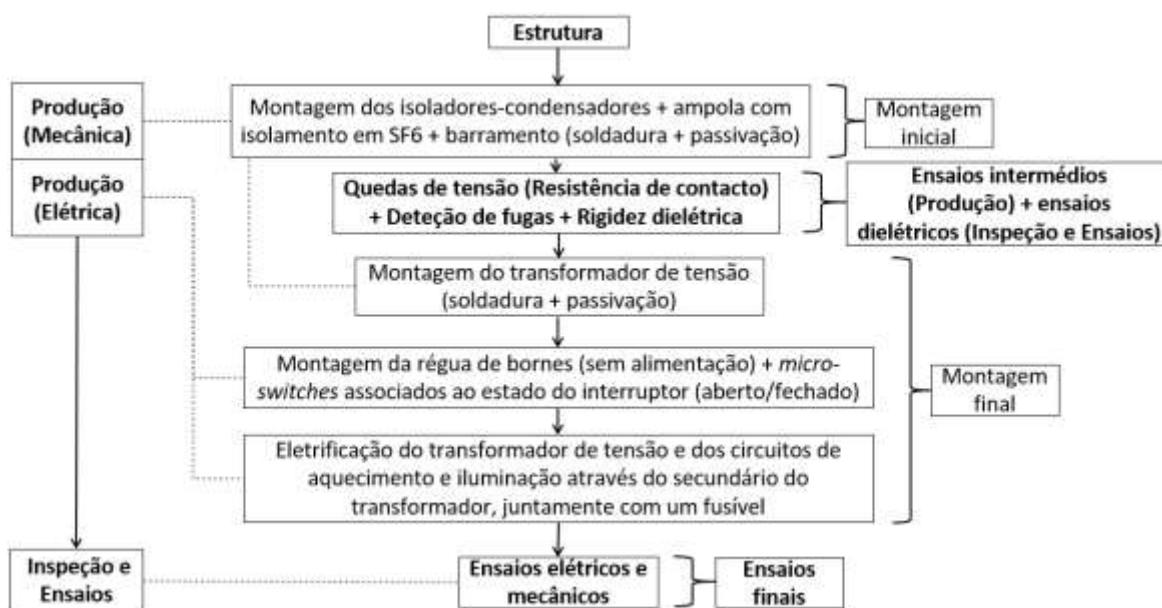


Figura 58 Processos de montagem e verificação planejados.

Este planeamento tinha fortes implicações técnicas e económicas na viabilidade do produto, pois era constituído por um grande número de etapas desde o início (estrutura do IAT) até ao fim (ensaio final). Influenciaria negativamente nos tempos de montagem, eletrificação e de verificação, pois consistia numa abordagem conjunta, mas totalmente

dependente entre Produção e Inspeção e Ensaios, em que era necessário interromper o processo de montagem do IAT para se poder realizar um ensaio tão demorado como o ensaio dielétrico. Devido à participação de ambas as equipas em simultâneo, não era eficiente nem eficaz. Na Figura 59 apresenta-se a etapa inicial do ciclo produtivo, isto é, a montagem dos isoladores, ampola em SF6 e barramento.



Figura 59 Montagem inicial do IAT (previamente ao TT).

Nesta configuração, o produto seria submetido à rigidez dielétrica e apenas após este ensaio, é que se iria proceder à montagem do TT. Caso não houvesse a exigência por parte do cliente, procedia-se ao descrito, pois o fabricante do TT garantia a qualidade exigida pela legislação técnica, através das certificações respetivas aos ensaios impostos. Só por isso, é que se procedia à realização do ensaio no momento anterior à montagem do TT.

Com o planeamento apresentado na Figura 58, o atraso seria ainda mais significativo nos tempos de verificação devido ao facto do ensaio dielétrico se tornar um ensaio individual, sendo preferível para este tipo de ensaios a sua realização sistemática (ex.: em série).

Exigência do cliente ERDF

Os requisitos exigidos pela ERDF, nomeadamente a experiência do auditor/inspetor da encomenda, incidem na realização do teste apenas no produto final. Dando resposta à exigência do cliente (uma solução para a realização do ensaio com o TT), os processos de montagem, eletrificação e de verificação tornar-se-iam viáveis, pois haveria uma maior independência entre Produção e Inspeção e Ensaios. No planeamento apresentado na Figura 60, os ensaios dielétricos são realizados juntamente com os restantes ensaios (final do processo), situação aplicada nos produtos de média tensão abordados na IO. Desta forma, todo o processo seria mais eficiente e eficaz, para além de que haveria maior viabilidade na realização do ensaio em série.

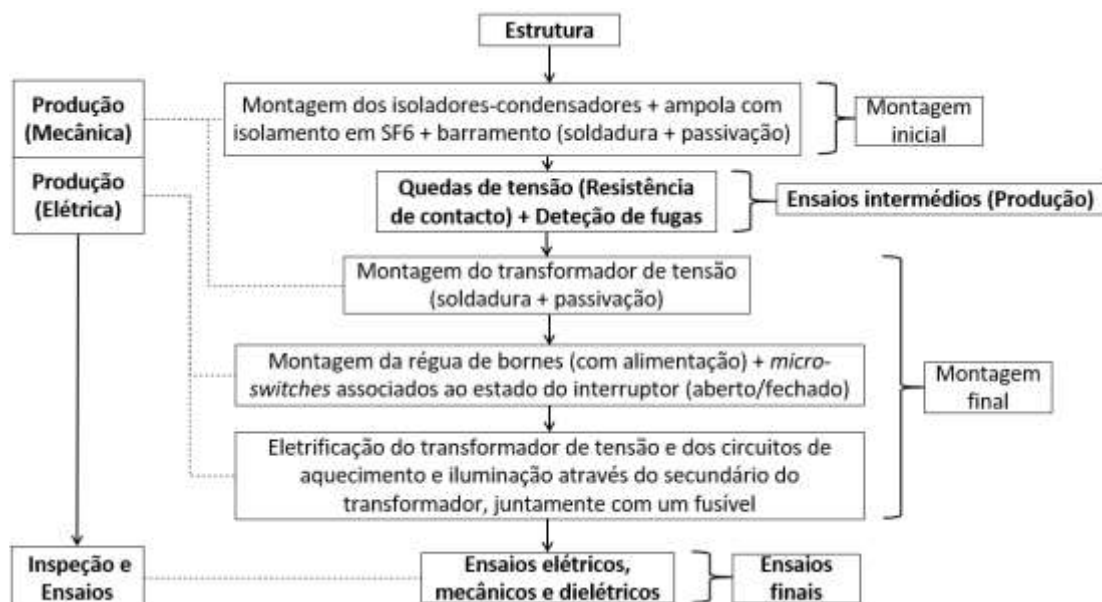


Figura 60 Processos de montagem e verificação pretendidos.

Sugestão de ensaio

Primeiramente, sugeriu-se uma forma de realizar o ensaio. Visto que após a montagem do transformador, as linhas do secundário continuariam alcançáveis pelo Verificador de Qualidade, poderia ser uma alternativa viável. Na Figura 61 consegue-se observar a vista frontal do IAT após outro tipo de ensaio destrutivo – ensaio do arco interno.



Figura 61 Vista frontal do IAT após ensaio do arco interno.

Para a realização do ensaio do arco interno (Ensaio de Tipo), foi necessário efetuar uma simulação em laboratório do local de serviço. Assim, para efeitos de homologação do produto, tem-se no Anexo D um plano da instalação do equipamento no local de serviço, estando na Figura 62 o resultado desse tipo de ensaios.

Com a Figura 61, comprova-se a acessibilidade da régua de bornes, estando destacadas as linhas do secundário do transformador. Assim sendo, na proposta apresentada na Figura 62, o teste dielétrico seria efetuado ao IAT, mas não haveria aplicação direta no transformador, visto que os terminais do primário iriam estar curto-circuitados.

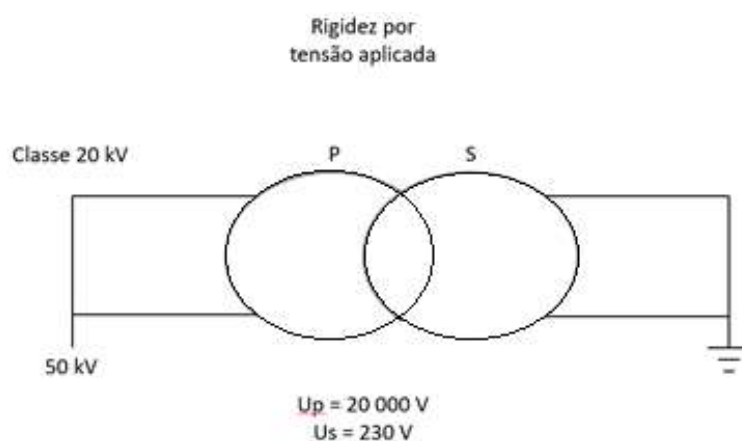


Figura 62 Rigidez pela tensão aplicada.

Sendo curto-circuitados, encontram-se ao mesmo potencial (50 kV), o que impossibilita a circulação de corrente elétrica e, conseqüentemente, a indução eletromagnética. Desta forma, devido ao facto de o ensaio ser efetuado novamente ao IAT, com a exclusão do TT, não correspondia às exigências do cliente.

Investigação e Análise

Tornou-se então urgente e necessário o desenvolvimento de uma solução, sendo que o foco inicial do trabalho incidiu na análise de todas as informações relevantes para o caso em estudo. A investigação e análise encontra-se dividida pelos passos a seguir enumerados:

1. Análise das características do TT;
2. Análise de funcionamento do produto IAT com TT para serviços auxiliares;
3. Revisão dos conceitos de eletrotecnia e respetivas fórmulas;
4. Consulta das normas internacionais;
5. Confirmação da hipótese através da análise de relatórios.

