



Departamento
de Engenharia Eletrotécnica

**Manutenção de Postos de Transformação e
Instalações Industriais – Estágio na ST&M-
Luminescências, S.A.**

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica

Autor

Davide Clemente Castanheira

Orientadores

Adelino Jorge Coelho Pereira

Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor

Pedro Miguel Gomes dos Santos

Luminescências, S.A.

Coimbra, maio 2016

AGRADECIMENTOS

Este estágio teve como objetivo receber o grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica, mas revelou-se uma experiência profissional muito enriquecedora, em grande parte devido à capacidade e vontade de partilhar experiências e conhecimentos entre o estagiário e o orientador da empresa, Engenheiro Pedro Miguel Gomes dos Santos, mas também dos técnicos com quem houve a possibilidade de aprender diversos aspetos práticos que não seriam de outra forma assimilados. Por estas razões deparo-me com a necessidade e dever de lhes agradecer todos os conhecimentos e experiências partilhadas pois sem eles este relatório não seria possível.

Aos orientadores Doutor Adelino Jorge Coelho Pereira e Doutor Carlos Manuel Borrvalho Machado Ferreira, professores do ISEC, pela ajuda obtida na elaboração do presente relatório.

Ao Doutor Fernando Lopes, professor do ISEC, pela organização inicial do estágio.

Aos meus Pais e irmão, pela ajuda que me deram, não só durante o estágio e elaboração do presente relatório mas por todo o apoio dado durante o meu percurso académico.

À minha namorada, quer pela ajuda na elaboração do relatório de estágio, quer por toda a ajuda dada nos últimos passos do meu percurso académico.

Por último um grande obrigado a todos os amigos, pessoais e comerciais, e família que direta ou indiretamente me proporcionaram o apoio fundamental durante estes últimos meses de trabalho.

RESUMO

A energia elétrica é uma das principais fontes energéticas utilizadas na indústria, tornando-se assim imprescindível controlar e monitorizar todo o processo desde a receção da energia no cliente até ao equipamento consumidor.

O percurso da energia é variável em função do cliente ou da indústria, mas podemos resumir este em função de três níveis de tensão, alimentação a baixa, média e alta tensão.

Os clientes alimentados a média e alta tensão são os que mais necessidade têm de monitorizar os equipamentos de transformação de energia elétrica, essencialmente com recurso a relés de proteção. Estes atuam, em caso de defeito, levando a que as devidas proteções atuem com o objetivo de extinguir o defeito ou, pelo menos, diminuir as suas consequências.

Para além do controlo da transformação da energia, há ainda que controlar os custos derivados do consumo dessa mesma energia, nesse caso uma das principais formas é a de produzir a energia reativa necessária para a própria instalação diminuindo assim os custos associados ao consumo de energia reativa. Para atenuar esse mesmo custo foi feito um trabalho de reorganização dos escalões de uma bateria de condensadores, o qual é apresentado no capítulo quatro deste relatório.

Devido ao facto de grande parte deste estágio ter decorrido na sede da empresa, para além dos três trabalhos descritos nos capítulos dois, três e quatro foram ainda desenvolvidas diversas folhas de cálculo, por exemplo para o auxílio da determinação das correntes a injetar aquando do ensaio de relés. Por outro lado foram executados diversos relatórios de manutenção e algumas análises de imagens termográficas.

Palavras-chave: Energia Elétrica; Equipamentos de Proteção e Monitorização; Segurança das Instalações Elétricas; Qualidade de Energia.

ABSTRACT

Power sources used in industry, became in this way imperative control and monitoring all process since the entry, in the client, to the power equipment.

The energy course is variable from one client to another, from one industry to another, however that can be divided in function of the supply voltage, low, medium and high voltage.

The client's feed in medium or high voltage are the most critical, and who need more need to motorize the power transformer's essentially recurring to a relay protection devices. These kind of devices make the proper protection turn active, with propose of extinguish the defect or at least decrease their effects.

Beyond the control of electrical power transformer, there still to control the cost's based in consume of electrical power, one way of control that is producing the necessary reactive power at the facility level. To decrease this part of invoice, in chapter four, is described an work were the primary objective was reorganise the reactive power bank.

Due to the fact of the most part of these traineeship has elapsed in the office of the company, beside of the three work's described in the chapter two, three and four, had been developed several spreadsheets, for example to help with the calculation of the current's to test the relay systems.

Moreover it has been done yet several reports related to the maintenance and some analysis to thermographic.

Key-words: Electric Power; Protection and Monitoring Equipment; Safety of Electrical Facilities; Power quality.

ÍNDICE

| | |
|--|------------|
| AGRADECIMENTOS | i |
| RESUMO | iii |
| ABSTRACT | v |
| ÍNDICE | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE TABELAS | ix |
| SIMBOLOGIA | xi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Objetivo | 1 |
| 1.2. A empresa | 1 |
| 1.3. Organização e estruturação do trabalho | 2 |
| 2. RELÉS DE PROTEÇÃO | 3 |
| 2.1. Considerações gerais | 3 |
| 2.2. Tipos de relés de proteção e respetivas proteções | 4 |
| 2.3. Transformadores de corrente e tensão | 7 |
| 2.4. Equipamento de ensaio | 8 |
| 2.5. Realização de ensaios preventivos | 11 |
| 3. CÁLCULO DO PODER DE CORTE ADEQUADO À INSTALAÇÃO | 15 |
| 3.1. Considerações gerais | 15 |
| 3.2. Conceitos | 15 |
| 3.3. Análise de documentos fornecidos pelo cliente | 17 |
| 3.4. Cálculo do Poder de Corte nos diferentes pontos da instalação | 19 |
| 3.4.1. Entrada dos transformadores, primário | 20 |
| 3.4.2. Cálculo do PDC necessário ao quadro MCC1 | 21 |
| 3.4.3. Cálculo do PDC necessário ao quadro MCC2 | 22 |
| 3.5. Cálculo das secções mínimas dos cabos | 23 |
| 3.6. Alterações a efetuar | 26 |
| 3.6.1. Alterações a efetuar no MCC1 | 26 |
| 3.6.2. Alterações a efetuar no MCC2 | 26 |
| 4. GESTÃO DA ENERGIA REATIVA | 29 |
| 4.1. Energia reativa | 29 |
| 4.2. Custos com Energia Reativa | 30 |
| 4.3. Compensação de energia reativa | 30 |
| 4.4. Manutenção de Baterias de Condensadores | 34 |
| 4.5. Reconfiguração de bateria de condensadores existente | 35 |
| 4.5.1. Resultado da alteração bateria de condensadores | 40 |
| 5. CONCLUSÕES | 41 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 43 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1- Esquema unifilar típico de aquisição de dados para relé de proteção a motores (ABB,2009). | 4 |
| Figura 2.2- Esquema unifilar típico de aquisição de dados para relé de proteção de subestação (ABB,2015). | 5 |
| Figura 2.3- Esquematização de Transformador de Corrente - TC (ARTECHE, 2015) | 7 |
| Figura 2.4 - Esquematização de Transformador de Tensão, TT (ARTECHE, 2015) | 8 |
| Figura 2.5- Mesa de Testes equipada com Kocos 560, Toshiba Tecra, Vamp 50, Clevo P170. | 9 |
| Figura 2.6- Mala de ensaios trifásica Kocos Artes 560 | 11 |
| Figura 2.7- Mala de ensaios monofásica SMC PTE 100 | 11 |
| Figura 2.8- Injetor de Corrente monofásico SMC LET 400 | 11 |
| Figura 2.9- Parametrização do teste a executar através do SW ARTES | 12 |
| Figura 2.10 Teste em funcionamento - VD Monitor – Dynamic | 13 |
| Figura 3.1- Esquema Unifilar da alimentação dos quadros MCC1 e MCC2 | 18 |
| Figura 3.2- Esquema Unifilar de parte do quadro MCC1 alterado | 28 |
| Figura 4.1- Vetores de Potência | 29 |
| Figura 4.2 - Escalonamento do pagamento de Energia Reativa (EDP, 2015). | 30 |
| Figura 4.3 - Esquema Unifilar de ligações tipo de relé varimétrico (Schneider, 2009). | 32 |
| Figura 4.4 - Mecanismo de proteção à Sobrepressão interna (ABB, 2015) | 33 |
| Figura 4.5 - Esquematização de Conjunto de condensadores em caixa metálica - CLMD – (ABB-1, 2015) | 34 |
| Figura 4.6 - Folha de Cálculo para estimação do estado de conservação de condensadores | 35 |
| Figura 4.7 - Chapa de caraterísticas de condensador cilíndrico EPCOS | 36 |
| Figura 4.8 - Amostra dos consumos de energia reativa recolhidos pelo analisador de qualidade de energia, cada coluna representa um período de 24h. | 36 |
| Figura 4.9 - Esquema unifilar da bateria de condensadores após reconstrução | 39 |
| Figura 4.10 - Esquema unifilar da bateria de condensadores após reconstrução da bateria, considerando o esquema da figura 4.10 | 40 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1- Resumo das características do gerador e transformadores que alimentam os quadros em estudo | 17 |
| Tabela 3.2- Folha de Excel com cálculos efetuados, relativos a uma amostra do MCC1 | 25 |

SIMBOLOGIA

Fc – Fator de Correção

Icc – Corrente de Curto Circuito

Q- Potência Reativa

Sc_c – Potência de Curto Circuito

var-Volt Ampere Reativo

VA-Volt Ampere

W-Watt

ABREVIATURAS

AC – *Alternating Current* – Corrente Alternada

ANSI – *American National Standards Institute*

APCER – Associação Portuguesa de Certificação

ARTES – *Automatic Relay Test System* – Sistema Automático de Teste a Relés

DC – *Direct Current* – Corrente Contínua

EDP – Energias de Portugal

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

IEC – *International Electrotechnical Commission*

MCC1 – *Motor Control Room 1*

MCC2 – *Motor Control Room 2*

PDC – Poder de Corte

PEN – Condutor Neutro e Proteção

RMS – *Root Mean Square* – Valor Efetivo

RTIEBT – Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão

ST&M – Serviços Técnicos e Manutenção

SW - *SoftWare*

TC – Transformador de Corrente

TNC – Sistema de Ligação com condutor Neutro e Proteção Comum

TT – Transformador de Tensão

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivo

Durante o segundo ano curricular do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, houve a necessidade de optar pela elaboração de um projeto ou dissertação ou ainda pela frequência de um estágio curricular.

Devido à vertente prática característica de um estágio curricular, essa foi a primeira escolha para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica, que teve o seu término no presente relatório.

Após o contacto de várias empresas surgiu a oportunidade de efetuar o estágio na empresa “ST&M – Luminescências, S.A.”, cuja principal atividade seria a de executar a manutenção dos equipamentos de potência dos seus diversos clientes. Este estágio teve por objetivo principal a obtenção de experiência profissional, por parte do estagiário, na área da manutenção industrial principalmente no que diz respeito às proteções associadas à transformação da energia e à qualidade da mesma.

1.2. A empresa

A empresa “ST&M – Luminescências, S.A.” surge numa fase crucial de expansão da empresa mãe, sediada em Espanha.

Assim, “ST&M Espanha”, numa fusão de interesses económicos aliados a uma tradição de cooperação económico-financeira, entre Portugal e Espanha, procurou reforçar a sua posição no mercado da Península Ibérica, tendo por objetivo a rentabilização económica, crescimento financeiro e expansão da sua oferta de serviços, baseada na experiência adquirida nos últimos 25 anos.

Os serviços prestados pela empresa “Luminescências, S.A.” integram a realização de trabalhos de alta e baixa tensão, entre os quais, serviços de manutenção industrial, preventiva e corretiva, abrangendo ainda todo o tipo de alterações elétricas, que decorrem do normal funcionamento das instalações.

Esta é uma empresa certificada pela APCER – norma ISO 9001, que se destaca pela gestão da qualidade de serviços prestados - sendo externamente controlada através de auditorias anuais. Este sistema de gestão de qualidade tem por objetivo o estabelecimento de uma relação de confiança entre o cliente e a empresa, assegurando-lhe o cumprimento dos requisitos dos serviços prestados e da legislação aplicável, garantindo uma maior satisfação do cliente.

A empresa “Luminescências, S.A.” está sediada na Zona Industrial 1, em Cantanhede, distrito de Coimbra, a sua localização permite-lhe alguma proximidade dos principais polos industriais da zona centro, bem como das zonas de Grande Porto e Grande Lisboa.

1.3. Organização e estruturação do trabalho

O relatório é constituído por cinco capítulos principais, sendo que cada um destes se divide em vários subcapítulos para melhor organização da informação.

No capítulo um é feita uma introdução ao estágio, identificando os seus objetivos, dando a conhecer a empresa acolhedora e terminando com uma pequena descrição sobre o conteúdo de cada um dos capítulos apresentados.

No capítulo dois é caracterizado um dos principais trabalhos deste estágio curricular, a manutenção de relés de proteção, sendo que foi feita uma pequena abordagem ao desenvolvimento histórico destes equipamentos e respetivo estado da arte, identificação dos equipamentos de teste e respetivos testes a executar.

No capítulo três foi desenvolvido um projeto de adequação das proteções à instalação, forçosamente orientado para o Poder de Corte necessário ao nível dos quadros 1 e 2, visto ter sido este o motivo do estudo.

No capítulo quatro foi abordada a questão da qualidade de energia, neste caso vocacionada para a alteração de uma bateria de condensadores já existente, de modo a que esta melhor se adequa ao perfil energético do cliente. Neste capítulo foi executado um estudo com recurso a um analisador de qualidade de energia, para posteriormente se reconstruir a bateria existente.

No capítulo cinco são apresentadas as conclusões gerais deste estágio, visto que as conclusões singulares, de cada um dos três principais trabalhos executados durante o estágio, foram desenvolvidas em cada um dos capítulos respetivos.