1. Análise das características do TT

Conforme descrito, começou-se por uniformizar as características do transformador em causa, pelo que foi necessário consultar o catálogo do fabricante (RITZ), de forma a registar as propriedades elétricas dos transformadores passíveis de serem utilizados no produto IAT – Anexo C. De acordo com o catálogo do fabricante, existem três tensões de serviço para este tipo de transformadores, dependendo da tensão em causa na linha de distribuição: 12, 17,5 e 24 kV [31]. No entanto, a ERDF necessita de um interruptor aéreo preparado para funcionar a uma tensão de serviço (tensão recebida pelo primário do transformador) de 20 kV e uma tensão no secundário de 230 V, como se pode ver no excerto do esquema elétrico apresentado na Figura 63.

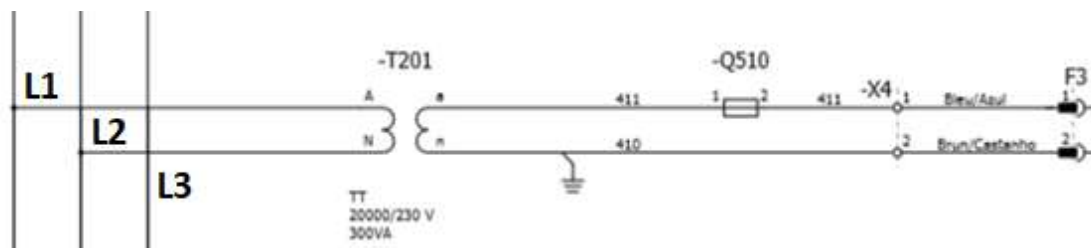


Figura 63 Excerto das ligações do transformador no esquema elétrico do IAT.

As tensões de 20 kV no primário e de 230 V no secundário referem-se a uma nova gama de transformadores de tensão, ainda não existente em catálogo por parte do fabricante, sendo então um produto personalizado para a Unidade AMT. Estas características estão apresentadas na Figura 64.



Figura 64 Etiqueta de características do transformador de tensão.

2. Análise de funcionamento do produto IAT com TT para serviços auxiliares

Em segundo lugar, procedeu-se à análise do funcionamento do produto, sendo necessário recorrer à eletrificação do transformador no interior do interruptor aéreo. Como se pode ver na Figura 65, o enrolamento primário, P1 e P2, estarão acoplados a duas fases, L1 e L2, respetivamente, numa tensão de serviço de 20 kV. Quanto ao secundário do transformador, dispõe apenas de uma relação de transformação, sendo de 230 V (1S2) com 1S1 como enrolamento comum.

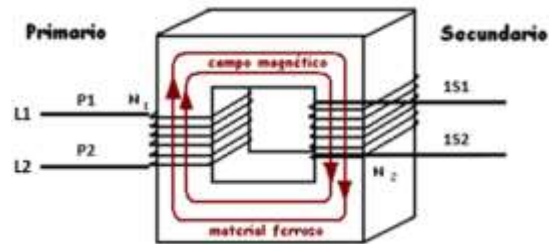


Figura 65 Eletrificação do TT para serviços auxiliares em regime de serviço.

3. Revisão dos conceitos de eletrotecnia e respetivas fórmulas

No terceiro passo, de forma a iniciar a resolução do problema, recordaram-se determinados conceitos de eletrotecnia e respetivas fórmulas matemáticas, com o objetivo de obter uma relação com a tensão aplicada num ensaio à frequência industrial. Estes conceitos e fórmulas estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 Conceitos relacionados e respetivas fórmulas

Circuito	Variável	Fórmulas e condições	Unidade
Resistência	R – puramente resistivo	R	Ohms
Indutância	L – puramente indutivo (impedância do indutor)	XL – reatância indutiva $XL = \omega \cdot L = 2 \pi \cdot f \cdot L$	Henrys
Capacitância	C – puramente capacitivo (impedância do capacitor)	XC – reatância capacitiva $XC = -\frac{1}{\omega \cdot C} = -\frac{1}{2 \pi \cdot f \cdot C}$	Faradays

Impedância	Z	$Z = R$ ou X_L ou X_C (se houver apenas uma) $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ (Se houver R e um tipo de X) $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ (Se houver R, X_L e X_C)	Ohms
-------------------	---	---	------

Um conjunto de medições permitiu concluir de que a capacitância poderia ser desprezável, tratando-se então de um produto puramente indutivo. Assim sendo, a impedância é dada pela expressão seguinte:

$$Z = R + X_L \Rightarrow Z = \frac{U}{I} \Rightarrow I = \frac{U}{Z}$$

Nos seguintes cálculos, utilizou-se 20 kV ao invés de 12, 17,5 e 24 kV, pois corresponde à tensão no primário, exigida pelo cliente ERDF. Visto que o cliente exige uma tensão de 20 kV no primário do transformador, os cálculos realizados de seguida estarão assentes neste valor.

De modo a manter a corrente, ao elevar a tensão de 20 000 V (tensão do primário do transformador) para 50 000 V (tensão de teste dielétrico a aplicar de acordo com a norma), teremos de elevar proporcionalmente a impedância (Z). Considerou-se desprezar a capacitância, de modo que se trate de um circuito puramente indutivo. Assim, a impedância (Z) iria ser elevada através da seguinte expressão:

$$Z = X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Pode-se então concluir que a única variável que pode sofrer alteração é a frequência (f), visto que 2π e L são valores fixos.

4. Consulta das normas internacionais

Assim, com uma frequência mais elevada, a questão poderia ser resolvida, pelo que foi necessário recorrer à consulta das normas internacionais envolvidas, de modo a verificar a possibilidade de realizar o ensaio desta forma. Em relação ao quarto passo, analisaram-se as normas assentes no ensaio à frequência industrial, nomeadamente a IEC 60060-1, da qual remete para outra norma – IEC 61869-3. Assim, existem duas normas internacionais diretamente relacionadas com os ensaios dielétricos e, particularmente, o caso em estudo:

- 1) IEC 60060-1 – *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements* [29];
- 2) IEC 61869-3 – *Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers* [32].

Procedeu-se a uma análise mais específica na norma IEC 61869-3, esta aborda, entre outras, situações particulares do ensaio à frequência industrial. Na norma, este ensaio refere-se como teste de resistência e separa-o em dois tipos distintos, mediante o produto em teste: teste de resistência de fonte separada e teste de resistência à tensão induzida [32]. A distinção dos tipos de ensaios dielétricos é feita nas seguintes cláusulas da norma IEC 61869-3:

- 7.3.1.302;
- 7.3.1.303, nomeadamente o ponto 7.3.1.303.2.

Como já foi referido no terceiro passo, de forma a evitar a saturação do núcleo magnético dos transformadores de tensão, a corrente de ensaio com 20 000 V deve permanecer a mesma com 50 000 V (tensão aplicada no ensaio dielétrico para este produto). Para que a corrente permaneça a mesma, a frequência de ensaio deverá ser mais elevada, o que implica uma duração do teste mais reduzida, conforme indica a cláusula 7.3.1.303, no ponto 7.3.1.303.2 da norma IEC 61869-3. No seguimento da análise desta norma, surge uma cláusula a indicar que existe um tempo associado ao ensaio dependendo do tipo de ensaio e, conseqüentemente, da frequência aplicada. A Figura 66 mostra o excerto dessa cláusula, sendo o ponto 9.2.1 da norma IEC 61869-3 [32].

9.2.1 General

The power-frequency withstand test shall be performed in accordance with IEC 60060-1.

For separate source withstand test the duration shall be 60 s.

For the induced voltage withstand test, the frequency of the test voltage may be increased above the rated value to prevent saturation of the core. The duration of the test shall be 60 s. If, however, the test frequency exceeds twice the rated frequency, the duration of the test may be reduced from 60 s as below:

$$\text{duration of test (in s)} = \frac{(\text{twice the rated frequency})}{\text{test frequency}} \times 60$$

with a minimum of 15 s.

Figura 66 Duração do teste à tensão induzida - Norma IEC 61869-3.

Pode-se verificar que a duração do teste de resistência de fonte separada deve ser 60 s, situação aplicada nos produtos anteriormente referidos – DIVAC, NORMAFIX, FLUOFIX e *Extraíveis* (NORMACEL e QBN7). Quanto ao IAT, sendo um produto com um transformador de tensão embutido, o ensaio deverá ser realizado de acordo com o seguinte tipo: *teste de resistência à tensão induzida*. Assim, a fórmula apresentada na Figura 66 é aplicada apenas em produtos indutivos. A fórmula indica que, se a frequência de teste exceder duas vezes a frequência nominal, a duração do teste poderá ser reduzida, até um mínimo de 15 s. Assim, não há cálculos especiais para a frequência necessária se for pelo menos duas vezes a frequência nominal, como se demonstra de seguida.

Fórmula: Duração do teste (s) = $\frac{2 \times \text{frequência da rede (nominal)}}{\text{frequência de teste}} \times 60$

Exemplos: Duração do teste (s) = $\frac{2 \times 50}{200} \times 60 = 30$

Duração do teste (s) = $\frac{2 \times 50}{300} \times 60 = 20$

Duração do teste (s) = $\frac{2 \times 50}{400} \times 60 = 15$

Duração do teste (s) = $\frac{2 \times 50}{100} \times 60 = 60$

No último exemplo, utilizando uma frequência de 100 Hz (2x a frequência nominal), o tempo de ensaio permanece em 60 s. Isto acontece porque, conforme foi referido na norma, o tempo de ensaio apenas é reduzido se a frequência for mais elevada que 100 Hz. A partir de 400 Hz, o tempo de ensaio permanece em 15 s.