2. RELÉS DE PROTEÇÃO

2.1. Considerações gerais

Os Relés de Proteção, equipamento desenhado para a proteção de instalações elétricas, têm a sua génese no relé eletromecânico de origem Americana por Joseph Henry, no séc. XIX. No que respeita à evolução deste tipo de relés podemos distinguir três períodos tecnológicos: os relés de atração, simplesmente mecânicos; relés equipados com circuito integrado, possuindo já alguma lógica; e por fim os programáveis, equipados com microprocessador.

Os relés de atração eram constituídos por um simples mecanismo equipado com um contacto elétrico e uma bobine que, ao ser percorrida por uma corrente, AC ou DC, fechava o mecanismo do relé, atracando-o.

Mais tarde, na década de 70, foram desenvolvidos os primeiros relés equipados com circuitos integrados, o que já permitia o desenvolvimento de soluções personalizáveis para cada situação. Apesar da possibilidade de personalização destes ser ainda muito baixa, os seus sucessores, equipados com microprocessadores, já permitiam um maior leque de soluções à medida do equipamento que protegem.

Atualmente temos à disposição relés equipados com microprocessadores com maior poder de processamento, capazes de correr algoritmos matemáticos complexos, conseguindo assim obter um produto com elevadíssimas capacidades, extremamente fiável, completamente personalizável e de baixo custo. Estes foram apelidados de relés numéricos, tendo surgido na indústria na década de 90.

São diversas as vantagens dos relés de proteção digital com poder de processamento face aos analógicos, tais como o aumento da quantidade de informação que podem processar, a rapidez de operação, a possibilidade de transmissão de informação remotamente e ainda a contínua monitorização do próprio relé através de autotestes de integridade. Recorre-se a este tipo de equipamentos para monitorizar o estado da rede ou equipamento a que está associado, fazendo atuar proteções associadas ao equipamento que se pretende proteger em caso de defeito, limitando assim as consequências do mesmo.

Os relés de proteção podem abranger uma ou várias proteções no mesmo equipamento, conferindo-lhe as características de um simples relé de mínima tensão ou de um complexo relé digital utilizado comumente para a proteção e monitorização de subestações ou motores. No mercado existem vários tipos de relés de proteção, selecionados de acordo com o equipamento que protegem e o tipo de proteções de que necessitam.

2.2. Tipos de relés de proteção e respectivas proteções

Em função do equipamento a proteger há a necessidade de ter determinadas proteções, existindo, essencialmente seis aplicações para este tipo de relés:

- Motores

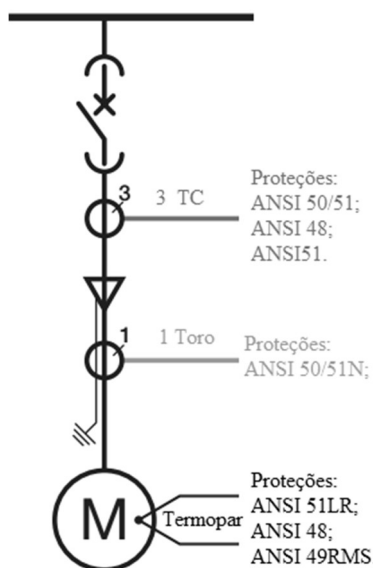


Figura 2.1- Esquema unifilar típico de aquisição de dados para relé de proteção a motores (ABB,2009).

Como demonstra a figura 2.1, para que seja possível reunir a informação necessária ao relé para que seja assegurada a devida proteção a um motor terão de ser reunidos três Transformadores de Corrente (TC), para aquisição das correntes de linha, um Toro para aquisição da corrente de fuga, um ou vários termopar(s) para aquisição da temperatura da máquina e ainda uma sonda de tensão em cada fase. Caso a máquina seja alimentada em tensões superiores a 690 V é usual utilizar-se um Transformador de Tensão (TT) para reduzir o nível de tensão para um valor passível de ser interpretado pelo relé.

- Subestações

Para a proteção de subestações é usual utilizar-se um relé dedicado, com o conjunto de proteções identificados na figura 2.2, sendo que, para que estas proteções possam ser feitas o relé necessita de receber: as três tensões de linha, através de três TT, pois é necessário adquirir o nível de tensão do lado da alta tensão; as três correntes de linha, novamente do lado da alta tensão, através de três TC. Como dispositivo de proteção, a ser atuado pelo relé, é instalado um disjuntor de alta tensão que em caso de determinado defeito, para o qual tenha sido parametrizada a abertura do disjuntor, ele seja aberto automaticamente.

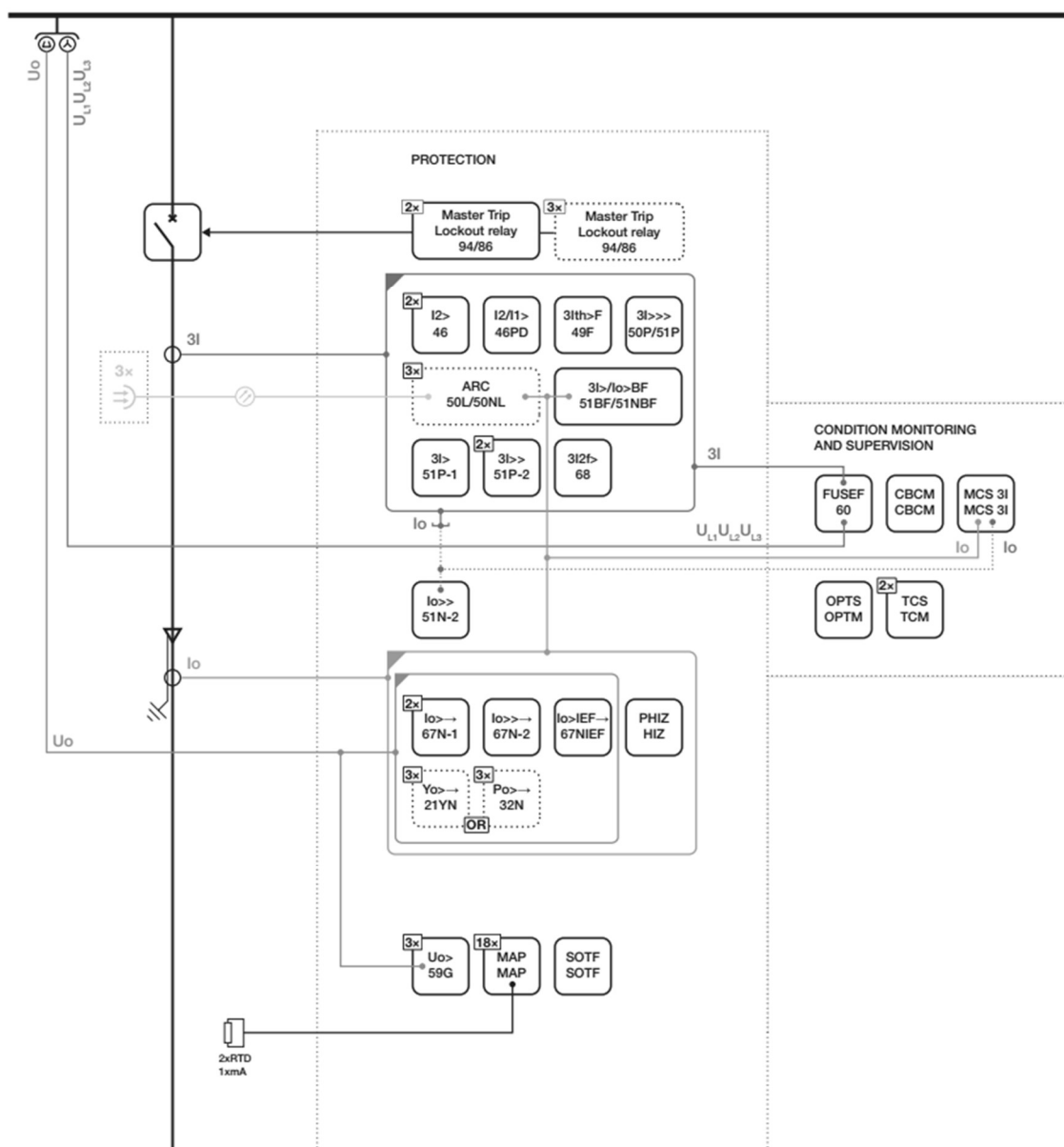


Figura 2.2- Esquema unifilar típico de aquisição de dados para relé de proteção de subestação (ABB,2015).

Este tipo de relés pode ainda ser utilizado para proteger outros equipamentos como:

- Condensadores
- Geradores
- Transformadores
- Barramentos

Existem relés mais simples e mais complexos, quer na sua parametrização quer no número de funções de proteção, no entanto as cinco principais funções de proteção mais utilizadas são:

- Máximo de corrente por fase, ANSI 50/51

Proteção monofásica ou trifásica contra sobrecargas e ou curto-circuitos, normalmente temporizado para as sobrecargas e instantâneo para proteção contra curto-circuitos. A medição da corrente é feita através de Transformadores de Corrente ou de Toros;

- Máximo de corrente à terra, ANSI 50N/51N

A proteção contra defeitos ou fugas à terra é conseguida por mediação de um Toro para medição de correntes de fuga ou recorrendo a três TC's, ligados entre si, de forma a efetuar a soma vetorial das correntes. Em ambas as situações, apenas é transmitida ao relé a medição da corrente de fuga à terra, sendo que esta é a diferença entre as correntes de entrada e de saída do cabo onde os TC's ou o Toro está instalado.

Esta é igualmente uma proteção com dois níveis de atuação, o temporizado e o instantâneo, dependendo do nível de corrente de fuga medido.

- Imagem térmica, ANSI 49RMS

A Imagem térmica tem por objetivo estimar o nível de carga da máquina e prevenir que esta seja sujeita a sobrecargas que originam danos térmicos, diminuindo o seu tempo de vida útil. Esta proteção é associada a dois tipos de máquinas, os Transformadores ou os Motores. O nível de carga é estimado por medição das correntes e temperatura.

- Bloqueio de Rotor, ANSI 48, arranque muito longo, ANSI 51LR

Conforme a denominação, o bloqueio do rotor de motor, destina-se à proteção de motores. A proteção contra rotor bloqueado protege a máquina de tentar arrancar com excesso de carga ou tensão insuficiente, medindo a corrente consumida pelo motor e fazendo com que as proteções atuem caso este valor ultrapasse o nível de corrente parametrizado para o arranque.

Nas situações de arranque demasiado longo este monitoriza a corrente consumida pelo motor e, caso demore demasiado tempo a arrancar, isto é, esteja mais do que o tempo normal de arranque a consumir acima da corrente nominal, atua abrindo as proteções associadas. Ambas as proteções serão desativadas depois do arranque do motor, não estando as mesmas a monitoriza-lo durante o seu normal funcionamento.

- Mínima Tensão, ANSI 27

Esta função de proteção permite monitorizar a tensão, quer diretamente, quer por via de Transformadores de Tensão, deslastrando ou impedindo a ligação de cargas mais sensíveis ao nível de tensão. Esta é uma proteção geralmente temporizada para alguns segundos, dependendo do nível mínimo de tensão para que foi parametrizada (SELETRIC, 2002).

Relativamente à temporização de proteções existem dois grupos principais: tempo independente ou definido e tempo dependente ou inverso.

O tempo independente é definido pelo técnico e, para qualquer nível de defeito, o tempo de atuação será sempre o mesmo, ou seja, para uma corrente de falha de uma vez a corrente de atuação, $1 \times I_a$, ou para $5 \times I_a$ o tempo de atuação será o mesmo.

No que concerne ao tempo dependente ou inverso, é variável consoante a corrente de defeito, de acordo com a curva escolhida, sendo inversamente proporcional à corrente de falha. Neste último grupo existem ainda curvas de tempo inverso, muito inverso e extremamente inverso (SELETRIC, 2002).

2.3. Transformadores de corrente e tensão

Os transformadores de corrente são equipamentos que, à semelhança de um transformador comum de potência, transformam o nível corrente que flui na linha num nível mais baixo, que possa ser lido pelo relé de proteção.

No secundário de um TC é possível ter duas gamas de correntes, 0-1 A ou 0-5 A, já na entrada do transformador ou primário, a corrente nominal pode ir de 1 a 3000 A.

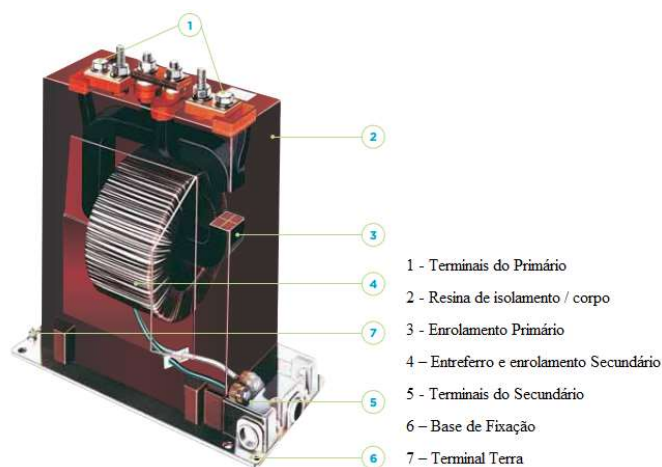


Figura 2.3- Esquematização de Transformador de Corrente - TC (ARTECHE, 2015)

Na figura 2.3 está representado o esquema de um TC do tipo Suporte, da ARTECHE, sendo que neste caso a linha principal é interrompida para que a corrente circule pelo TC, através dos terminais do primário. A Corrente que percorre o primário é reduzida às gamas de corrente do secundário através da razão de transformação do TC.

À semelhança dos TC existem os Transformadores de Tensão – TT – que de forma análoga reduzem o nível de tensão do primário para um nível de tensão que seja passível de ser lido e interpretado pelo relé.

Esse nível de tensão nominal está normalmente compreendido entre 100 V e os 120 V. São duas as formas de conexão que integram este tipo de equipamentos: Fase-Terra e Fase-Fase. Como deflui do conceito, na conexão Fase-Terra serão lidas as Tensões Simples entre a linha e a Terra, ao passo que na conexão Fase-Fase serão lidas as tensões compostas.

Na figura 2.4, está representado um TT de conexão entre fases e respetiva legenda dos seus componentes (ARTECHE, 2015).

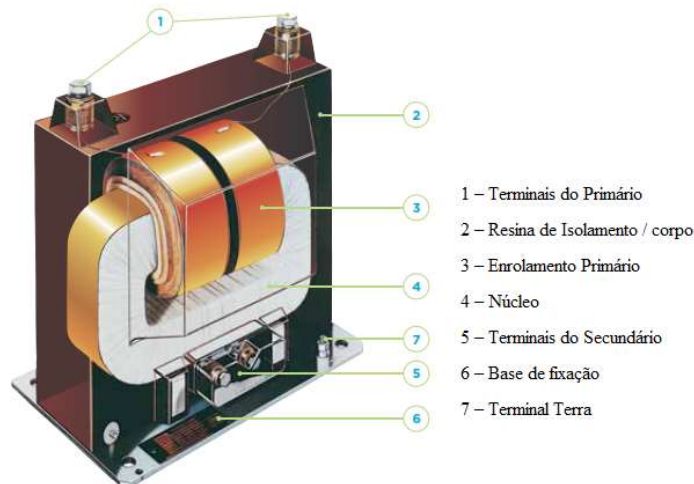


Figura 2.4 - Esquematização de Transformador de Tensão, TT (ARTECHE, 2015)

2.4. Equipamento de ensaio

A maioria dos ensaios, a estes equipamentos, são efetuados com caráter preventivo, tendo por objetivo assegurar que o relé continua a funcionar de acordo com os testes e margens de erro recomendados pelo fabricante do mesmo.

Por outro lado, são detetadas por vezes falhas, durante os ensaios ou durante o normal funcionamento da instalação, levando a que seja necessário corrigir essas mesmas falhas. Estas podem advir de problemas com a cablagem, fios partidos ou isolamento danificado, de problemas com os transformadores de medida ou ainda do relé em si. Esta manutenção tem um caráter corretivo e visa colocar o equipamento novamente em funcionamento. A maioria dos problemas deste tipo de sistemas deve-se ao relé e maioritariamente a única solução é a sua substituição por uma unidade nova. Esta substituição levanta ainda o problema da

compatibilidade entre o equipamento danificado, por vezes com muitos anos de serviço, e o equipamento novo, sendo necessário adaptar o sistema existente ao novo relé.

Face à crescente utilização de relés digitais de proteção, cada vez mais complexos, especialmente no que refere aos testes para despiste de avarias, foi necessária a aquisição de um equipamento capaz de executar os testes propostos pelos fabricantes.

Eram múltiplas as exigências no momento da aquisição da mala de testes, nomeadamente a nível de precisão dos tempos e saídas de corrente e tensão, o tempo despendido pelos técnicos na realização dos testes e o custo do equipamento.

Assim sendo, já no decorrer do estágio, foi adquirida a referida mala de testes, tendo a escolha recaído sobre a “ARTES 560” da *Kocos*, que cumpria os requisitos entendidos como necessários aos projetos a executar, pela sua relação qualidade/preço e ainda pelas condições de assistência pós-venda características da marca.

Tratando-se de um equipamento novo na empresa, e por esse motivo ainda por explorar, houve a necessidade de conhecer quer a mala de testes, quer o *software* de controlo adquirido, “ARTES”.

Aquando da entrega da mala de testes, foi possível assistir a uma ação de formação que pretendeu dar a conhecer as potencialidades do equipamento, e cedo foi possível, com a incansável ajuda do vendedor, explorar o equipamento e preparar os trabalhos que se previam. O primeiro contato com este tipo de trabalho deu-se ainda nas instalações da “Luminescências, S.A.”, o relé a testar seria um Vamp 50, relé de uma subestação no qual foi possível testar a injeção de correntes com o intuito de conhecer os processos de teste e também o funcionamento do relé.

A figura 2.5 retrata o processo de autoaprendizagem levado a cabo com o objetivo de preparar os trabalhos que estavam programados.

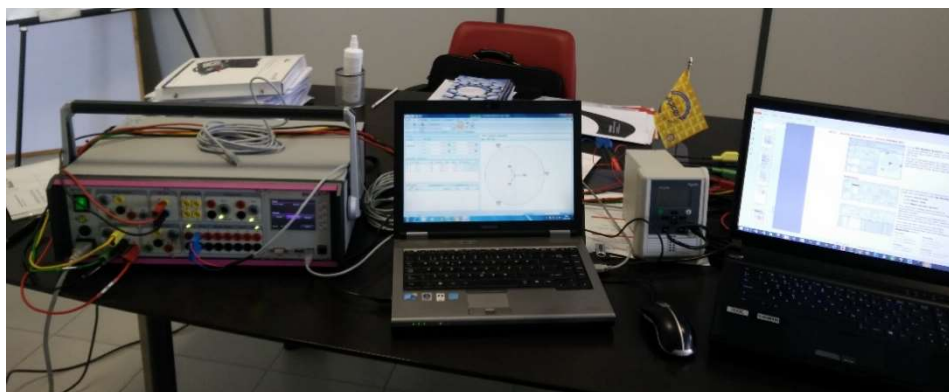


Figura 2.5- Mesa de Testes equipada com Kocos 560, Toshiba Tecra, Vamp 50, Clevo P170.

Testado exaustivamente o Vamp 50, foram posteriormente escolhidos o Sepam 1000+ S10 da Schneider e o ITG 7296 da CEE para constituírem os próximos objetos de estudo.

O Sepam 1000+ S10 foi escolhido devido à quantidade de exemplares instalados nos nossos clientes; trata-se de um relé de subestação que permite realizar a proteção de máxima corrente por fase, ANSI 50/51 e ainda máxima fuga à terra, ANSI 50N/51N.

Foi selecionado o ITG 7296 porque, a nível de proteções, é um relé muito semelhante ao anterior. Trata-se de um relé com cerca de 20 anos, mas ainda muito presente na indústria atual, o que permitiu estabelecer contato entre este tipo de relés e o novo equipamento de teste, desenvolver métodos e pequenos acessórios como cabos e fichas de ligação.

A experiência obtida com os testes nas nossas instalações permitiu otimizá-los para, em ambiente de manutenção, reduzir os tempos de paragem, de forma a minimizar os custos das pausas, quer para a empresa prestadora de serviços, quer para a empresa cliente.

Para os testes realizados a este tipo de relés, devido às limitações de cada um dos equipamentos, foram utilizados três equipamentos:

- Mala de testes Trifásica com capacidade de 64 A por fase – “ARTES 560” figura 2.6 – é uma mala completamente digital, controlada pelo utilizador através de um mini computador montado no seu chassis ou através do Software adquirido da *Kocos*, no PC. Por via do *software* “ARTES” é possível executar os testes de praticamente todos os relés. O equipamento em questão possui duas linhas de corrente trifásicas e uma linha de tensão, também ela trifásica.

- Mala de testes monofásica até 100 A, – “SMC PTE 100” figura 2.7 – Aquando dos testes acima de 64A, corrente máxima que a “ARTES 560” suporta, é necessário recorrer a esta mala. Em relação à anterior esta tem a vantagem de conseguir injetar mais corrente no entanto é totalmente analógica. A necessidade dos 100 A apenas se revelou necessária aquando do ensaio de relés mais antigos. Este tipo de relés, alguns com 20 anos, têm processos de teste que envolvem por vezes correntes muito acima do que seria necessário para testar um relé totalmente digital atual.

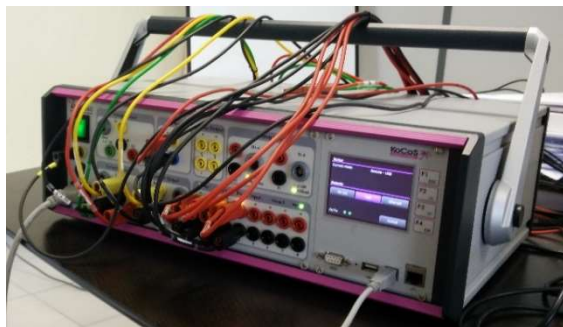


Figura 2.6- Mala de ensaios trifásica Kocos Artes 560



Figura 2.7- Mala de ensaios monofásica SMC PTE 100

- Injetor de corrente até 400 A, SMC LET 400 figura 2.8 – equipamento de injeção de corrente diretamente no primário do TC de modo a testá-lo e à respetiva instalação elétrica até ao relé.



Figura 2.8- Injetor de Corrente monofásico SMC LET 400

2.5. Realização de ensaios preventivos

Tendo em conta a elevada importância deste tipo de equipamentos para a continuidade do serviço e segurança, quer para pessoas quer para os equipamentos a que estão associados, é necessário a realização de diversos testes e manutenção.

Os testes a realizar visam simular as condições reais de um defeito, em cada um dos relés, os testes dependem das proteções ativas e das respetivas parametrizações. Estes são baseados em injeção de corrente, para simular a leitura de um TC, ou aplicação de tensão em função de um tempo. O tempo que dura a simulação é calculado em função do tempo parametrizado no relé

para a proteção que se pretende ensaiar. Por exemplo, para testar um relé utilizado para a proteção motor quanto à sua capacidade de identificar uma sobrecarga, será injetada uma corrente, diretamente no relé, igual à parametrizada para esta função. Caso o relé não faça atuar a proteção associada ao teste realizado no tempo estabelecido na parametrização, tendo por possível, uma pequena margem de erro, de cerca de 5 %, este terá de ser testado com valores um pouco superiores, para determinar se o relé não está a disparar de todo, ou se apenas não dispara nas condições parametrizadas.

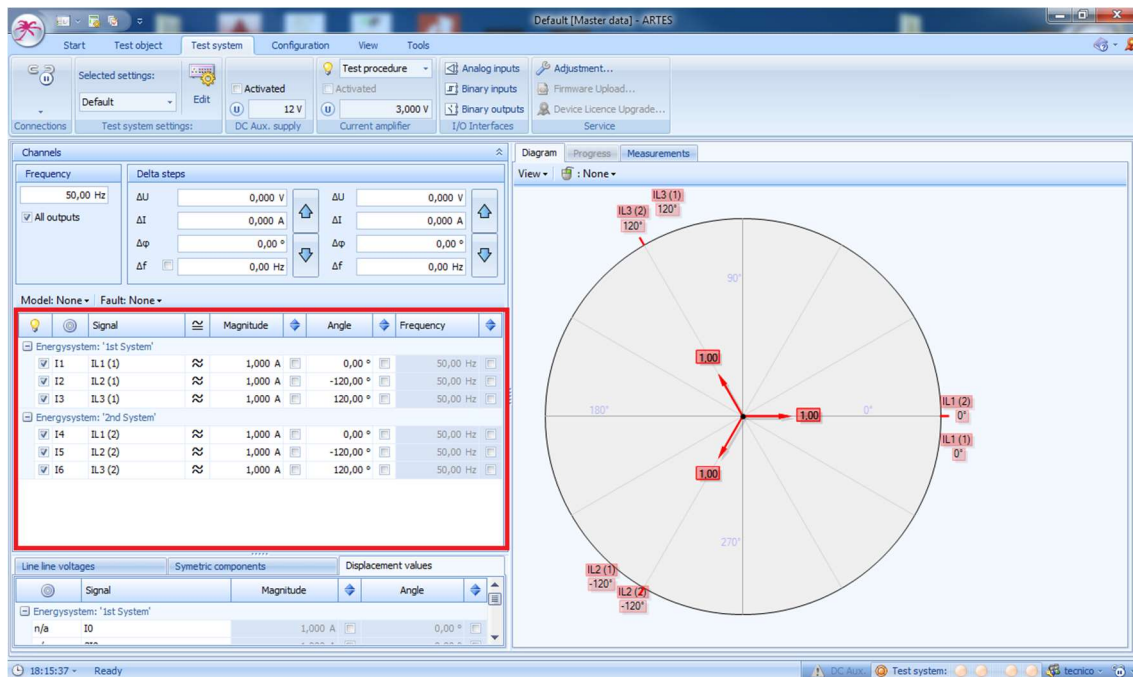


Figura 2.9- Parametrização do teste a executar através do SW ARTES

A figura 2.9 ilustra a interface com que é possível introduzir as variáveis, a fim de executar o teste ao relé. O separador, “Test System” permite modificar todas as saídas de tensão e corrente do equipamento.

Uma saída bastante importante, aquando dos testes de bancada, é a alimentação do relé. Neste equipamento existe a função “DC Aux Supply” que, como deflui da própria denominação, fornece uma tensão DC para alimentar o relé, definindo a tensão de alimentação este é perfeitamente capaz de alimentar o relé.

No separador “Delta Steps” é possível parametrizar os degraus a executar, através das setas à direita dos valores. Depois de atribuídos valores aos campos, é possível, ainda durante o teste, alterá-los, variando a corrente a injetar, ângulo e frequência da mesma.

É ainda exequível a alteração de todos os valores em conjunto ou de apenas um.

Visto existirem dois campos de parametrização do degrau é possível configurar o equipamento para alterar, por exemplo, a corrente em 0.1 A e simultaneamente o seu ângulo e durante o mesmo teste conseguir ainda alterar apenas a corrente com o segundo conjunto de degraus.