5. Confirmação da hipótese através da análise de relatórios

Como confirmação do ensaio poder ser realizado desta forma, o quinto passo consistiu na consulta de relatórios efetuados no produto e nos equipamentos constituintes, nomeadamente o transformador. Contactou-se novamente o fabricante dos transformadores (RITZ). Foi então disponibilizada a informação de tensão, tempo e frequência de ensaio dielétrico que utilizam nos seus transformadores. Como se pode observar na Figura 67, para uma tensão de 50 kV, utilizou-se uma frequência de 300 Hz num total de 20 segundos. Os 3 kV referem-se a outro tipo de Ensaio de Rotina – rigidez de baixa tensão, sendo um ensaio que consiste na injeção de 3 kV em certos circuitos de BT.

ENSAYOS/ESSAIS/TESTS			
ENSAYOS DIELECTRICOS/ESSAIS			
DIELECTRIQUES/DIELECTRIC TESTS			
A.T. (kV)	50	B.T.(kV)	3
H.T. (kV)		B.T.(kV)	
H.V. (kV)		L.V.(kV)	
Tensión inducida/Tensión induite /Induced Voltage			
50	-kV	20	-seg
		300	-Hz

Figura 67 Ensaio dielétrico – fabricante RITZ.

Por fim, como o produto final teve de ser homologado, teve de ser submetido a Ensaios de Tipo, como rigidez dielétrica. O relatório de homologação do produto apenas poderia ser disponibilizado pelo Departamento de Investigação e Desenvolvimento e poderia conter mais informações acerca deste ensaio. Após a sua disponibilização, consegue-se verificar que foi aplicado uma tensão de 50 kV numa frequência de 150 Hz, como se mostra nos retângulos a preto do excerto do relatório apresentado na Figura 68.

TECNALIA | Inspiring Business

Test configuration	Switch-disconnector	Voltage applied to	Ground connected to	Applied voltage	Power frequency test
1	Open	r	R,S,s,T,t,F	50 kV	OK
	Open	s	S,R,r,T,t,F	50 kV	OK
	Open	t	T,R,r,S,s,F	50 kV	OK
2	Open	R	S,s,r,T,t,F	50 kV*	OK
	Open	S	t,R,r,s,T,F	50 kV*	OK
	Open	T	t,R,r,S,s,F	50 kV	OK
3	Closed	R	S,s,r,T,t,F	50 kV*	OK
	Closed	S	t,R,r,s,T,F	50 kV*	OK
	Closed	T	t,R,r,S,s,F	50 kV	OK

*Those configurations have been tested at 150Hz in order to prevent the saturation of the voltage transformer

- F = frame

Test voltage is raised for each test condition to the test value and maintained for 1 min. Rated short-duration power-frequency withstand voltage is the following:

- Phase-to-earth and between phases: 50 kV (r.m.s. value)

Test frequency has been 50 Hz except in the configurations in which a voltage transformer is located between phases. In those configurations(*), tests have been performed at 150 Hz and for 20 s.

REPORT N° B26-13-AE-01E | PAGE 6 / 15

Figura 68 Excerto do relatório de homologação do produto IAT – cliente ERDF.

Para além da disponibilização do relatório, também foram enviadas algumas imagens correspondentes ao momento anterior da realização do ensaio à frequência industrial. Na Figura 69, consegue-se ver a predisposição do IAT (com o interruptor fechado) no momento anterior à rigidez dielétrica.



Figura 69 Preparação do IAT para realização do teste dielétrico.

No Anexo E está apresentado um excerto de um relatório de ensaio dielétrico por parte de outro fabricante de transformadores de tensão (RS ISOLSEC), sendo parceiro em produtos comercializados no Médio Oriente (o relatório completo encontra-se no CD em anexo). É descrito um ensaio nas mesmas condições das Figuras 68 e 69, com a diferença de serem transformadores com uma tensão nominal de 36 kV, de modo que foi aplicado uma tensão de 70 kV (como a norma exige). Demonstram-se ambos os testes de resistência, sendo que os retângulos a preto correspondem a um teste de resistência de fonte separada e os retângulos a cinzento correspondem a um teste de resistência à tensão induzida.

Procedimentos de ensaio

As normas citadas também indicam a forma de realização dos ensaios, tendo em conta a particularidade do produto. De seguida, apresentam-se os procedimentos indicados pelas normas para a realização de ensaios dielétricos neste tipo de produtos (teste de resistência à tensão induzida) e para os produtos abordados anteriormente (teste de resistência de fonte separada).

Teste de resistência à tensão induzida: cláusula 7.3.1.303 da norma IEC 61869-3 (ponto 7.3.1.303.2)

Total de 1min:

- 1) Aplicar a tensão (50 kV) em cada terminal primário por 30 s;
- 2) Estrutura, terminal de cada enrolamento secundário e o outro terminal do enrolamento primário ligados à Terra [32].

Obs: quando aplicado em L1 e L2 (fases de acoplamento ao TT), o tempo de ensaio deve ser dividido em cada. (por ex.: 50 kV, 200 Hz, 30 s em L1 e 50 kV, 200 Hz, 30 s em L2)

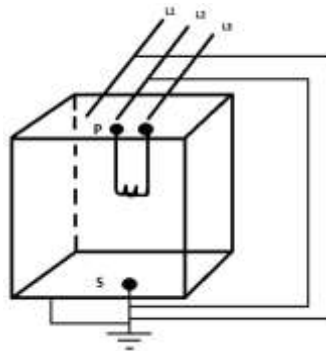


Figura 70 Ligações do IAT para teste de resistência à tensão induzida.

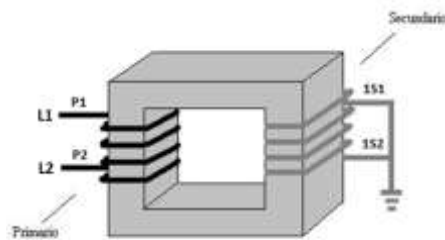


Figura 71 Ligações do TT para realização do ensaio dielétrico.

Teste de resistência de fonte separada: cláusula 7.3.1.302 da norma IEC 61869-3

- 1) Aplicar a tensão (50 kV) entre os terminais primários e a Terra. (50 kV, 50 Hz, 1 min) [32]

Seleção de equipamentos para ensaio

Ultrapassada a parte técnica e normativa de ensaios, tem lugar o da seleção do equipamento de rigidez com melhor custo/benefício. Tendo em conta toda a pesquisa efetuada e posterior análise perante o desafio de realizar o ensaio dielétrico num produto com um TT embutido, procedeu-se ao contacto comercial com o objetivo de encontrar o equipamento de rigidez com as características técnicas necessárias para efetuar o ensaio sem necessidade de extrair o TT do produto. Visto que de momento, a fábrica apenas

disponibiliza equipamentos com frequência fixa, é necessário um equipamento de rigidez que, com um TT de 20 000/230 V ligado em condições normais de funcionamento, consiga-se submetê-lo a uma tensão de teste de 50 000 V. Apenas é possível manter a mesma corrente com a subida de tensão, se o equipamento tiver uma frequência variável (200, 300 ou 400 Hz). No entanto, caso houvesse possibilidade de utilizar também uma frequência de 60 Hz, seria bastante útil para ensaios dielétricos em produtos com destino ao Médio Oriente. Até ao momento, estes produtos são submetidos ao teste dielétrico com uma frequência de 50 Hz, visto que é a única frequência utilizada pelos equipamentos de ensaio na fábrica. De acordo com a norma, não havendo possibilidade de utilizar uma frequência de 60 Hz (frequência industrial do Médio Oriente), o tempo de ensaio deve ser ajustado. Assim, o ensaio dielétrico em fábrica à frequência industrial de 50 Hz tem sido realizado com a subida do tempo de ensaio de 60 s para 72 s, conforme a norma exige. Quanto à seleção do equipamento, os fabricantes contactados necessitavam de mais informações acerca do produto em causa, de forma a poderem fazer uma proposta. Tendo em conta que para algumas marcas, o equipamento de rigidez teria de ser construído (produto personalizado), a informação descrita na Tabela 12, disponibiliza todas as características necessárias para o equipamento de rigidez apropriado ao produto IAT. As seguintes informações eram normalmente requisitadas pelos fabricantes.

Tabela 12 Informação pedida pelos fabricantes dos equipamentos

Questionnaire/Questionário	Unit /Unid.
<i>Number of phase</i> Número de fases	
<i>Rated primary voltage of the isolated voltage instrument transformer (RMS)</i> Tensão nominal primária do transformador de tensão isolado (RMS)	kV
<i>Highest voltage for equipment U_m (RMS)</i> Maior tensão para equipamentos, U_m (RMS)	kV
<i>Rated secondary voltage of the voltage instrument transformer (RMS)</i> Tensão nominal secundária do transformador de tensão (RMS)	kV
<i>Rated frequency</i> Frequência industrial	Hz

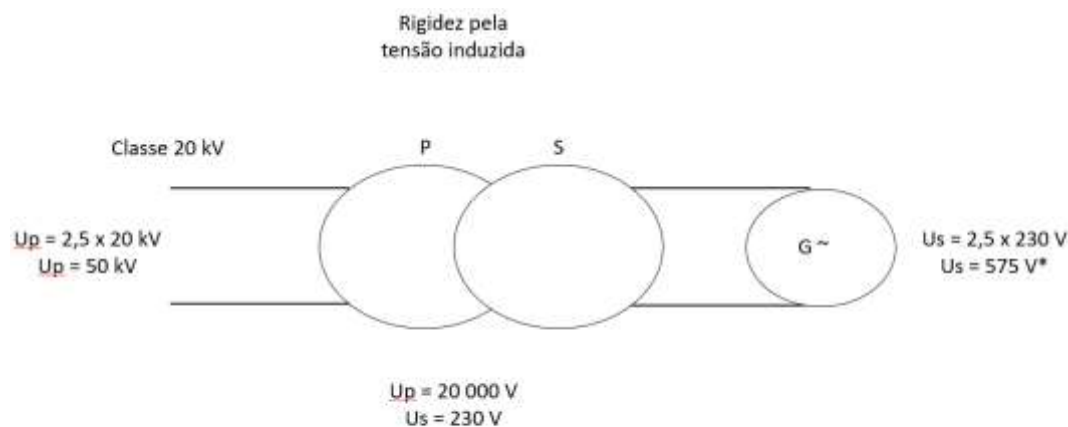
<p><i>Capacitance of primary windings of the voltage instrument transformer pro phase</i></p> <p>Capacidade dos enrolamentos primários do transformador de tensão</p>	nF
<p><i>Total capacitance of primary windings of the voltage transformer and SF6 insulated switch pro phase</i></p> <p>Capacidade total dos enrolamentos primários do transformador de tensão e do interruptor isolado a SF6</p>	nF
<p><i>Are the switch and the voltage transformer together as one unit tested?</i></p> <p>O interruptor e o transformador de tensão estão juntos como uma unidade testada?</p>	
<p><i>Rated power-frequency withstand voltage for secondary winding insulation (RMS)</i></p> <p>Tensão nominal suportada pela frequência de alimentação para isolamento de enrolamento secundário (RMS)</p>	kV
<p><i>Is the equipment for the power-frequency withstand voltage tests on the secondary winding required?</i></p> <p>É necessário o equipamento para os ensaios de alta tensão no enrolamento secundário?</p>	
<p><i>In case of three-phase test objects, the tests can be carried out from phase to phase separately in single-phase mode and also in three-phase mode. Which mode is required?</i></p> <p>No caso de objetos de teste trifásicos, os ensaios podem ser realizados de fase para fase separadamente em modo monofásico e também em modo trifásico. Qual dos modos é necessário?</p>	
<p><i>In case of induced voltage tests at higher frequency (e. g. 200 Hz), the test power supply will be usually applied at the secondary winding of the voltage transformer. Do you agree with this arrangement?</i></p> <p>No caso de ensaios de tensão induzida a uma frequência mais elevada (por exemplo, 200 Hz), a alimentação de teste será normalmente aplicada no enrolamento secundário do transformador de tensão. Você concorda com este acordo?</p>	
<p><i>Is the Partial Discharges (PD) measurement at separate source withstand tests required?</i></p> <p>É necessária a medição de Descargas Parciais (DP) em fonte separada em testes de alta tensão?</p>	
<p><i>Is the Partial Discharges (PD) measurement at induced voltage tests at higher frequency required?</i></p> <p>É necessária a medição de Descargas Parciais (DP) em testes de tensão induzida com maior frequência?</p>	
<p><i>How is the PD test voltage (Phase-Earth) (RMS)?</i></p> <p>Como é a tensão de teste DP (Fase-Terra) (RMS)?</p>	kV
<p><i>How is the permissible PD level of the test object?</i></p> <p>Como é o nível de DP permissível do objeto de teste?</p>	pC
<p><i>How is the background noise level of the test field?</i></p> <p>Como é o nível de ruído de fundo do objeto de teste?</p>	pC
<p><i>Is the PD measuring system required?</i></p> <p>É necessário o sistema de medição DP?</p>	
<p><i>Through put: Objects pro week</i></p> <p>Taxa de testes: Objetos de teste por semana</p>	Piece

Assim sendo, e perante toda a análise efetuada (conceitos relacionados, fórmulas, normas envolvidas, procedimentos de ensaio, esquema de montagem e procura de equipamentos), tomou-se a decisão de disponibilizar todas as informações pedidas pelos fabricantes. Esta disponibilização de dados deveu-se ao facto de ter sido dada aprovação pelo Departamento de Compras, para a compra de um equipamento. Com isto, foram recebidas algumas propostas por fabricantes de todo o mundo. Como mais importante critério de seleção, consideraram-se apenas propostas provenientes do mercado europeu, devido ao facto da assistência técnica se considerar mais atempada e a qualidade ser mais patente, sendo um requisito exigido pelo Departamento de Qualidade. Esta exigência deveu-se a más experiências passadas na compra de equipamentos de ensaio a empresas asiáticas. O histórico negativo deve-se ao serviço pós-venda, sendo que quanto à assistência técnica, ou era demorada ou havia falta de formação na utilização dos equipamentos. Por não se ter encontrado um parceiro fiável no mercado asiático, apenas foram consideradas propostas de equipamentos europeus com os requisitos necessários para a realização do ensaio. Com isto, surgiram quatro propostas por parte das seguintes empresas:

- Versapower (representante da MPS);
- Mohaupt - high voltage;
- Haefely Hipotronics;
- Hundh-mk – H+H High Voltage Technology GmbH.

Alternativa de ensaio

Na sequência das negociações com estes fabricantes, pensou-se noutra proposta de ensaio que, sendo aceite pelo cliente, abdicaria da necessidade de compra de um equipamento. No entanto, havia a dúvida relativa à saturação do núcleo magnético. Esta alternativa de ensaio incidia na aplicação de uma tensão no secundário do transformador que gerasse uma tensão de 50 000 V no primário, como se pode ver na Figura 72.



* Por motivos de dimensionamento das espiras do enrolamento secundário, torna-se mais seguro a aplicação de tensão a uma frequência variável (300 Hz, 20 s)

Figura 72 Rigidez pela tensão induzida.

Para além do dimensionamento das espiras dos enrolamentos secundários (575 V são 2,5 vezes mais elevado do que a tensão dimensionada pelo fabricante, isto é, 230 V), aplicando tensão na fase 1 ou 2 do IAT estar-se-ia nas mesmas circunstâncias, pois ambas as fases estariam sujeitas a uma tensão de 50 kV devido ao facto de estarem acopladas aos terminais do primário do TT, o que não cumpria o isolamento entre fases exigido pela norma.

Equipamento escolhido

Restava a hipótese de ensaio através de uma frequência variável. Apressou-se a compra do equipamento e, por motivos de proximidade, confiança e serviço pós-venda, a Versapower alcançou a posição de alternativa mais viável. Após um período de negociações, avançou-se para a compra de um equipamento com as características apresentadas na Figura 73.



Description of goods

AC Test System 75kV, 15kVA, 50/60/200Hz consisting of:

- Cylinder type test transformer 75kV, 20kVA, 50/60/200Hz
- PD level @Un <5pC - with external coupling capacitor and HV filter

- Internal voltage divider
- Base frame and top electrode
- Cooling system: ONAN
- Control unit with built-in frequency converter and sine filter, switches and low-voltage filter for PD measurement fulfilling European safety and security standards: EN60204-1 and EN ISO13849-1:2006/ IEC62061:2005

Basic functions

- Manual/ semi-automatic/ fully automatic operation mode
- HV on/ off
- Emergency on/ off
- Voltage up/ down/ fast/ automatic
- Voltage indication acc. to IEC60060-1
- Reporting into pdf file
- Timer function
- Programmable sequences (step tests)
- System parameter indication and recording
- HV voltage calibration
- Safety circuit/ interlock acc. to IEC61508/ EN62061/EN ISO13849/ EN60204-1

Dimensions of high voltage transformer

0,8x0,8x1,2m

Weight: approx. 350kg

Dimensions of control cabinet: 0,8x2x0,5m

Weight: approx. 200kg

All equipment mounted to common base frame.

Figura 73 Características do equipamento de ensaio dielétrico escolhido.

Através dos parâmetros apresentados na Figura 73, consegue-se utilizar o equipamento para outros fins, não sendo uma compra única e exclusiva para o produto IAT. Assim, como características mais importantes do equipamento escolhido, realçam-se as seguintes:

- Gama de frequências compreendida nas seguintes escalas: 50/60/200 Hz – para além de conter a gama de 200 Hz (gama admissível num teste de resistência à tensão induzida –

IAT), também tem a possibilidade de utilizar uma frequência de 60 Hz, permitindo realizar testes dielétricos em celas de média tensão com destino ao Médio Oriente, isto é, países com frequência industrial de 60 Hz. Abdica-se assim a necessidade de compensar o tempo de ensaio, visto que se realizava o ensaio à frequência industrial com 50 Hz de frequência;

- Tensão máxima de saída de 75 kV - a tensão máxima de saída de 75 kV informa que o equipamento poderá ser utilizado com várias unidades para teste, pois é uma tensão de saída igual a um equipamento disponível em fábrica, sendo este equipamento utilizado várias vezes para realizar o ensaio a uma dezena de celas de média tensão de uma só vez;
- Condensador externo de acoplamento, filtro de alta tensão e unidade de controlo com conversor de frequência incorporado, interruptores e filtro de baixa tensão para DP (de acordo com as normas citadas na Figura 74 – *Description of goods*) - são componentes necessários para a realização de outro tipo de ensaio, denominado de Descargas Parciais. Até ao momento, existe apenas um equipamento em fábrica capaz de efetuar este ensaio;
- Possibilidade de modo de operação automático - bastante útil, fundamentalmente quando se determina um tempo de ensaio, isto porque alcançado o tempo estabelecido, a descida da tensão é efetuada de forma automática e com a rapidez que se pretende.