No que respeita à zona destacada a vermelho – zona sem designação definida – permite seleccionar quais as saídas de corrente que irão ser colocadas em serviço, quais os seus valores de corrente e ângulo. É também aqui que se valida ou não a função “Delta Steps” para cada um dos parâmetros de qualquer uma das correntes.

Caso o equipamento esteja no separador de aplicação de tensões, a parte gráfica é semelhante, no entanto passa a ser possível alterar a frequência da tensão aplicada. Está poderá ser inserida antes de iniciar o teste, em conjunto com a tensão nominal e o respetivo ângulo, mas também é passível de ser alterada durante o teste através do “Delta Steps”.

No Diagrama à direita, na figura 2.10, é possível visualizar um resumo, em forma de vetores, do que foi parametrizado, sendo que o comprimento dos vetores é dado pela corrente nominal e a respetiva orientação pelo ângulo parametrizado.

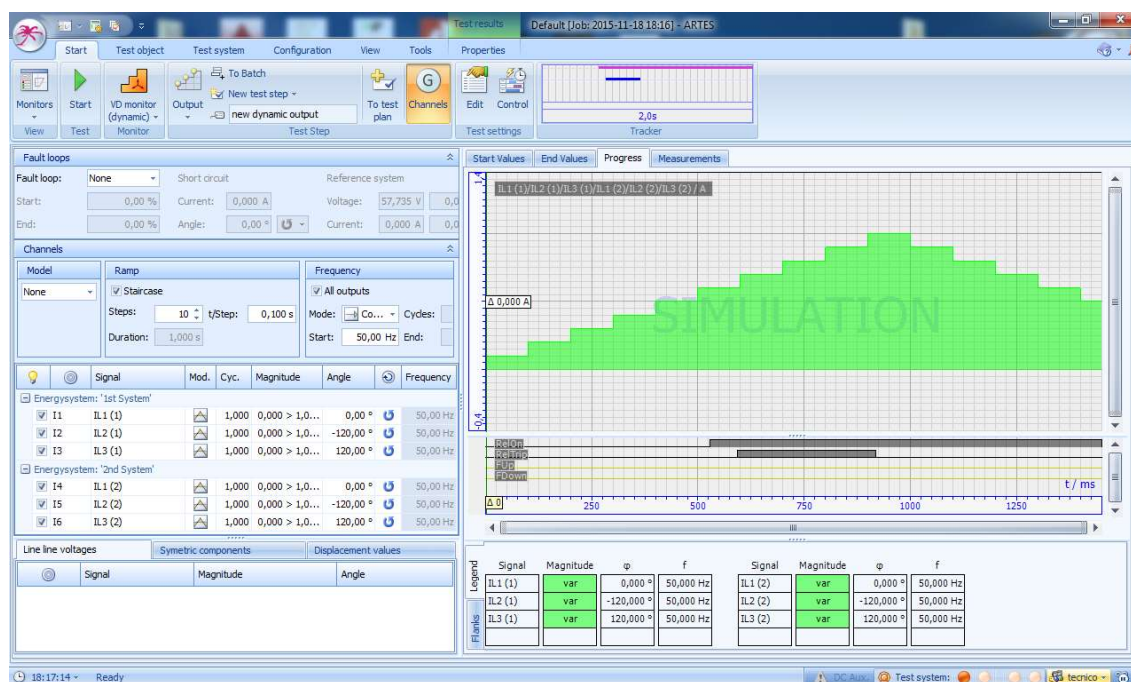


Figura 2.10 Teste em funcionamento - VD Monitor – Dynamic

Após a configuração do teste este é executado, o exemplo da figura 2.10 demonstra um teste em escada altera o valor das saídas, neste caso das correntes, com o valor predefinido na zona “Ramps”. Este teste baseia-se em quatro princípios:

- Quantidade de degraus feitos entre o valor máximo e mínimo, definidos na zona “Ramps” como o valor de “Steps”;
- Duração de cada um dos degraus, cujo valor é inserido no “t/Step”;

- Valor mínimo e máximo de corrente, inserido na coluna “Magnitude”;
- Respetivo ângulo de cada uma das correntes, parametrizado na coluna “Angle”.

O gráfico à direita, na figura 2.10, representa os valores de corrente à saída durante o teste, e no gráfico imediatamente abaixo estão representados os estados das entradas analógicas da mala de ensaios. Neste caso estaria apenas a entrada “RelOn” a vigiar o estado do contato que dá a ordem de abertura do disjuntor.

De forma análoga para testar um simples relé de mínima tensão terá de ser aplicada a tensão nominal do relé diretamente neste, que será diminuída até à mínima tensão regulada. Já próximo da mínima tensão regulada pode ser realizado um teste de injeção de tensão em escada, em que a tensão é diminuída automaticamente em degraus de apenas 500 mV com um tempo em cada degrau, um pouco superior ao parametrizado. Assim não só será possível identificar se o relé dispara, mas também com que tensão dispara e ainda quanto tempo demora a disparar depois de atingir a tensão limite.

Após os ensaios realizados diretamente no relé será ainda testado o relé através do respetivo TC ou TT para garantir que quer o equipamento de medida, quer a instalação ou cablagem, entre o equipamento de medida e o relé se encontra em bom estado.

Para além destes testes faz ainda parte do trabalho de manutenção, efetuar a limpeza e lubrificação do relé e respetivos contatos, garantindo que este se encontra em condições de ser passível de utilização pelos técnicos da instalação.

3. CÁLCULO DO PODER DE CORTE ADEQUADO À INSTALAÇÃO

3.1. Considerações gerais

A segurança nas instalações elétricas tem como principais objetivos proteger a própria instalação elétrica, mas ainda mais importante, proteger os seus utilizadores.

Para que se possa garantir essa mesma segurança é necessário que se cumpram um conjunto de regras que regem a coordenação dos diversos equipamentos que separam a produção do consumo de energia.

Neste capítulo será recalculado o Poder de Corte – PDC – necessário e adequação dos quadros MCC1 e MCC2 ao resultado obtido. Verificação de todos os equipamentos e cabos presentes na instalação face à utilização dos mesmos.

Após uma análise dos dados que foram recolhidos no decorrer deste relatório, estes foram processados e foram encontradas diversas lacunas que ameaçam principalmente a segurança da instalação mas ainda mais importante, não garantem a proteção daqueles que a utilizam.

Foram recalculados todas as secções dos cabos, determinadas as secções adequadas à corrente de serviço dos mesmos, adequadas as proteções de cada um dos circuitos e ainda garantida a proteção de pessoas ou animais contra contactos indiretos que possam existir na instalação.

3.2. Conceitos

Neste ponto serão abordados alguns dos conceitos mais importantes que irão surgir no decorrer deste capítulo.

- Poder de corte – PDC

Define o valor máximo de corrente de curto-circuito que um disjuntor, ou fusível pode interromper continuando operacional, normalmente expressa em kA.

É obtido através do cálculo da impedância da rede no ponto de defeito, assim sendo quanto maior for a impedância, menor terá de ser o PDC.

- Interruptor seccionador-fusível

Estes equipamentos têm num só equipamento três funções:

- Interruptor, este tem a capacidade de abertura em carga, ou seja consegue abrir um circuito, com este em funcionamento, e extinguir o arco originado por essa abertura.
- Seccionador, o objetivo deste equipamento é o de separar partes do circuito que já não se encontrem energizadas, sendo assim possível separar troços da alimentação antes de os energizar ou ainda por questões de segurança aquando de trabalhos nas instalações afetas aos circuitos em causa.
- Fusível, tem a função de proteger o circuito contra curto-circuitos e sobrecargas, distinguindo-se assim dos disjuntores pelo seu alto poder de corte e baixo custo inicial.

Em resumo, serve para garantir que o circuito pode ser aberto em carga ou em vazio, garantindo ainda a proteção contra curto-circuitos na ordem das dezenas de kA (HAGER, 2013).

- Porta-fusíveis

Os Porta-Fusíveis, como o próprio nome indica, apenas tem a função de albergar o fusível, cumprindo assim as funções de proteção contra curto-circuitos e sobrecargas. São ainda capazes de separar manualmente partes do circuito elétrico, no entanto apenas quando estas não se encontram energizadas.

- Disjuntor

Estes podem ser divididos em duas categorias, magnéticos e magneto-térmicos.

Disjuntores magnéticos apenas têm a capacidade de proteger contra curto-circuitos, não protegendo devidamente contra sobrecargas. Estes tem a vantagem, face aos fusíveis, de poderem ser rearmados em caso de defeito, e abertura, mas têm um poder de corte muito inferior aos fusíveis. No decorrer deste trabalho será explorada esta desvantagem.

Os Disjuntores magneto-térmicos são normalmente utilizados para proteger motores, pois para além de proteger contra curto-circuitos, protegem ainda contra sobrecargas protegendo assim, por exemplo, o motor de sobreaquecer. Partindo do pressuposto de que está devidamente regulado.

- Relé térmico

Como explicado no ponto anterior, a proteção térmica, tem como objetivo a proteção contra sobrecargas, normalmente utilizada em motores.

Esta proteção é normalmente utilizada na saída de contactores, fazendo com que o contator seja aberto em caso de sobrecarga.

- Contator

Este é um equipamento constituído por uma bobine e por contactos. O contator tem por objetivo fazer a ponte entre o circuito de comando e o de potência. A bobine é energizada, pelo circuito de comando e faz com que o contacto mude de estado, normalmente para fechado, energizando assim a sua saída, através do fecho do circuito de potência, alimentando assim o equipamento a que está interligado.

3.3. Análise de documentos fornecidos pelo cliente

Após a análise dos documentos, foi possível recolher informação essencial ao dimensionamento das proteções a instalar nos quadros referidos.

Com base nas informações reunidas foi possível executar o esquema unifilar, figura 3.1, que resume o esquema de ligações destes dois quadros.

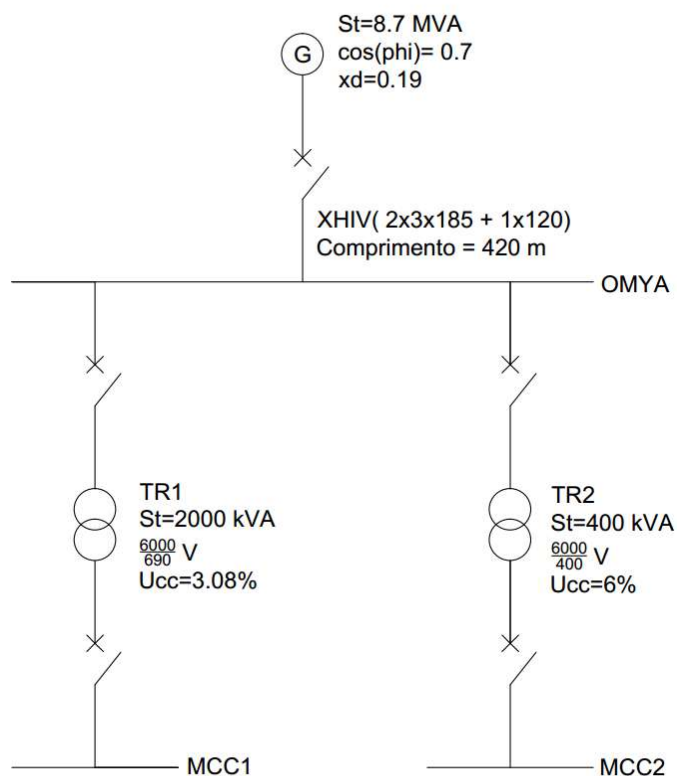


Figura 3.1- Esquema Unifilar da alimentação dos quadros MCC1 e MCC2

Neste trabalho foram tidos em consideração os dados apresentados na tabela 3.1, que resumem as características necessárias para um bom dimensionamento das proteções associadas.

Relativamente ao gerador, este tem uma potência de 8,2 MVA a 6 000 V, alimentando assim os dois transformadores secos a montante, TR1 e TR2. Deste importa ainda destacar a sua reactância síncrona, pois é em função desta que pode ser calculada a corrente que o gerador poderá atingir imediatamente após uma falta, curto-circuito aos seus terminais.

Já no que diz respeito aos transformadores, dispomos da sua tensão de curto-circuito, outra forma de calcular o comportamento da máquina, após um curto-circuito.

Tabela 3.1- Resumo das características do gerador e transformadores que alimentam os quadros em estudo

| Alimentação dos transformadores 1 e 2, características do Gerador: | | |
|---|-------|----------|
| Potência Aparente Total | 8,2 | MVA |
| Reactância Síncrona | 0,19 | Ω |
| Potência de Curto-Circuito | 43,15 | MVA |
| Tensão de Saída | 6 | kV |
| Transformador de alimentação do MCC1: | | |
| Potência Aparente Total | 2 | MVA |
| Tensão de Curto-Circuito | 3,8 | % |
| Tensão de Entrada | 6 | kV |
| Tensão de Saída | 690 | V |

| Transformador de alimentação do MCC2: | | |
|--|-----|-----|
| Potência Aparente Total | 0,4 | MVA |
| Tensão de Curto-Circuito | 6 | % |
| Tensão de Entrada | 6 | kV |
| Tensão de Saída | 400 | V |

3.4. Cálculo do Poder de Corte nos diferentes pontos da instalação

Através dos dados obtidos, esquema unifilar e tabela 3.1, será feito um estudo com o objetivo de inferir sobre qual o PDC necessário nos diversos pontos da instalação em estudo.

Para efetuar os cálculos respetivos a cada um dos pontos da instalação são usadas as seguintes equações:

$$S_{cc} = \frac{S_T}{xd}, \quad (1)$$

Em que:

S_{cc} - representa a Potência de Curto-Circuito da máquina, em MVA;

S_T - representa a Potência nominal da máquina, em MVA;

xd - representa a reatância síncrona da máquina, em Ω .

$$X_{Gerador} = \frac{U_0^2}{S_{cc}} \quad (2)$$

Em que:

$X_{gerador}$ - representa reatância da máquina, em Ω ;

U_0^2 - representa o quadrado da Tensão, entre fases, em vazio da máquina, em V;

S_{cc} - representa a Potência de Curto-Circuito da máquina, em VA.

$$R_{Gerador} = 0,1 \times X_{Gerador} \quad (3)$$

Em que:

$R_{gerador}$ - representa a resistência dos enrolamentos da máquina, em Ω ;

$X_{gerador}$ - representa reatância da máquina, em Ω .

$$Z_{Gerador} = \sqrt{X_{Gerador}^2 + R_{Gerador}^2} \quad (4)$$

Em que:

$Z_{gerador}$ - representa a impedância dos enrolamentos da máquina, em Ω ;

$R_{gerador}$ - representa a resistência dos enrolamentos da máquina, em Ω ;

$X_{gerador}$ - representa reatância da máquina, em Ω .

$$Ib_{Gerador} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \times Z_{Gerador}} \quad (5)$$

Em que:

$Ib_{gerador}$ - representa a corrente nominal da máquina, em A;

U_0 - representa a Tensão, entre fases, em vazio da máquina, em V;

$Z_{gerador}$ - representa a impedância dos enrolamentos da máquina, em Ω .

$$Icc_{Gerador} = m \times \sqrt{2} \times Ib_{Gerador} \quad (6)$$

Em que:

m - representa o coeficiente entre a resistência e a reatância da máquina;

$Ib_{gerador}$ - representa a corrente nominal da máquina, em A.

$$m = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{R}{X}} \quad (7)$$

Em que:

R - representa a resistência da máquina, em Ω ;

X - representa a reatância da máquina, em Ω .

3.4.1. Entrada dos transformadores, primário

Visto que ambos os transformadores são alimentados pela mesma linha, 6 kV vinda do Gerador, a impedância e consequentemente o PDC são iguais para ambos (SELETRIC, 2005).

Assim sendo, relativamente ao Gerador, temos:

$$S_{cc} = \frac{S_T}{xd} = \frac{8,2}{0,19} = 43,15 \text{ MVA}$$

$$X_{Gerador} = \frac{U_0^2}{S_{cc}} = \frac{6000^2}{43,15 \times 10^6} = 0,8342 \text{ } \Omega$$

$$R_{Gerador} = 0,1 \times X_{Gerador} = 0,0834 \text{ } \Omega$$

$$Z_{Gerador} = \sqrt{X_{Gerador}^2 + R_{Gerador}^2} = 0,8385 \text{ } \Omega$$

$$Ib_{Gerador} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \times Z_{Gerador}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \times 0,8385} = 4131,31 \text{ A}$$

$$Icc_{Gerador} = m \times \sqrt{2} \times Ib_{Gerador} = 1,746 \times \sqrt{2} \times 4131,31 =$$

$$Icc_{Gerador} = 10,2 \text{ kA}$$

Com os resultados obtidos conclui-se que qualquer proteção associada à saída do gerador terá obrigatoriamente de ter um PDC, normalizado, de 15 kA ou superior.

No entanto, ao adicionar o circuito que alimenta o transformador, do gerador, e as diversas proteções, podemos verificar que a impedância irá aumentar até chegar ao primário dos transformadores fazendo com que o PDC seja inferior ao anterior:

$$X_{\text{Seccionador}} = 0,15 \text{ m}\Omega$$

$$X_{\text{Cabo}_1} = 0,09 \times 10^{-3} \times 420 = 37,8 \text{ m}\Omega$$

$$R_{\text{Cabo}_1} = 0,023 \times \frac{420}{2 \times 185} = 26,11 \text{ m}\Omega$$

$$X_{\text{Seccionador}_2} = 0,15 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{TR} =$$

$$= \sqrt{(X_{\text{Cabo}_1} + X_{\text{Seccionador}} + X_{\text{Gerador}} + X_{\text{Seccionador}_2})^2 + (R_{\text{Cabo}_1} + R_{\text{Seccionador}} + R_{\text{Gerador}} + R_{\text{Seccionador}_2})^2} =$$

$$= 0,8791 \text{ }\Omega$$

$$I_{b \text{ Pri_Transf}} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \times Z_{TR}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \times 0,8791} = 3940,51 \text{ A}$$

$$I_{cc \text{ Pri_Transf}} = m \times \sqrt{2} \times I_{b \text{ Pri_Transf}} = 1,6924 \times \sqrt{2} \times 3940,51 =$$

$$I_{cc \text{ Pri_Transf}} = 9431,27 \text{ kA}$$

Neste caso para o seccionador foi considerado uma reactância de valor 0,15 mΩ e não foi considerado valor de resistência devido ao fato de um seccionar em bom estado de conservação ter valores de resistência de contatos na ordem das dezenas de micro ohms, μΩ (SELETRIC, 2005).

Como se pode constatar o PDC diminuiu, ao ser contabilizado o circuito de alimentação do transformador.

3.4.2. Cálculo do Poder de Corte necessário ao quadro MCC1

Para o cálculo do PDC do MCC1 é necessário considerar o pior caso, ou seja, um curto-circuito trifásico franco no disjuntor de entrada do quadro.

Nesse caso:

$$X_{TR1} = \frac{3,8}{100} \times \frac{690^2}{2000000} = 9,045 \text{ m}\Omega$$

$$R_{TR1} = 0,1 \times X_{TR1} = 0,9045 \text{ m}\Omega$$

Fator de correção 6kV → 690V

$$Fc = \left(\frac{690}{6000}\right)^2 = 0,013225$$

$$\begin{aligned}
Z_{\text{Secundário}_{690\text{V}}} &= \\
&= \sqrt{((X_{\text{Cabo}_{1}} + X_{\text{Sec}} + X_{\text{Gerador}} + X_{\text{Sec2}}) \times Fc + X_{\text{TR1}})^2 + ((R_{\text{Cabo}_{1}} + R_{\text{Sec}} + R_{\text{Gerador}} + R_{\text{Sec2}}) \times Fc + R_{\text{TR1}})^2} = \\
&= 0,0163 \Omega
\end{aligned}$$

$$I_{b_{\text{TR1}}} = \frac{690}{\sqrt{3} \times 0,0163} = 24,48 \text{ kA}$$

$$I_{c_{\text{TR1}}} = I_b \times \sqrt{2} \times m = 24,48 \times \sqrt{2} \times 1,048 = 36,27 \text{ kA}$$

Através dos cálculos efetuados podemos constatar que ao introduzirmos o transformador no sistema, este aumenta o poder de corte necessário devido a razão de transformação.

Assim sendo o PDC necessário, ao correto e seguro funcionamento das instalações elétricas alimentadas por este transformador terá de ser igual ou superior a 50 kA, corrente de circuito normalizada imediatamente acima da calculada. Caso este valor não seja respeitado e seja inferior, os equipamentos poderão ficar inutilizados após um curto-circuito ou num pior cenário poderão não conseguir eliminar o defeito.

3.4.3. Cálculo do Poder de Corte necessário ao quadro MCC2

De forma análoga ao calculado para o MCC1, tem:

$$X_{\text{TR2}} = \frac{6}{100} \times \frac{400^2}{400000} = 0,024 \text{ m}\Omega$$

$$R_{\text{TR2}} = 0,1 \times X_{\text{TR2}} = 0,0024 \text{ m}\Omega$$

Fator de correção 6kV -> 400V

$$Fc_2 = \left(\frac{400}{6000}\right)^2 = 0,00444(4)$$

$$Z_{\text{Secundário}_{400\text{V}}} =$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{((X_{\text{Cabo}_{1}} + X_{\text{Sec}} + X_{\text{Gerador}} + X_{\text{Sec2}}) \times Fc_2 + X_{\text{TR2}})^2 + ((R_{\text{Cabo}_{1}} + R_{\text{Sec}} + R_{\text{Gerador}} + R_{\text{Sec}}) \times Fc_2 + R_{\text{TR2}})^2} = \\
&= 0,0253 \Omega
\end{aligned}$$

$$I_{b_{\text{TR2}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 0,0253} = 9,14 \text{ kA}$$

$$I_{c_{\text{TR2}}} = I_b \times \sqrt{2} \times m = 9,14 \times \sqrt{2} \times 1,47 = 19,047 \text{ kA}$$

Neste caso a diminuição do PDC do MCC2 relativamente ao MCC1 deve-se ao nível de tensão ser bastante inferior. Para este quadro, o PDC mínimo normalizado que as proteções terão de possuir é de 25 kA.

3.5. Cálculo das secções mínimas dos cabos

Todas as secções dos cabos pertencentes aos quadros MCC1 e MCC2 foram recalculados por forma a garantir proteção contra contactos, sobrecargas e curto-circuitos.

No quadro MCC1 foram utilizadas seccionadores-fusíveis devido a inexistência de soluções por parte dos fabricantes “Schneider Electric” e “ABB” na sua oferta para a gama de disjuntores, para os poderes de corte calculados no ponto anterior sendo a tensão nominal do MCC1 de 690V, outra particularidade deste projeto.

As exigências perante o equipamento selecionado para fazer a proteção eram várias, entre elas destacam-se:

- O espaço reduzido disponível nos quadros do cliente;
- A impossibilidade de instalação de novas celas, devido aos custos associados;
- O poder de corte necessário;
- A necessidade do cliente ter a possibilidade de desligar o circuito associado à base fusível sem recurso a mais equipamentos, ou seja ser possível deslastrar a carga com recurso apenas ao novo equipamento a instalar.

Assim sendo, com recurso ao suporte técnico da Schneider, foi tomada a decisão de instalar seccionadores-fusíveis, de referência GK1SW da Schneider, para aumentar o poder de corte dos equipamentos a montante destes.

Para que a instalação fosse passível de ser utilizada em segurança, foi necessário:

- Garantir proteção contra contactos indiretos

Para que se possa garantir a proteção contra contactos indiretos numa instalação deste tipo, TN-C em que o condutor de proteção é o PEN que reúne as funções de condutor de proteção e neutro, é necessário garantir que caso exista um curto-circuito, este origina correntes que façam disparar as proteções associadas, sendo que neste caso foi tido em conta um tempo de atuação das proteções sempre inferior a 100ms.

- Garantir proteção contra sobrecargas

A proteção contra sobrecargas é assegurada pela proteção do equipamento a montante, já que não é ultrapassada a corrente, corrigida pelos fatores de agrupamento, de cabos na caleira, e temperatura das instalações, durante tempo suficiente para que se possam danificar as canalizações elétricas.

- Garantir proteção contra curto-circuitos

Esta foi a nossa principal preocupação já que foi o que motivou este estudo. Foi verificado a capacidade de corte, PDC, dos equipamentos instalados e calculada a corrente de curto-circuito de cada um dos quadros em estudo. Após isto foram identificados os equipamentos que não cumpriam os requisitos e apresentadas as soluções.

Para garantir que estes critérios são cumpridos foi construída, de raiz, a folha de cálculo que está representada na figura 3.2.

Esta folha de cálculo tem duas condições centrais:

- Dimensionamento dos cabos

Como condição para a secção do cabo ser aprovada é necessário que sejam cumpridas as expressões presentes nas Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão –RTIEBT– artigo n.º 433.2 da Portaria n.º 949-A/2006, de 11 de Setembro, ou seja:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (8)$$

e

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (9)$$

Em que:

I_B - corresponde à corrente de serviço de circuito, em A;

I_n - corresponde à corrente admissível na canalização, em A;

I_z - corresponde à corrente estipulada do dispositivo de proteção, em A;

I_2 - corresponde à corrente convencional de funcionamento, ou seja a corrente para a qual o dispositivo não atua durante o tempo convencionado, em A.