4.3 VALIDAÇÃO

A Instrução Operacional relativa à uniformização dos ensaios dielétricos tornou-se uma ferramenta de apoio na receção ao cliente em fábrica, tendo sido já adaptada para uma versão em serviço, caso os clientes pretendam realizar novamente o ensaio no local de instalação. Para além disto, o documento também servirá como base para a realização de ensaios dielétricos na fábrica de Aparelhagem de Média e Alta Tensão na Índia.

No âmbito do Sistema de Gestão da EFACEC, os requisitos institucionais relativos ao tipo e tamanho de letra, aos logotipos utilizados e ao *template* de referência, foram integralmente respeitados. Assim, cada um dos documentos realizados, tornou-se numa IO pertencente ao Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança da EFACEC, sendo que o Dep. de Qualidade (AMT) poderá utilizar no Protocolo de Receção ao Cliente em Fábrica ou anexar ao Relatório de Ensaio. Nos Anexos F e G estão apresentadas as homologações dos documentos referentes ao ensaio dielétrico no local de instalação para uma determinada gama (tensão nominal) dos produtos NORMACEL e QBN7, respetivamente. Estes documentos já foram, entretanto, disponibilizados a clientes do Médio Oriente.

O Ensaio Dielétrico em Fábrica é referente ao ensaio dielétrico em cinco produtos distintos da distribuição primária e distribuição secundária na unidade fabril, nas línguas portuguesa e inglesa. O Ensaio Dielétrico em Serviço, apenas documentado em inglês, incide na descrição dos procedimentos relativos a ensaios dielétricos e verificação da relação de transformação dos transformadores de tensão em produtos de distribuição primária no local de instalação. Na Tabela 13 tem-se os produtos de média tensão em estudo e a respetiva distribuição da informação mediante a IO em questão.

Tabela 13 Quadro-resumo das instruções operacionais realizadas

	Instrução Operacional: Ensaio Dielétrico em Fábrica	Instrução Operacional: Ensaio Dielétrico em Serviço
Produtos de média tensão em estudo	DIVAC 36 kV	NORMACEL 17,5 kV (<i>Extraível</i>)
	NORMAFIX 24 kV	QBN7 36 kV (<i>Extraível</i>)
	FLUOFIX 36 kV	
	NORMACEL 24 kV (<i>Extraível</i>)	
	QBN7 36 kV (<i>Extraível</i>)	
Informação abordada	Normalização técnica em vigor	
	Requisitos de saúde e segurança ambiental e ocupacional para ensaios em alta tensão [3]	
	Procedimentos de ensaio à frequência industrial	
		Procedimentos de ensaio respetivos à verificação da relação de transformação de transformadores de tensão

Para a realização das instruções operacionais respetivas ao Ensaio Dielétrico em Fábrica e ao Ensaio Dielétrico em Serviço, de forma a adquirir todos os conhecimentos técnicos, foi necessário efetuar um estudo prévio quer ao nível dos produtos e dos seus princípios de funcionamento, como também ao nível do funcionamento dos diferentes equipamentos de ensaio. Para isso, efetuou-se um estudo das normas de referência para validação do dimensionamento de um produto de média tensão, em particular da norma IEC 60060-1 que regula os parâmetros existentes em ensaios de alta tensão, e das normas IEC 62271-1

e IEC 62271-200 que regulam os parâmetros para a realização de ensaios de produtos de média tensão. Os ensaios realizados aos produtos DIVAC, NORMAFIX, FLUOFIX, NORMACEL e QBN7, permitem afirmar que, através das normas referidas, o isolamento era o correto, isto é, que os dielétricos usados neste equipamento estão devidamente dimensionados para o valor de tensão que o fabricante indica para o funcionamento.

Validação técnico-legal

Foi necessária uma análise mais extensa da normalização técnica em vigor, de forma a encontrar e determinar a solução para a realização de ensaios à frequência industrial no produto IAT em questão, isto é, IAT com TT para serviços auxiliares. Foi feita uma análise mais detalhada da norma IEC 61869-3, nomeadamente das cláusulas 7.3.1.302 e 7.3.1.303 - ponto 7.3.1.303.2. Estas abordam o ensaio como teste de resistência e separa-o em dois tipos distintos, mediante o produto em teste: teste de resistência de fonte separada e teste de resistência à tensão induzida [32].

A duração do teste de resistência de fonte separada deve ser 60 s (cláusula 7.3.1.302 da norma IEC 61869-3), situação aplicada nos produtos referidos na Instrução Operacional. Neste tipo, aplica-se então a tensão de teste entre os terminais primários e a Terra (por ex.: 50 kV, 50 Hz, 1 min) [32].

Quanto ao IAT, sendo um produto com um transformador de tensão embutido, o ensaio deverá ser realizado de acordo com o seguinte tipo: teste de resistência à tensão induzida (cláusula 7.3.1.303 da norma IEC 61869-3 (ponto 7.3.1.303.2)). Assim, o ponto 9.2.1 da norma IEC 61869-3 apresenta a fórmula a utilizar para realização do ensaio em produtos indutivos. A fórmula indica que, se a frequência de teste exceder duas vezes a frequência nominal, a duração do teste poderá ser reduzida, até um mínimo de 15 s [32]. Assim, não há cálculos especiais para a frequência necessária se esta for igual a pelo menos duas vezes a frequência nominal. A norma IEC 61869-3 indica a fórmula que relaciona matematicamente a frequência e duração do teste, como se mostra de seguida.

$$\text{Fórmula: Duração do teste (s)} = \frac{2 \times \text{frequência da rede (nominal)}}{\text{frequência de teste}} \times 60 \quad [32]$$

Comprova-se assim que existe um tempo associado ao ensaio dependendo do tipo de ensaio (fonte separada ou à tensão induzida) e, conseqüentemente, da frequência aplicada.

A norma IEC 61869-3 refere que o tempo de ensaio apenas é reduzido se a frequência for mais elevada que 100 Hz. A partir de 400 Hz, o tempo de ensaio permanece em 15 s. No produto IAT, deve-se aplicar a tensão (50 kV) em cada terminal primário por 30 s e a estrutura, terminal de cada enrolamento secundário e o outro terminal do enrolamento primário devem estar ligados à Terra. De referir que, quando aplicado em L1 e L2 (fases de acoplamento ao TT), o tempo de ensaio deve ser dividido em cada uma (por ex.: 50 kV, 200 Hz, 30 s em L1 e 50 kV, 200 Hz, 30 s em L2 no total de 1 min) [32]. Como confirmação da possibilidade do ensaio ser realizado desta forma, procedeu-se ao contacto com o fabricante dos transformadores (RITZ), à análise do relatório de homologação do produto e à consulta de um relatório de ensaio dielétrico por parte de outro fabricante de transformadores de tensão. Foram então disponibilizadas informações de tensão, tempo e frequência e chegou-se à conclusão que para todos os casos, foi utilizada uma frequência variável na realização de um ensaio à frequência industrial.

Validação técnico-financeira

Após validação da solução, procedeu-se à procura de fabricantes de equipamentos de ensaio exclusivamente europeus e, optou-se pela empresa Versapower por uma questão de proximidade, confiança e serviço pós-venda. No entanto, o Departamento de Compras atravessou um período relativamente longo de negociações com o fabricante do equipamento, Versapower, do qual resultou num processo de aquisição longo. Verifica-se assim que o Departamento de Qualidade aguarda a receção do equipamento.

Com a chegada do novo equipamento de ensaio, o ensaio dielétrico no produto final IAT passará a ser realizado em série, o que se traduzirá numa poupança de tempo na verificação do produto bastante significativa, quer no tempo de ensaio, quer na quantidade de produtos para teste pois até ao momento, visto que estava idealizado efetuar um teste por unidade. A montagem dos equipamentos de ensaio, as ligações entre elementos e o estabelecimento da área de segurança serão assim tarefas mais eficazes, sendo que a partir desse momento, o ensaio será realizado em série com várias unidades para teste.

Para além disso, a produção contínua e sem paragens para ensaios dielétricos torna-se uma enorme valia para uma maior eficiência no processo de fabrico e de eficácia na verificação dos produtos através dos mais variados ensaios, incluindo os dielétricos.

Deste modo, pode-se antecipar uma melhoria de qualidade do produto. Estando o equipamento operacional para utilização, será montado de acordo com o esquema apresentado na Figura 76.

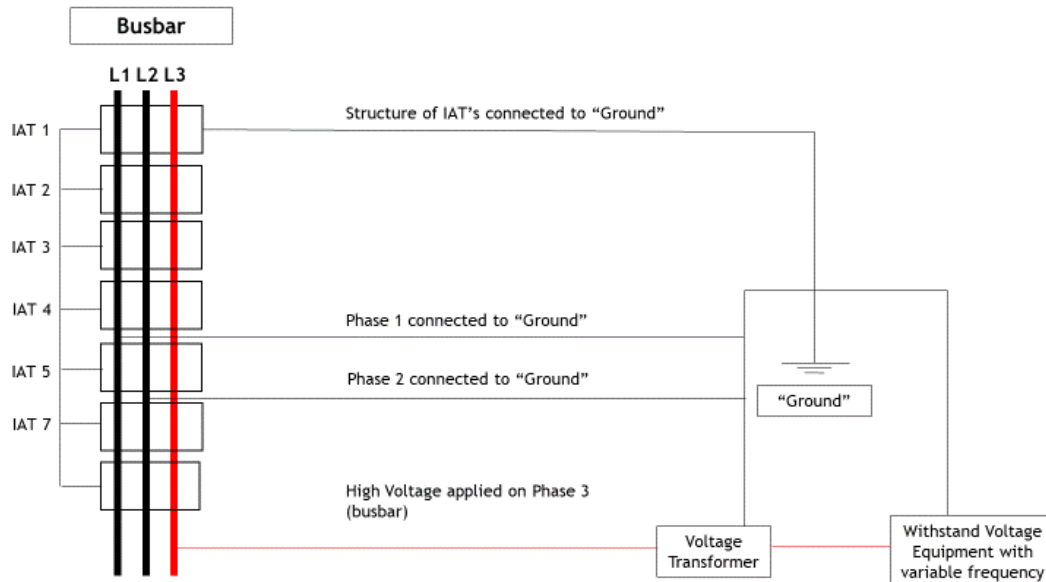


Figura 74 Projeção de realização do ensaio dielétrico de IAT's em fábrica.