- Adequação da escala da proteção térmica do disjuntor

A segunda condição necessária à aprovação do circuito, pela folha de cálculo, é a adequação da escala da componente de proteção térmica, do disjuntor ou do disparador térmico associado ao contator, à corrente nominal de funcionamento do motor, para que este esteja protegido contra sobrecargas.

| Designação | Dados do motor: | | | | Dados cabo: | | | | | | Fusível | | | Cont actor | | Térmico | | Resultados | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|------|------------|-----------------|-------------|---------|-------|---|----------|--------|---------|---|---------|------------|--------|----------|--------|------------|--------|-------|---------|-------------|------------|----------|------------|----------|----------------------|-------|
| | Potência [W] | cosφ | Tensão [V] | Arranque: lb[A] | L [m] | T.A [C] | M. I. | N | Condução | Secção | In[A] | N | tpc [A] | In [A] | If [A] | Pdc [kA] | ie [A] | In [A] | la[A] | lb[A] | tpc [A] | 1.45 Itc[A] | U [V], [%] | Icc [kA] | t ruptur a | Cmp. Max | Ib5IzcsI f51.45*1 zc | |
| Bomba 792 M1 | 15 000 | | 690,0 | 17,3 | 140,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 6 | 51 | 1 | 32,5 | 25 | 40 | 80 | 25 | 19 | 103,8 | 17,3 | 32,5 | 47,1 | 8,7 | 1,26% | 0,7 | <0.1 | 2858 | Certo |
| Bomba 701 M1 | 11 000 | | 690,0 | 13,2 | 28,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 6 | 51 | 1 | 36,7 | 16 | 30,4 | 80 | 18 | 14,5 | 79,2 | 13,2 | 36,7 | 53,2 | 1,3 | 0,19% | 3,4 | <0.1 | 4466 | Certo |
| Agitador 706 M1 | 5 500 | | 690,0 | 6,6 | 35,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 2,5 | 30 | 1 | 19,1 | 8 | 15,2 | 80 | 9 | 7,26 | 39,6 | 6,6 | 19,1 | 27,7 | 2,0 | 0,29% | 1,1 | <0.1 | 3721 | Certo |
| Agitador 361 M1 | 5 500 | | 690,0 | 6,6 | 27,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 2,5 | 30 | 1 | 19,1 | 8 | 15,2 | 80 | 9 | 7,26 | 39,6 | 6,6 | 19,1 | 27,7 | 1,5 | 0,22% | 1,5 | <0.1 | 3721 | Certo |
| Compressor 603 M1 | 2 000 000 | | 690,0 | 200,0 | 45,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 120 | 308 | 2 | 392,4 | 224 | 358,4 | 80 | 225 | 220 | 1200,0 | 200,0 | 196,2 | 569,0 | 1,6 | 0,23% | 42,8 | <0.1 | 6379 | Certo |
| Tapete 202 M1 | 2 200 | | 690,0 | 3,5 | 48,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 2,5 | 30 | 1 | 19,1 | 8 | 15,2 | 80 | 9 | 3,85 | 21,0 | 3,5 | 19,1 | 27,7 | 1,4 | 0,21% | 0,8 | <0.1 | 3721 | Certo |
| Bomba 791 M1 | 15 000 | | 690,0 | 17,3 | 140,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 6 | 51 | 1 | 32,5 | 20 | 32 | 80 | 25 | 19 | 103,8 | 17,3 | 32,5 | 47,1 | 8,7 | 1,26% | 0,7 | <0.1 | 3573 | Certo |
| Compressor 602 M1 | 2 000 000 | | 690,0 | 200,0 | 45,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 120 | 308 | 2 | 392,4 | 224 | 358,4 | 80 | 225 | 220 | 1200,0 | 200,0 | 196,2 | 569,0 | 1,6 | 0,23% | 42,8 | <0.1 | 6379 | Certo |
| Sem fim 236 M1 | 4 000 | | 690,0 | 5,1 | 50,0 | 40 | E | 9 | Cobre | 2,5 | 30 | 1 | 19,1 | 8 | 15 | 80 | 9 | 5,61 | 30,6 | 5,1 | 19,1 | 27,7 | 2,2 | 0,32% | 0,8 | <0.1 | 3721 | Certo |

Tabela 3.2 - Folha de Excel com os cálculos efetuados, relativos a uma amostra do MCC1

3.6. Alterações a efetuar

Após as verificações feitas com o apoio da folha de cálculo foi possível identificar várias situações que requerem atenção pois não garantem as proteções referidas no subcapítulo 3.5. Estas passam por integração de um seccionador fusível em determinados circuitos, alteração do disjuntor de proteção ao controlo do equipamentos ou ainda pela substituição da proteção térmica associada ao circuito por este não possuir na sua gama de proteção a corrente nominal do equipamento a que está associado.

Assim sendo, são propostas soluções com o objetivo de dotar os quadros de proteção adequada às características da instalação. Na tabela 3.2 está representado um extrato do novo esquema unifilar, executado com as alterações necessárias ao correto e seguro funcionamento da instalação. As alterações a efetuar estão legendadas com “****” a fim de possibilitar a identificação do material a substituir.

3.6.1. Alterações a efetuar no MCC1

Para adequar os quadros existentes ao PDC calculado neste relatório, e na ausência de outra solução devido ao nível de tensão/PDC, foi necessário recorrer a fusíveis. Dotando todos os circuitos de saída do MCC1 de seccionadores-fusíveis, é possível obter um PDC de 80 kA, suficiente para o quadro em questão e assim garantir a segurança de todos os utilizadores da instalação e da própria instalação.

Para além da instalação de seccionadores-fusível também será necessária a substituição de alguns Disjuntores-Motor que não estão adequados aos equipamentos que estão a alimentar, não garantindo proteção térmica aos motores associados bem como alguns fusíveis que possuem uma tensão de funcionamento diferente da tensão do quadro.

Parte destas alterações estão sinalizadas no esquema elétrico unifilar representado na figura 3.3.

3.6.2. Alterações a efetuar no MCC2

No caso do quadro MCC2, cuja tensão nominal é 400 V, será necessário dotar os circuitos, cujas proteções não cumprem o PDC mínimo exigido ao quadro, de seccionadores fusíveis de modo a adequar o PDC dos equipamentos. Será ainda necessário substituir os Disjuntores-Motores de maior potência que não possuem o PDC necessário por aparelhagem adequada que o possa garantir e alguns fusíveis que possuem uma tensão de funcionamento diferente da tensão do quadro.

Neste quadro terá de ser feita uma alteração à cablagem, o cabo que alimenta o equipamento de proteção do MCC3 que terá de ser substituído por cabo com uma secção de 150 mm², encontrando-se de momento um cabo com uma secção de 70 mm² aplicado.

As alterações a efetuar neste quadro não foram propositadamente inseridas neste relatório visto que o esquema unifilar seria bastante extenso, tendo apenas sido exemplificado para o quadro do subcapítulo 3.5 e 3.6 onde se encontra a folha de cálculo utilizada e respetivo esquema unifilar final.

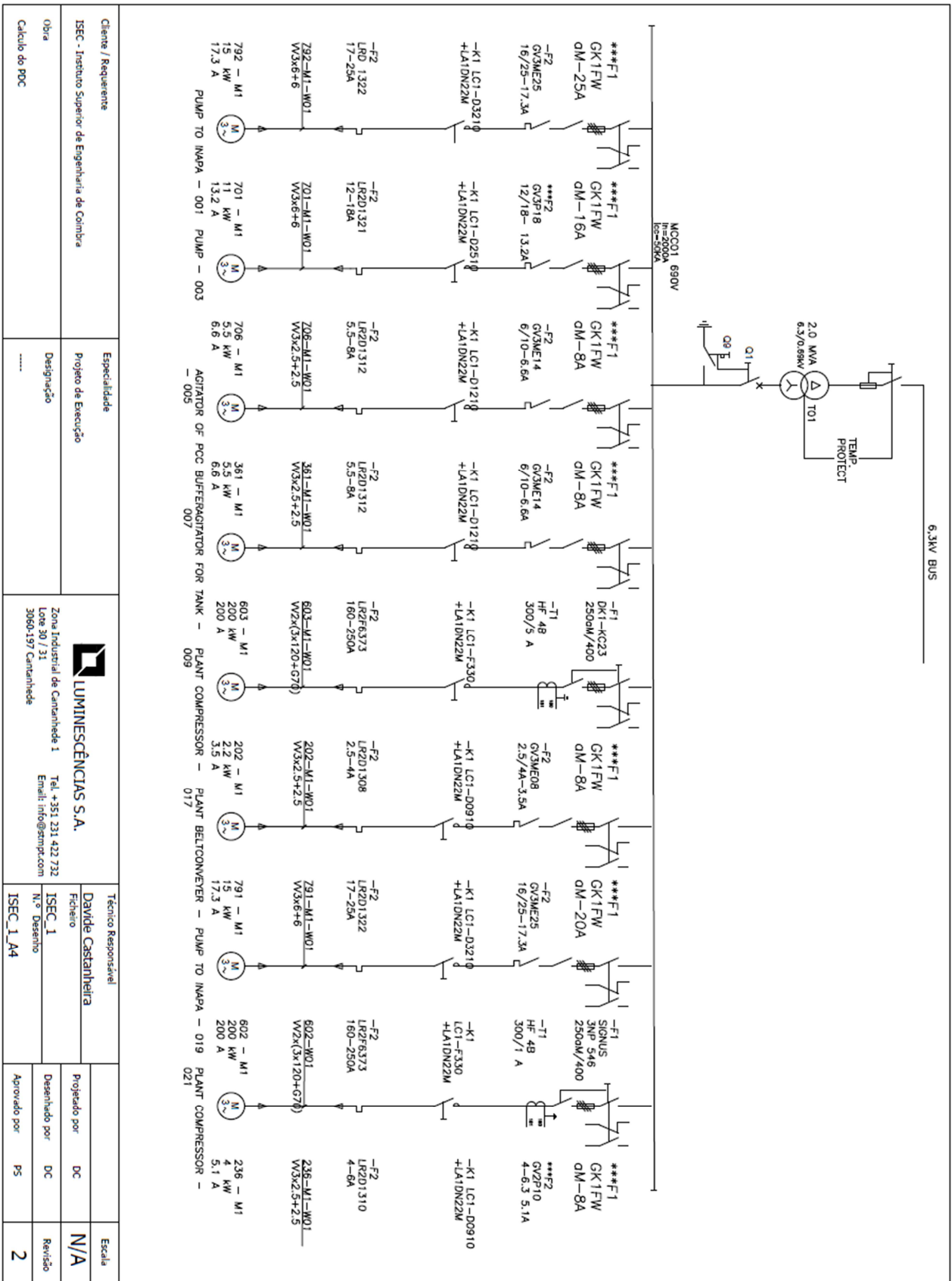


Figura 3.2- Esquema Unifilar de parte do quadro MCC1 alterado

| | | | | |
|--|--------------------------------------|---|---|---------------------|
| Cliente / Requerente ISEC - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra | Especialidade Projeto de Execução | Zona Industrial de Camanhôde 1 Lote 30 / 31 3060-197 Camanhôde Tel. +351 231 422 732 Email: info@lscmpc.com | Técnico Responsável Davide Castanheira | Escala N/A |
| Obra Cálculo do PDC | Designação | | Ficheiro ISEC_1 | Desenhado por DC |
| | | | Aprovado por PS | Revisão 2 |

4. GESTÃO DA ENERGIA REATIVA

4.1. Energia reativa

A Energia reativa define-se como a energia consumida pelos equipamentos destinada exclusivamente à magnetização dos seus circuitos.

Os maiores consumidores de energia reativa são os motores e transformadores, sendo o seu consumo maior quanto menor for o fator de potência, ou $\cos(\phi)$, da máquina, no entanto a energia reativa, neste tipo de máquinas não gera trabalho mas é essencial para que estas funcionem. Neste tipo de máquinas elétricas a eficiência é definida pela razão entre a potência consumida e o trabalho realizado mas também pela razão entre a potência ativa e a potência aparente.

A Potência ativa é a que produz efetivamente trabalho, seja este por movimento, calor ou iluminação.

Relativamente à potência aparente, esta unidade foi criada apenas para facilitar a quantificação da potência nominal de uma máquina pois esta já engloba a potência ativa e a potência reativa. É calculada através da combinação do vetor da potência ativa e da potência reativa (SELETRIC, 2008).

A energia consumida por uma máquina elétrica pode ser resumida em três vetores, potência ativa, reativa e aparente, como demonstrado na figura 4.1:

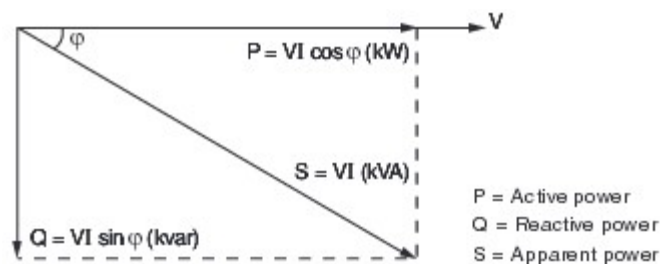


Figura 4.1- Vetores de Potência (SELETRIC, 2008)

Tendo em conta que a energia reativa é fortemente penalizada na fatura energética, é do interesse dos consumidores industriais produzir a sua própria energia reativa, através da compensação do fator de potência. Esta penalização é devido ao fato de ser necessária a produção da energia reativa pelos geradores, através da adequação da excitação dos mesmos, diminuindo assim a sua capacidade de produzir energia ativa. Por outro lado o trânsito de energia reativa diminui também a capacidade de transporte de energia ativa pelas linhas de transporte de energia.

Esta penalização serve para compensar os produtores e distribuidores de energia, mas também para incentivar os consumidores a produzir a sua própria energia reativa.

4.2. Custos com Energia Reativa

O pagamento da energia reativa está sujeito a taxação em três escalões, como apresentado na figura 4.2. Sendo que o escalão em que é taxada a energia reativa consumida é determinado pelo fator entre a energia reativa e a ativa que é consumida diariamente, $\text{tg}(\varphi)$.

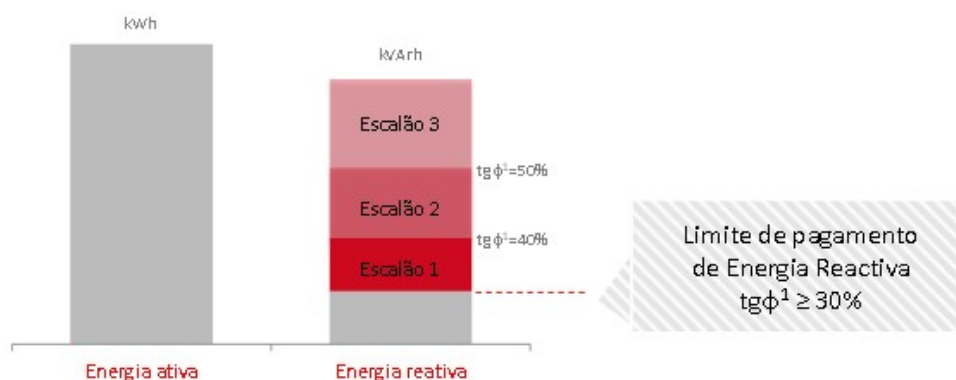


Figura 4.2 - Escalonamento do pagamento de Energia Reativa (EDP, 2015).

Cada um dos escalões tem um fator multiplicativo associado, ou seja caso o consumidor se encontre no escalão 1 a energia consumida será multiplicada por 0,33 antes de ser faturada, caso se encontre no escalão 2, ou seja até ao rácio de 50 % entre a energia reativa e a energia ativa consumida, paga exatamente a energia que consumiu. Caso tenha um fator de consumo acima dos 50 % será fortemente penalizado pois a energia irá ter um fator multiplicativo de 3. Por outro lado caso o fator de consumo seja inferior a 30 %, este não irá ser penalizado relativamente à energia reativa (ERSE, 2010).