Conforme se pode observar, esta figura contém uma descrição de montagem dos equipamentos para realização do ensaio dielétrico em série. Deste modo, após estabelecimento da área de segurança e instalação das respectivas barreiras e sinalizadores luminosos, deve-se proceder às ligações mostradas na Figura 76, de forma a aplicar a tensão de teste na fase 3. Os elementos mostrados na figura são os seguintes:

- *“Ground”* – Terra;
- *Voltage Transformer* – Transformador de tensão;
- *Withstand Voltage Equipment with variable frequency* – Equipamento de ensaio à frequência industrial com frequência variável;
- *Busbar* – Barramento;

Visto que a fase 3 é a única fase sem ligação ao TT, o ensaio é realizado baseado no teste de resistência de fonte separada, sendo aplicado 50 kV durante 60 s. Assim, todos os elementos envolvidos (Equipamento de ensaio, Transformador de tensão e unidades para teste) necessitam de ter as suas massas (estruturas) interligadas, formando um ponto

comum numa das barras de cobre instaladas em certas zonas da linha de produção. Para além das estruturas, as fases 1 e 2 devem estar acopladas entre todas as unidades, ligando-as também à Terra. Após o acoplamento da fase 3 entre todas as unidades para teste, a montagem encontra-se preparada para a injeção da tensão de teste nesta fase.

5. CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como principal objetivo a especificação documental de ensaios dielétricos a produtos de média tensão da Unidade AMT da EFACEC. Uma vez otimizados os processos de ensaio, resultaram na satisfação por parte da empresa. Evidência disso traduziu-se na aprovação do Departamento de Qualidade, sendo que o documento relativo à uniformização dos ensaios tornou-se numa Instrução Operacional disponível não só para os colaboradores deste departamento como também para os colaboradores dos restantes departamentos. Na sequência da IO do Ensaio Dielétrico em Fábrica, em que foram descritos os vários procedimentos de ensaio dielétrico em cinco produtos distintos, foi adaptado uma versão para o Ensaio Dielétrico em Serviço de uma determinada gama (tensão nominal) dos produtos NORMACEL e QBN7. Esta versão, após a sua homologação por parte do Sistema de Gestão da EFACEC, foi disponibilizada a clientes do Médio Oriente. Para além disso, a situação pendente relativa à exigência de um cliente na realização de ensaios dielétricos no IAT foi também resolvida, pelo que a partir de agora é possível realizar este tipo de ensaios no produto final em linha. Assim sendo, resume-se de seguida os principais contributos deste trabalho:

- Elaboração da IO do Ensaio Dielétrico em Fábrica (e tradução para inglês) nos seguintes produtos de média tensão: NORMAFIX, FLUOFIX e *Extraíveis* (NORMACEL e QBN7), incluindo normas internacionais em vigor e requisitos de saúde e segurança ambiental e ocupacional para ensaios em alta tensão [3] – Implementação na fábrica da Índia;
- Adaptação para IO do Ensaio Dielétrico em Serviço nos produtos de distribuição primária (*Extraíveis* – NORMACEL e QBN7);
- Resolução de um assunto crítico - Produto IAT com TT para serviços auxiliares:
 - Possibilidade de realizar ensaios dielétricos no produto final em fábrica, através dos procedimentos de ensaio descritos;
 - Compra de equipamento de ensaio com várias finalidades, para além de ter a capacidade de realizar o ensaio no IAT (*teste de resistência à tensão induzida*);
 - Possibilidade de realização do ensaio em série, o que resultará numa poupança de tempo bastante significativa na verificação do produto;

Quanto à redação da IO do Ensaio Dielétrico em Fábrica, foi necessário efetuar um estudo prévio, de forma a adquirir todos os conhecimentos técnicos, quer ao nível dos produtos e dos seus princípios de funcionamento, quer também ao nível do funcionamento dos diferentes equipamentos de ensaio. Procedeu-se de seguida à seleção da gama de tensão nominal, de forma a identificar a tensão a aplicar nos ensaios à frequência industrial. Como validação do seu dimensionamento, foi possível verificar que para as solicitações à rigidez dielétrica, os produtos selecionados encontravam-se corretamente dimensionados. Os resultados obtidos são válidos, visto que os equipamentos existentes em fábrica estão devidamente calibrados, não se tendo verificado nenhuma descarga disruptiva na realização dos testes. Caso ocorresse alguma disrupção, uma das hipóteses poderia passar pelo incorreto dimensionamento da distância entre fases ou um erro de construção. Isto porque nalguns produtos o dielétrico existente é o ar e uma pequena variação de centímetros entre a distância de fases altera drasticamente em algumas dezenas de kilovolts o valor suportado.

Quanto ao caso específico do IAT, foi cumprido o objetivo de encontrar uma solução para a realização do ensaio. Através da investigação e análise do problema perante os recursos normativos, conhecimentos de eletrotecnia e matemática e análise de relatórios, foi possível descrever os procedimentos de ensaio necessários para o produto em questão. Após este estudo, avançou-se para a compra de um equipamento que permite materializar os ensaios descritos.

Relativamente a futuros trabalhos neste âmbito, poderão vantajosamente passar pela comparação de ensaios dielétricos entre uma cela de média de tensão nova e outra num fim de vida, de forma a analisar as diferenças existentes nos esforços elétricos. Para além disso, e visto que será possível realizar ensaios dielétricos no IAT, pode proceder-se à respetiva documentação, comparando o isolamento deste produto com o isolamento de uma cela.

Em suma, no decorrer deste estágio extracurricular em empresa, houve certas tarefas que vieram comprovar quanto positivo foi esta experiência. São o caso de tarefas como a sequência de ensaios e a importância/necessidade do bom funcionamento de equipamentos auxiliares, sendo bastante elucidativas quanto à postura da empresa.

Com isto, da realização deste estágio que consistiu na elaboração deste projeto e não só, retirou-se a importância dos conhecimentos académicos adquiridos no ISEP. Apesar da

maior parte dos conceitos e tecnologias empregues na inspeção e ensaios do setor da energia não terem sido diretamente abordados no curso, é possível, através da matéria abordada, perceber o funcionamento e importância dos métodos existentes nesta área.

Apesar do projeto ser demorado e bastante trabalhoso, revelou ser uma gratificante experiência profissional. Sendo realizado no âmbito académico, como integrante da cadeira de TEDI, também vai ser útil na vertente profissional, servindo a própria empresa, dando acrescidas garantias de qualidade do produto e crescente valorização de imagem da empresa perante os clientes.


Referências Documentais

- [1] *VOLTIMUM*, <http://www.voltimum.pt/artigos/noticias-do-sector/ensaios-instalacoes-electricas-basicas>, Último Acesso Realizado a 13/02/2017;
- [2] *ABB*,
<http://www.abb.com/cawp/seitp202/96c64772df3a1910c1257578004f99c5.aspx>,
Último Acesso Realizado a 17/02/2017;
- [3] *Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança da EFACEC*—Manual de Referência de Segurança: contributos práticos para a elaboração da IO do Ensaio Dielétrico em Fábrica, Último Acesso Realizado a 02/09/2017;
- [4] *ENERGIAELETRICA*, <http://www.energiaeletrica.net/corrente-eletrica/>, Último Acesso Realizado a 07/03/2017;
- [5] *INFOESCOLA*, <http://www.infoescola.com/electricidade/corrente-continua-e-alternada/>, Último Acesso Realizado a 07/03/2017;
- [6] *TECNOLOGIADOGLOBO*, <http://www.tecnologiadoglobo.com/2009/02/diferenca-entre-corrente-alterna-e-corrente-continua/>, Último Acesso Realizado a 07/03/2017;
- [7] *ELEARNING.IEFP*,
[http://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/49282/mod_resource/content/0/Electricidade - Electronica/Electricidade/Bobina/Rele.pdf](http://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/49282/mod_resource/content/0/Electricidade_-_Electronica/Electricidade/Bobina/Rele.pdf), Último Acesso Realizado a 16/03/2017;
- [8] *INFOESCOLA*, <http://www.infoescola.com/electricidade/fusivel/>, Último Acesso Realizado a 18/03/2017;
- [9] *ELETRICA*, <http://eletricaesuasduvidas.blogspot.pt/2010/11/disjuntores-os-disjuntores-sao.html>, Último Acesso Realizado a 20/03/2017;
- [10] *COMMUNICATIONS*,
http://macao.communications.museum/por/Exhibition/secondfloor/moreinfo/2_4_2_Transformer.html, Último Acesso Realizado a 15/04/2017;
- [11] *INFOESCOLA*, <http://www.infoescola.com/electricidade/transformadores/>, Último Acesso Realizado a 15/04/2017;
- [12] *SOFISICA*,
<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/InducaoMagnetica/transformadores.php>, Último Acesso Realizado a 15/04/2017;
- [13] *WIKIWAND*, [http://www.wikiwand.com/pt/Arco elétrico](http://www.wikiwand.com/pt/Arco_elétrico), Último Acesso Realizado a 20/04/2017;
- [14] *NEWTONCBRAGA*, <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque/155-rigidez-dieletrica-de-alguns-materiais.htm>, Último Acesso Realizado a 20/04/2017;
- [15] *SCRIBD*, <https://pt.scribd.com/document/210618371/O-Diagrama-Do-Conhecimento>, Último Acesso Realizado a 22/03/2017;
- [16] *ADMINISTRADORES*, <http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/o-que-e-qualidade/23926/>, Último Acesso Realizado a 22/03/2017;
- [17] *VENKI*, <http://www.venki.com.br/blog/o-que-e-otimizacao-de-processos/>, Último Acesso Realizado a 25/03/2017;
- [18] *EFACEC*, <http://intranet3.efacec.pt/sobre-a-empresa/>, Último Acesso Realizado a 23/04/2017;