Por outro lado o fornecimento de energia reativa à rede em período de vazio, energia reativa capacitiva, também acarreta custos. A faturação de energia reativa capacitiva, não está sujeita a fatores de multiplicação associados, tendo um preço fixo por kvarh em função do nível de tensão e contrato do cliente

4.3. Compensação de energia reativa

Para atenuar os custos associados ao consumo de energia reativa nas instalações recorre-se à instalação de baterias de condensadores para que a energia reativa necessária seja produzida na instalação onde é consumida.

Esta compensação pode ser feita junto ao equipamento consumidor, por exemplo um motor, minimizando as correntes a circular na instalação ou pode ser feita junto dos quadros gerais.

Existem dois tipos principais de baterias, fixas e automáticas.

Baterias de escalões fixos tem como função compensar um determinado equipamento que tem um consumo constante de energia reativa, por exemplo compensar a energia reativa para a magnetização de um transformador de potência. Estas estão constantemente ligadas à instalação com a sua potência nominal.

Uma das desvantagens de colocar uma bateria fixa para compensar uma instalação é o custo associado ao fornecimento de energia reativa à rede em períodos de vazio.

Quanto às baterias automáticas, equipadas com um relé varimétrico, permitem que a bateria tenha apenas a potência adequada ao consumo instantâneo da instalação, colocando escalões de condensadores em funcionamento através de contactores.

O relé varimétrico funciona como controlador da bateria, baseia-se na leitura das correntes que circulam na instalação através de TC's e das respetivas tensões, para colocar em serviço apenas a potência reativa necessária para aumentar o fator de potência para o valor que foi parametrizado.

Caso a bateria seja subdimensionada, apesar do controlador colocar todos os escalões em serviço, este não conseguirá elevar o fator de potência para o valor ideal.

Um dos controladores mais utilizados na indústria é o Varlogic da Schneider, que existe na versão de 6 e 12 escalões, no entanto para exemplo de relé varimétrico foi escolhida a versão NRC que contempla mais funções, visando garantir a segurança quer da bateria quer de quem a utiliza.

Como já foi referido a principal função do controlador é fazer a gestão da entrada e saída de escalões de acordo com o consumo instantâneo da instalação. Para além desta função básica este relé tem ainda como características de destaque a possibilidade de detetar sobrecargas e subcargas dos condensadores, sobrecarga de correntes harmónicas e monitorização do estado de deterioração dos escalões. Este relé, como mostra a figura 4.3 apenas necessita de um TC para leitura de uma das correntes de linha, das três tensões de linha e uma sonda de temperatura para monitorizar a temperatura da cela onde se encontram os condensadores de modo a que não haja sobreaquecimento dos mesmos (SCHNEIDER, 2009).

Já como saídas tem apenas as de controlo dos contactores, alarme sonoro e ventilador.

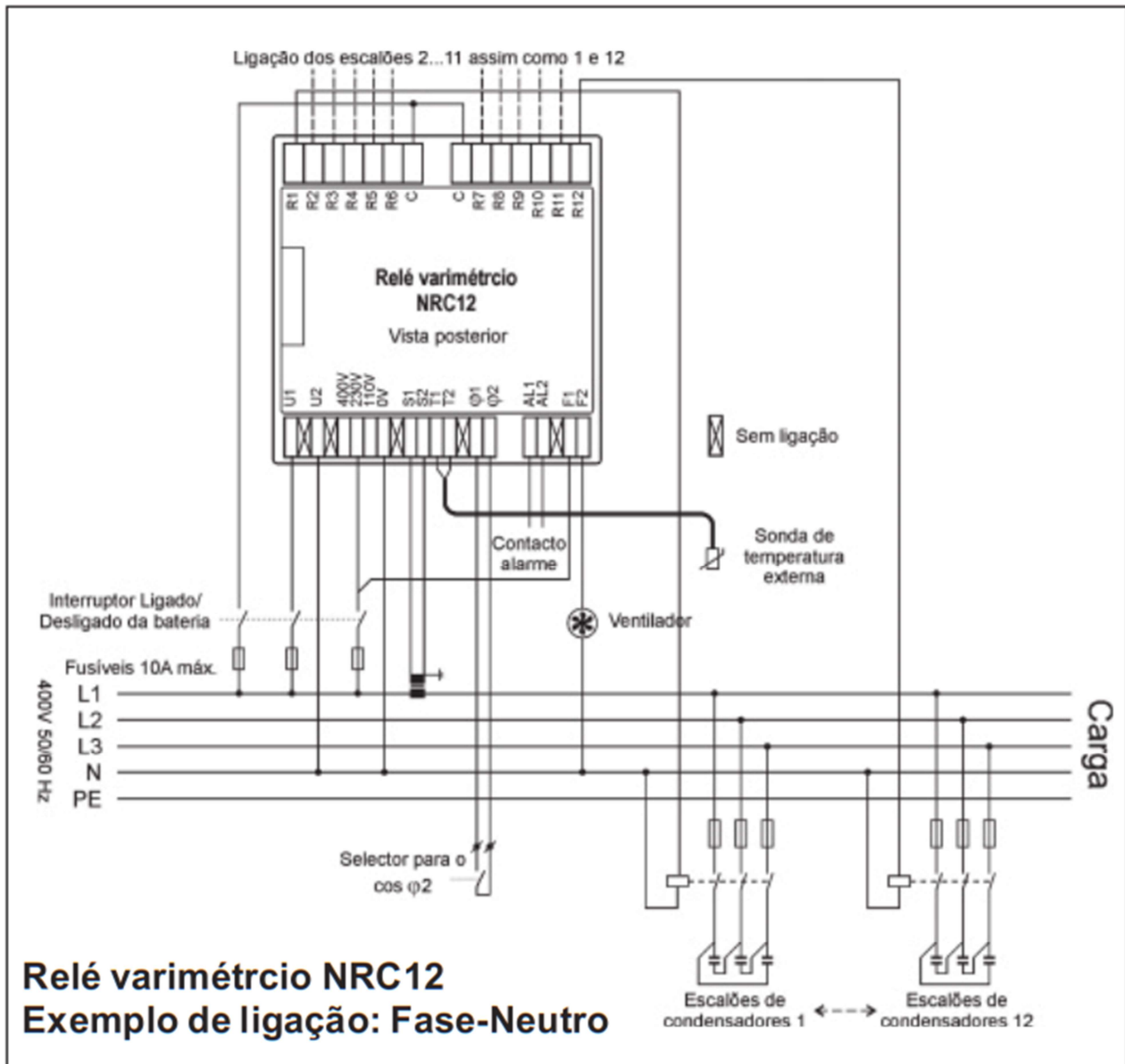


Figura 4.3 - Esquema Unifilar de ligações tipo de relé varimétrico (Schneider, 2009).

Relativamente ao componente principal destes equipamentos, o condensador, existem condensadores monofásicos e trifásicos, sendo que a característica mais importante é o facto de serem condensadores cilíndricos individuais ou bancos de condensadores pré-fabricados.

Os condensadores cilíndricos destacam-se pelo seu baixo custo e pela gestão do espaço que possibilitam. O mais comum é utilizarem-se condensadores na ordem dos 5 kvar sendo que a escolha entre a utilização de condensadores trifásicos ou a associação de três monofásicos é na maior parte dos casos uma questão de preferência por parte do cliente ou por uma questão de gestão de espaço. Os cilíndricos mais recentes incorporam ainda um sistema de segurança que interrompe o circuito de alimentação do condensador em caso de sobrepresão interna, como mostra a figura 4.4, impedindo que este rebente por excesso de pressão derramando dielétrico, podendo ainda causar estragos mais graves nos restantes condensadores.

Na figura 4.4. está representado, à esquerda, um condensador em bom estado de funcionamento, pressão interna normal, e como tal a proteção de sobrepressão encontra-se em espera. No condensador representado à direita, a proteção por sobrepressão já atuou colocando-o fora de serviço através da quebra do circuito, que faz a ligação entre os terminais do condensador e o seu interior, devido à expansão do involucro do condensador, (ABB (2015)).

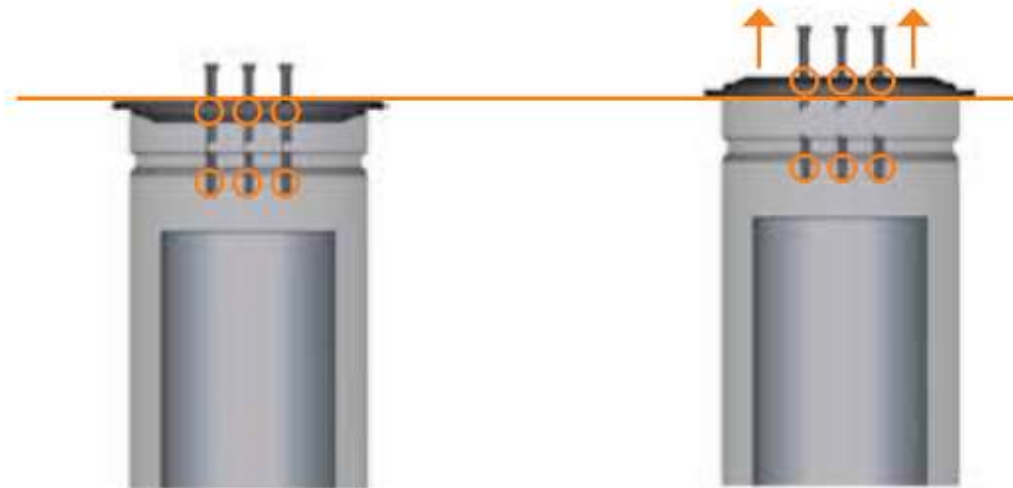


Figura 4.4 - Mecanismo de proteção à Sobrepressão interna (ABB, 2015)

Quanto aos condensadores pré-fabricados, estes são montados, em conjuntos que perfaçam a potência desejada para o escalão, num involucro metálico rodeados por um material inerte, inorgânico e auto extingüível. Apesar do princípio base ser o mesmo dos condensadores cilíndricos estes têm algumas diferenças, como a utilização de um fusível interno individual que funde em caso de mal função ou no fim de vida do condensador e o involucro individual em plástico. Apesar de serem relativamente mais caros, este tipo de condensadores apresenta como grande vantagem, a segurança na sua utilização, pois é garantido que não há perigo de incêndio ou de derrame de dielétrico devido às características do material que rodeia cada um dos condensadores. Na figura 4.5 está representado um destes bancos de condensadores e os respetivos constituintes já identificados (ABB-1, 2015).

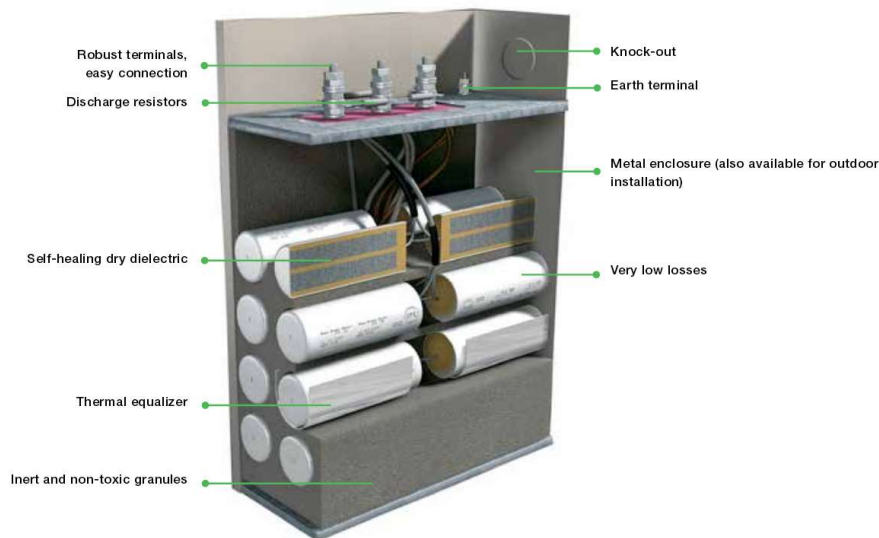


Figura 4.5 - Esquemática de Conjunto de condensadores em caixa metálica - CLMD – (ABB-1, 2015)

4.4. Manutenção de baterias de condensadores

Relativamente à manutenção de baterias de condensadores esta passa pela análise das correntes consumidas por cada banco de condensadores, por forma a determinar o grau de deterioração dos respetivos condensadores. Caso estes estejam a consumir menos de 60 % da sua corrente nominal é aconselhável a sua substituição. Para facilitar a estimativa do grau de deterioração das baterias, foi desenvolvida uma folha de cálculo, figura 4.6, em que apenas é necessário introduzir a potência de cada um dos escalões, a corrente de cada uma das fases e respetiva tensão a que se encontravam. Com estes dados é possível verificar qual a corrente que estes deviam consumir e conseqüentemente o seu grau de deterioração.