- [19] EFACEC, <http://www.efacec.pt/aparelhagem-de-media-e-alta-tensao/>, Último Acesso Realizado a 24/04/2017;
- [20] SCHNEIDER ELECTRIC, http://rolearmais.pt/ficheiros_produtos/SM6_24kV.pdf, Último Acesso Realizado a 30/04/2017;
- [21] SCHNEIDER ELECTRIC, http://rolearmais.pt/ficheiros_produtos/SM6_36KV.pdf, Último Acesso Realizado a 12/05/2017;
- [22] BRITO, Ricardo—*Análise Dielétrica de Celas de Média Tensão*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica de Computadores orientada pelo Prof. Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura e apresentada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em 2014, Último Acesso Realizado a 06/08/2017;
- [23] *International Electrotechnical Commission (IEC) —62271-200: High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1kV and up to and including 52kV*, Último Acesso Realizado a 13/09/2017;
- [24] *International Electrotechnical Commission (IEC) —62271-1: High-Voltage Switchgear and Controlgear – Part 1: Common specifications*, Último Acesso Realizado a 12/09/2017;
- [25] ENGIONICA, <http://engionica.blogspot.pt/2013/04/ensaios-de-conformidade-de-quadros.html>, Último Acesso Realizado a 22/05/2017;
- [26] EDP, http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/projecto-tipoSE_AT_MT/documentacaonormativa/List%20Protocolo%20de%20Ensaio/EDPD-PE-C13-500N.pdf, Último Acesso Realizado a 14/06/2017;
- [27] *International Electrotechnical Commission (IEC)*, <http://www.iec.ch/>, Último Acesso Realizado a 12/07/2017;
- [28] *International Electrotechnical Commission (IEC) —60060-1: High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*, Último Acesso Realizado a 24/10/2017;
- [29] *International Electrotechnical Commission (IEC) —62271-100: High-Voltage Switchgear and Controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers*, Último Acesso Realizado a 18/09/2017;
- [30] RITZ-INTERNATIONAL—*Medium_Voltage_Instrument_Transformers_Standard_ENG_2014_01*, Pág. 32 do Catálogo *Standard*, em 2014, Último Acesso Realizado a 14/08/2017;
- [31] *International Electrotechnical Commission (IEC) —61869-3: Requirements for test equipment used in performing installation tests. It consists of general requirements for test equipment and specific requirements for combined measuring equipment*, Último Acesso Realizado a 24/10/2017.

A colocação da data do último acesso à referência salvaguarda a eventualidade do mesmo se encontrar indisponível numa data posterior à apresentada.

Anexo A. *Template* do relatório de ensaio de cela (versão em português)

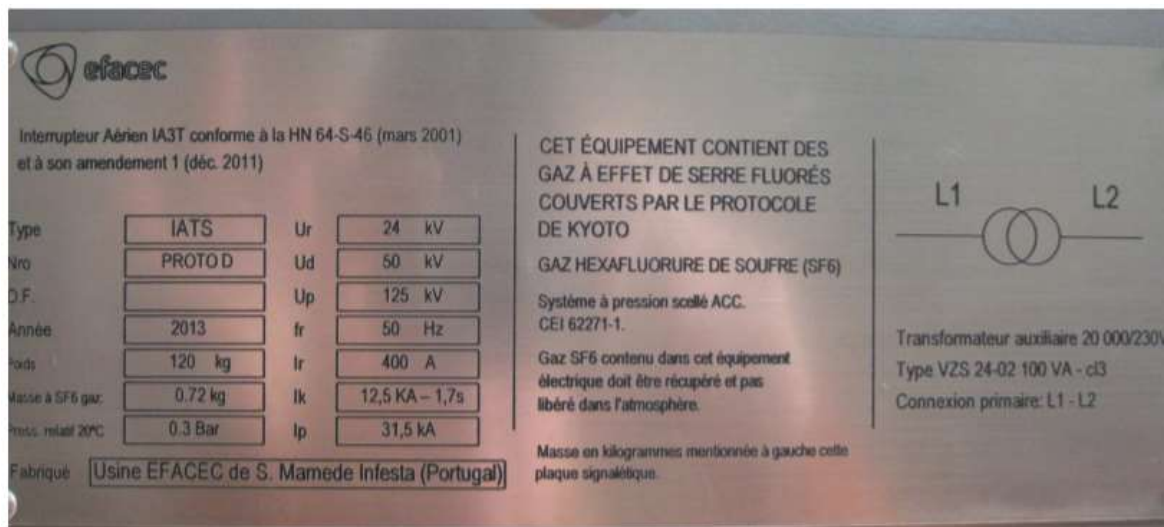
	R.E.: Data:
<u>Relatório de Ensaio da Cela</u>	
1. Especificação	
Nº Série: OF/Projecto: Encomenda: Cela Tipo: Descrição: Tensão Nominal: Corrente Nominal: Corrente de curta duração admissível: Frequência: Nº Esquema: Largura: Tensão Auxiliar: Local de Instalação: Cliente:	
2. Referências	
Ensaios Realizados Segundo Norma: Procedimento EFACEC:	
3. Ensaios Realizados	
Rigidez Dielétrica do circuito principal: Rigidez dielétrica dos circuitos auxiliares: Funcionamento Mecânico: Funcionamento Eléctrico:	
4. Observações	
5. Resultados dos Ensaios	
Laboratório	
Operador: Responsável:	
<hr/> <small>EFACEC Energia, Máquinas e Equipamentos Eléctricos, S.A. Arroteia - Leça do balio. Apartado 1018 4466-956 S. Mamede Infesta Codex Portugal Telef.: 351 229562300 Fax: 351 229562870 www.amt.efacec.pt</small>	

Anexo B. Características técnicas do IAT e placa de características do produto

THREE PHASE OVERHEAD SWITCH DISCONNECTOR

Characteristics of the test object according to the information given by the manufacturer are the following:

Manufacturer:	EFACEC
Model:	IATS
Serial numbers:	PROTO D
Rated voltage:	24 kV
Rated short-time withstand current::	12.5 kA/1.7s
Rated current:	400 A
Rated power frequency withstand voltage, Ud:	50 kV
Rated lightning impulse withstand voltage, Up:	125 kV
Frequency:	50 Hz



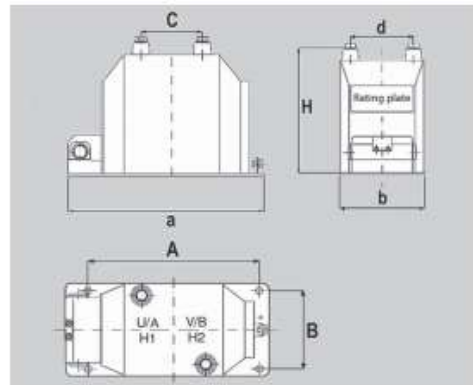
Anexo C. Características do transformador - catálogo do fabricante [31]

VZS

2.4 Voltage Transformer Double Pole up to 36 kV

2.4.1 Voltage Transformer Indoor

VZS 12 | 17,5 | 24

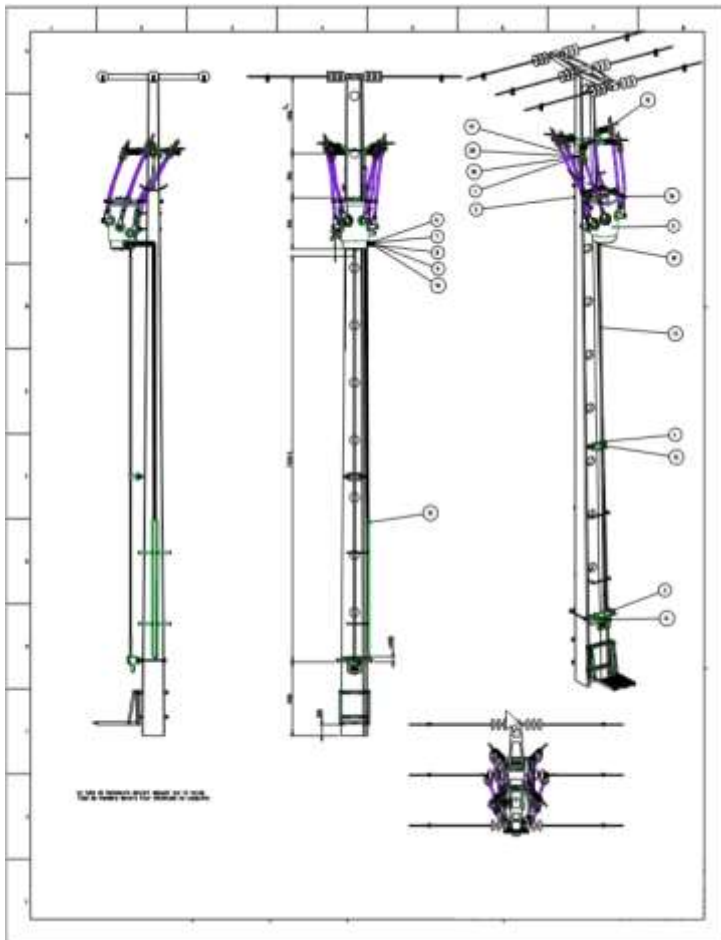


TYPE VZS Dimensions mm			
	VZS 12	VZS 17,5	VZS 24
A	270	280	280
B	125	150	150
a	320	354	354
b	148	178	178
C	100	165	165
d	110	130	130
H	220	230	280

TYPE VZS					
			VZS 12	VZS 17,5	VZS 24
U_m		kV	12	17,5	24
Test voltages		kV	28 28 75	38 38 95	50 50 125
Rated Primary Voltage – U_{PN}		V	10000 11000	13800 15000	20000 22000
Rated Secondary Voltage – U_{SN}		V	100 110		
Rated Secondary Voltage Class (IEC)	0,2	VA	20	20	20
	0,5	VA	50	50	50
	1,0	VA	100	100	100
Thermal Limit Current		A	4	4	4
Frequency		Hz	50 60		
Weight		kg	19	27	27

Subject to Technical Changes

Anexo D. Simulação em laboratório do produto IAT no local de serviço



20	SCREW PF H M10X25-4.6 ZN40H ISO4017
19	- CAVILHA ELAS. BX40 A2 ISO-8752
18	- ANILHA CFA ZN40H 10 DIN-128
17	- ANILHA 10-A140 ZN40H ISO-7089
16	ASSEMBLED CABLE SUPPORT SUPORTE DE CABOS MONTADO
15	ASSEMBLAGE PARAFODRE PARA-RAIOS MONTADO
14	COMM. MANUEL DE SECOURS AVEC ÉTIQUETTE COMANDO MANUAL EMERGENCIA C/ ETIQUETA
13	SUPPORT INTERM. ASSEMBLE AVEC ÉTIQUETTE SUPORTE INTERMÉDIO MONTADO C/ ETIQUETA
12	ASSEMBLED GUTTER PROTECTION CALHAS DE PROTECCAO MONTADA
11	ASSEMBLED SHAFT VEIOS MONTADO
10	BT CABLE MANUAL COMMAND OF EMERGENCY CABO BT COMANDO MANUAL DE EMERGENCIA
9	BT CABLE CAPACITOR VOLTAGE DIVIDER CABO BT DIVISORES CAPACITIVOS
8	BT CABLE CURRENT TRANSFORMER CABO BT TRANSFORMADORES DE CORRENTE
7	BT CABLE AUXILIAR TRANSFORMER CABO BT TRANSFORMADOR AUXILIAR
6	BT CABLE CABO BT COMANDO ELÉCTRICO
-	EQUIPOTENTIAL PLATFORM OPENED PLATAFORMA EQUIPOTENCIAL ABERTA
5	IATS 24 - EDF IATS 24 - EDF
4	FIXAÇÃO AO POSTE - SUPORTE INTERMÉDIO
3	FIXAÇÃO AO POSTE - COMANDO MANUAL
2	FIXAÇÃO AO POSTE - IATS
1	NUT H M10-B ZN25EC ISO4032 PORCA H M10-B ZN25EC ISO4032
ITEM	DESCRIPTION DESIGNAÇÃO



Anexo E. Excerpto de relatório de ensaio dielétrico de um TT – fabricante RS ISOLSEC

Voltage Transformer / Transformateur de tension		Transformador de Tensión	
Model: Modèle: Modelo:	U36FQA		
Rated Primary Insulation Level: Tension de l'isolement primaire: Tensiones de aislamiento primario:	36	70	170 (kV)
Frequency: Frecuencia:	50 (Hz)		
Voltage Factor: Facteur de Tension Factor de tensión:	1,2 Un-Cont		
Winding: Enroulement: Bobinado:	a-b:		
Ratio: Rapport: Relación:	30000 230		(V)
Accuracy Burden: Puissance: Potencia:	2000		(VA)
Accuracy class: Classe de précision: Clase de precisión:	A		
Power-frequency withstand voltage (1): Tension de tenue à fréquence indust. (1): Tensión de ensayo (1):	70		(kV)
Power-frequency withstand voltage (2): Tension de tenue à fréquence industrielle (2): Ensayo a frecuencia industrial (2):	3		(kV)
Power-frequency withstand voltage (3): Tension de tenue à fréquence industrielle (3): Ensayo a frecuencia industrial (3):	70		(kV)
Partial discharges: Décharges partielles Descargas parciales	<20	pC@	43,2 (kV)
Polarities: Polarités: Polaridad:	OK		
Terminal Markings: Marquage de bornes: Marcado de bornes:	OK		
Dimensions Control: Contrôle dimensionnel: Control Dimensional:	OK		
In accordance with Standard: Conforme à la norme: Conformidad con norma:	UNE 61869		

(1) at 50 Hz, applied during 1 minute between high voltage and low voltage earthed (separated source) (1) à 50 Hz, pendant 1 minute, appliquée entre haute tension et basse tension reliée à la masse (appliquée) (1) 50 Hz, durante 1 minuto, se aplica entre la alta tensión y la baja tensión conectada a tierra. (aplicada)
(2) at 50 Hz, applied during 1 minute between low voltage and earth (2) à 50 Hz, pendant 1 minute, appliquée entre basse tension et terre (2) 50 Hz, durante 1 minuto, se aplica a la baja tensión y al resto conectado a tierra.
(3) at 300 Hz, applied during 20 seconds on the high voltage winding (induced) (3) à 300 Hz, pendant 20 secondes, appliquée aux bornes de l'enroulement haute tension (induit) (3) 300 Hz, durante 20 segundos, se aplica al bobinado de alta tensión. (inducida)

Anexo F. IO do Ensaio Dielétrico em Serviço – NORMACEL 17,5 kV

Gestão Documental SiGefa QES

No âmbito do Sistema de Gestão da Efacec foi emitido ou revisto o seguinte documento.

Nome	NORMACEL - Power Frequency Withstand Voltage Routine Test and VT's Transformation Ratio Procedure
Objectivo	To prepare NORMACEL Unit for power frequency withstand voltage test with circuit breakers in closed and opened conditions, together with the transformation ratio of voltage transformers, according to specified standards.
Nº Documento	03.000000AMT-13010021-008-000-EN-00
Link	Link
Aprovado por	António Matos
Emitido por	Bruno Miguel da Silva Pereira

Dados do Documento		
Classificação do Documento	03.000000AMT-13010021-008-000-EN-00	
Classe de documentos	QAS - Controlo da Qualidade - Instruções de inspecção e ensaio	
Nº de ordem	008	
Nome do Documento	NORMACEL - Power Frequency Withstand Voltage Routine Test and VT's Transformation Ratio Procedure	
Objectivo do documento	To prepare NORMACEL Unit for power frequency withstand voltage test with circuit breakers in closed and opened conditions, together with the transformation ratio of voltage transformers, according to specified standards.	
Âmbito	Normacel	
Tempo de retenção (anos)	5	
Revisão do documento		
Revisão	00	
Registado por	Santos Carlos	
Elaborado	Bruno Miguel da Silva Pereira	
Outros elaboradores		
Alterações		
Palavras chave NORMACEL Power Frequency Withstand Voltage Routine Test and VT's Transformation Ratio Procedure		
Ficheiro Anex_English		
Workflow do Documento		
Tarefa	Responsável	Data
0 Elaborar	Bruno Miguel da Silva Pereira	2017-12-11
2 Aprovar	António Matos	2017-12-11

Anexo G. IO do Ensaio Dielétrico em Serviço – QBN7 36 kV

Gestão Documental SiGefa QES

No âmbito do Sistema de Gestão da Efacec foi emitido ou revisto o seguinte documento.

Nome	QBN7 - Power Frequency Withstand Voltage Routine Test Procedure
Objectivo	To gather all relevant information to the routine high-voltage test procedure for main circuit (dielectric test) and give guidance on how to perform the Dielectric Test in accordance with the standards specified to prepare the following AMT product: modular metal cells - QBN7.
Nº Documento	03.000000AMT-13010021-007-000-EN-00
Link	Link
Aprovado por	António Matos
Emitido por	Bruno Miguel da Silva Pereira

Dados do Documento	
Classificação do Documento	03.000000AMT-13010021-007-000-EN-00
Classe de documentos	QAS - Control da Qualidade - Instruções de inspeção e ensaio
Nº de ordem	007
Nome do Documento	QBN7 - Power Frequency Withstand Voltage Routine Test Procedure
Objectivo do documento	To gather all relevant information to the routine high-voltage test procedure for main circuit (dielectric test) and give guidance on how to perform the Dielectric Test in accordance with the standards specified to prepare the following AMT product: modular metal cells - QBN7
Âmbito	QBN7 metal enclosed switchgear Power Frequency Withstand Voltage Routine Test Procedures
Tempo de retenção (anos)	5
Revisão do documento	
Revisão (0)	
Registado por	Santos Carlos
Elaborado	Bruno Miguel da Silva Pereira
Outros elaboradores	
Alterações	
Palavras chave	Power Frequency Withstand Voltage Routine Test Procedure QBN
Ficheiro	AMT_Echelle01
Workflow do Documento	
Tarefas	
0. Elaborar	Responsável: Bruno Miguel da Silva Pereira Data: 2017-07-25
2. Aprovar	Responsável: António Matos Data: 2017-07-11