A expressão base, expressão 10, desta folha de cálculo permite relacionar a corrente medida com a potência do condensador.

$$Q = \sqrt{3} \times U_c \times I \quad (10)$$

Em que:

Q representa a Potência reativa do condensador, ou conjunto, em kvar;

U_c representa a tensão composta do condensador aquando da medição da corrente, em A;

I representa a corrente medida, pelo tecnico, em A.

| | Banco | Kvar | Un | In | CORRENTE MEDIDA | | | 2015 | CORRENTE MEDIDA | | | 2016 | CORRENTE MEDIDA | | | 2017 |
|--------------------|-------|-------|-------|---------|-----------------|---------|---------|-------------|-----------------|---------|-------------|---------|-----------------|-------|-------|------|
| | | | | | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | | | |
| CORRENTE MEDIDA | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 25 | 400 | ----- | 58 | 57 | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |
| | 2 | 45 | 400 | ----- | 70 | 68 | 66 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |
| | 3 | 90 | 400 | ----- | 70 | 69 | 69 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |
| | 4 | 50 | 400 | ----- | 70 | 62 | 63 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |
| | 5 | 50 | 400 | ----- | 61 | 61 | 61 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |
| | 6 | 50 | 400 | ----- | 62 | 59 | 67 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | |
| | 7 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | |
| 8 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | | |
| CORRENTE CALCULADA | Banco | Kvar | Un | In | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | | | |
| | 1 | 25 | 400 | ----- | 36,08439182 | | | 36,08439182 | | | 36,08439182 | | | | | |
| | 2 | 45 | 400 | ----- | 64,95190528 | | | 64,95190528 | | | 64,95190528 | | | | | |
| | 3 | 90 | 400 | ----- | 129,9038106 | | | 129,9038106 | | | 129,9038106 | | | | | |
| | 4 | 50 | 400 | ----- | 72,16878365 | | | 72,16878365 | | | 72,16878365 | | | | | |
| | 5 | 50 | 400 | ----- | 72,16878365 | | | 72,16878365 | | | 72,16878365 | | | | | |
| | 6 | 50 | 400 | ----- | 72,16878365 | | | 72,16878365 | | | 72,16878365 | | | | | |
| | 7 | ----- | ----- | ----- | #VALOR! | | | #VALOR! | | | #VALOR! | | | | | |
| 8 | ----- | ----- | ----- | #VALOR! | | | #VALOR! | | | #VALOR! | | | | | | |
| DESVO CORRENTE | Banco | Kvar | Un | In | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | F1 | F2 | F3 | | | |
| | 1 | 18 | 400 | ----- | 160,7% | 158,0% | 0,0% | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | | | |
| | 2 | 36 | 400 | ----- | 107,8% | 104,7% | 101,6% | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | | | |
| | 3 | 54 | 400 | ----- | 53,9% | 53,1% | 53,1% | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | | | |
| | 4 | 72 | 400 | ----- | 97,0% | 85,9% | 87,3% | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | | | |
| | 5 | 72 | 400 | ----- | 84,5% | 84,5% | 84,5% | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | | | |
| | 6 | ----- | ----- | ----- | 85,9% | 81,8% | 92,8% | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | | | |
| | 7 | ----- | ----- | ----- | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | | | |
| 8 | ----- | ----- | ----- | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | #VALOR! | | | | |

Figura 4.6 - Folha de Cálculo para estimação do estado de conservação de condensadores

Outro aspeto a ter em conta é a presença ou não de fusíveis fundidos e condensadores cilíndricos com o dispositivo de proteção à sobrepressão ativo, caso alguma destas situações se verifique, será reportado no impresso relativo a baterias de condensadores sendo depois enviado ao cliente.

Devem ainda ser verificadas as condições em que se encontram os contactores, parâmetros do relé varimétrico e estado do isolamento da cablagem.

4.5. Reconfiguração de bateria de condensadores existentes

Surgem por vezes situações em que as baterias de condensadores não estão ajustadas ao perfil de carga do cliente, levando a que este continue a ser penalizado, pelo consumo de energia reativa, na fatura energética. Neste caso particular o cliente tinha deslastrado a bateria de condensadores por existirem vários condensadores cilíndricos com a proteção de sobrepressão ativa e dois fusíveis abertos.

Numa primeira fase, foi instalado o analisador de qualidade energética à entrada do disjuntor geral, mantendo a bateria deslastrada para que esta não influenciasse as medições efetuadas. Foi feita uma esquematização da bateria existente, medição da potência de cada um dos escalões instalados. Aquando desta análise foram ainda medidas as capacidades de cada um dos condensadores.

Neste caso os condensadores trifásicos instalados eram de 5 kvar cada tendo no seu interior três condensadores monofásicos de 31 μF cada, como mostra a chapa de características da figura 4.7.



Figura 4.7 - Chapa de características de condensador cilíndrico EPCOS

Como apenas há acesso aos três terminais do triângulo é necessário multiplicar por raiz de 3 a capacidade de cada um dos condensadores para comparar com a capacidade medida através do capacímetro. Depois da medição de cada um dos condensadores todos os que tinham abaixo de 48 μF foram rejeitados, visto que tinham menos de 90 % da sua capacidade nominal.

A referida bateria era composta por um controlador “Norcontrol V450” com seis saídas, no entanto apenas estavam a ser utilizadas cinco. As cinco saídas correspondiam a cinco escalões de potência, dois de 25 kvar e quatro de 50 kvar.

Após analisar a informação representada na figura 4.8, amostra de três dias de uma análise semanal, foi possível verificar que o máximo consumido pela instalação era de apenas 125 kvar, no entanto era possível observar que grande parte do período de trabalho existiam consumos inferiores a 20 kvar, o que não permitia que o escalão inferior fosse colocado pelo relé pois iria ultrapassar a energia reativa necessária em 5 kvar. Assim sendo este período de tempo era uma das principais causas para o baixo fator de potência global da instalação.

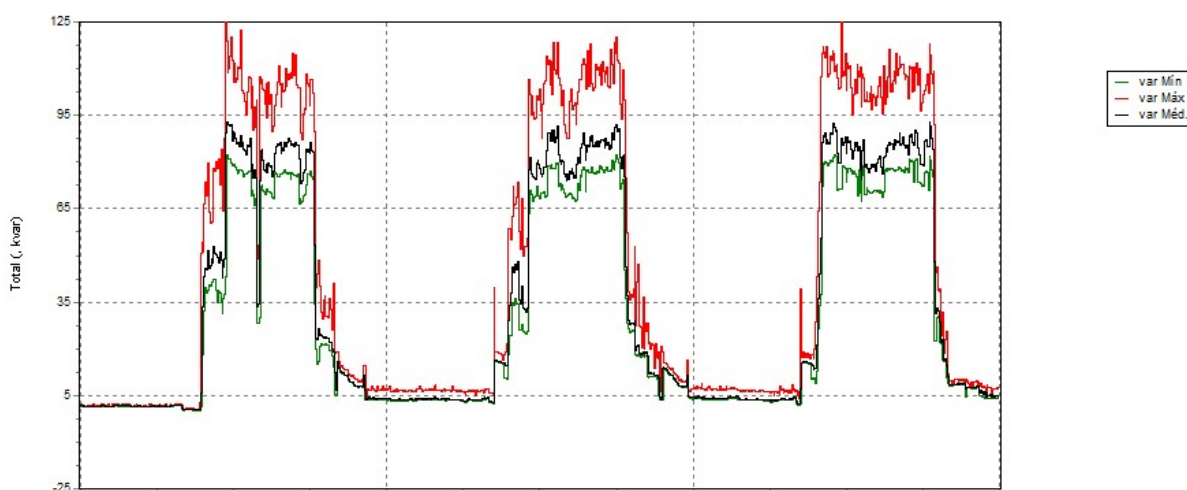


Figura 4.8- Amostra dos consumos de energia reativa recolhidos pelo analisador de qualidade de energia, cada coluna representa um período de 24h.

Após uma análise mais exaustiva dos dados obtidos pelo analisador, foi proposta ao cliente uma alteração da distribuição da potência ainda disponível, pois dez condensadores foram rejeitados ficando a bateria com apenas 145 kvar disponíveis, dos 200 kvar iniciais.

A distribuição proposta foi composta por seis escalões, sendo um fixo:

- Escalão Fixo

Este escalão é composto por um conjunto de cinco condensadores perfazendo um total de 25 kvar, potência necessária apenas para compensar o consumo do transformador. Este escalão foi colocado fixo visto que o relé varimétrico apenas consegue compensar a parte de baixa tensão, no entanto, tendo em conta que a energia era medida, pelo contador do fornecedor de energia, na alta tensão o cliente também era prejudicado pela energia consumida pelo transformador. A potência selecionada para este escalão foi calculada através da expressão 11, indicada pelo fabricante, “EFACEC”:

$$Q_0 = S_n \times \frac{I_n}{I_0} \quad (11)$$

Sendo que:

Q_0 - Potência Reativa consumida pelo transformador em vazio, em var;

S_n - Potência Nominal do Transformador, em kVA;

I_n - Corrente Nominal do Transformador, em A;

I_0 - Corrente consumida pelo Transformador em vazio, A.

$$Q_0 = 800 \times \frac{800000 / 690}{33} = 28,107 \text{ kvar}$$

Neste caso, a potência imediatamente abaixo passível de ser montada com os condensadores existente foi de 25 kvar.

- Escalão 1

O escalão menor é composto por apenas um condensador, apenas 5 kvar, para poder compensar os períodos em que o cliente não tem a linha de produção ativa.

- Escalão 2

O segundo escalão é composto por dois condensadores, 10 kvar no total, visto que este teria de ser múltiplo do escalão 1.

- Escalão 3

Para este foi considerada uma potência de 20 kvar, mais uma vez pela necessidade de multiplicidade entre escalões.

- Escalão 4 e 5

De modo a perfazer a potência total, sem sobrecarregar o ultimo escalão, foram projetados dois escalões de 40 kvar cada.

Depois de todas as alterações a bateria ficou com um total de 140 kvar, esquematizada conforme o esquema unifilar apresentado na figura 4.9.

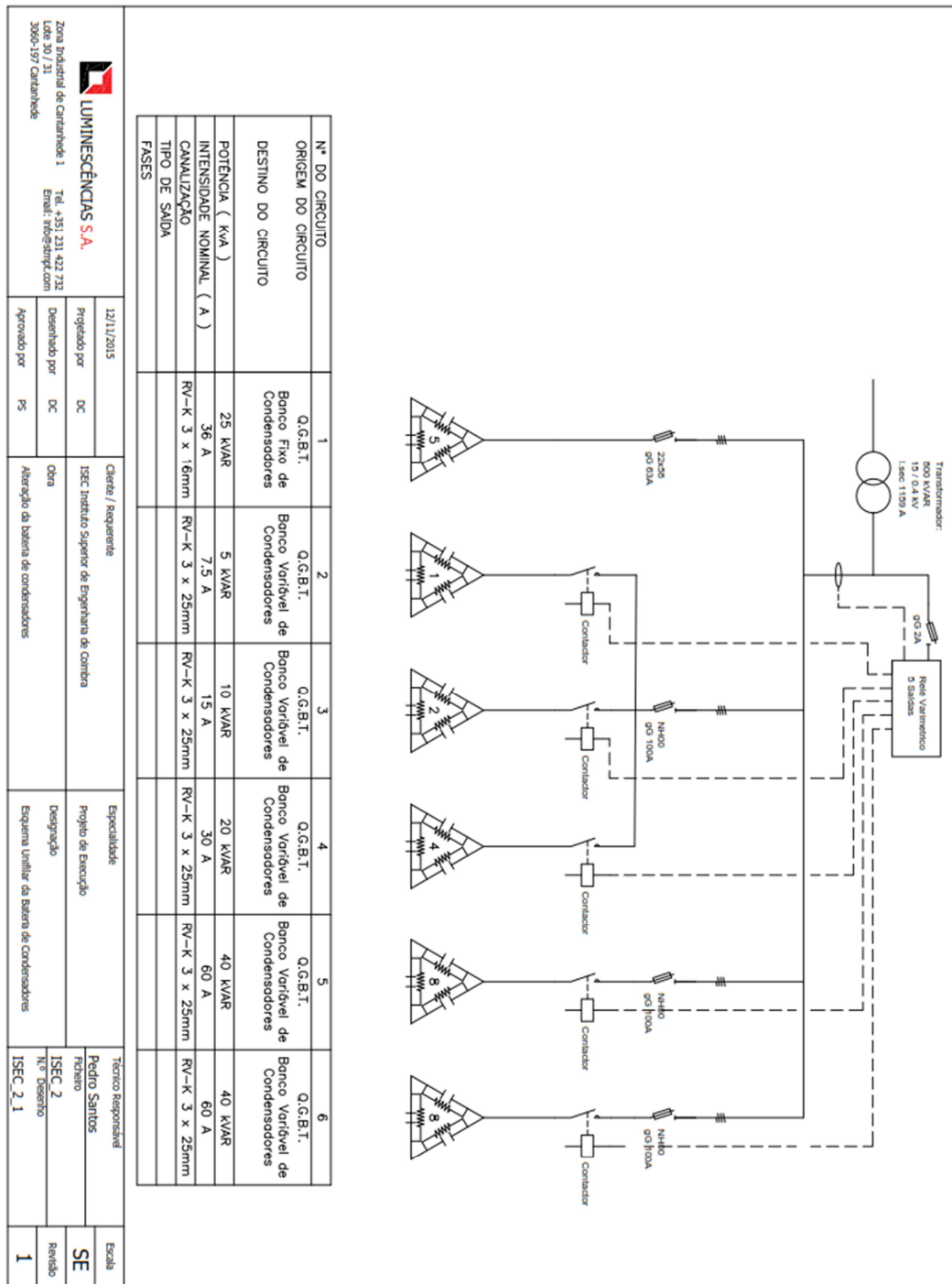


Figura 4.9 - Esquema unifilar da bateria de condensadores após reconstrução

Após as alterações foi colocado novamente o analisador na instalação a efetuar uma monitorização de uma semana, na qual foi possível verificar que o resultado foi bastante satisfatório.

4.5.1. Resultado obtido através da alteração bateria de condensadores

Após as alterações, foi colocado novamente o analisador na instalação a efetuar uma nova monitorização semanal, da qual se retirou o gráfico do trânsito de potências reativas entre as instalações do cliente e a rede.

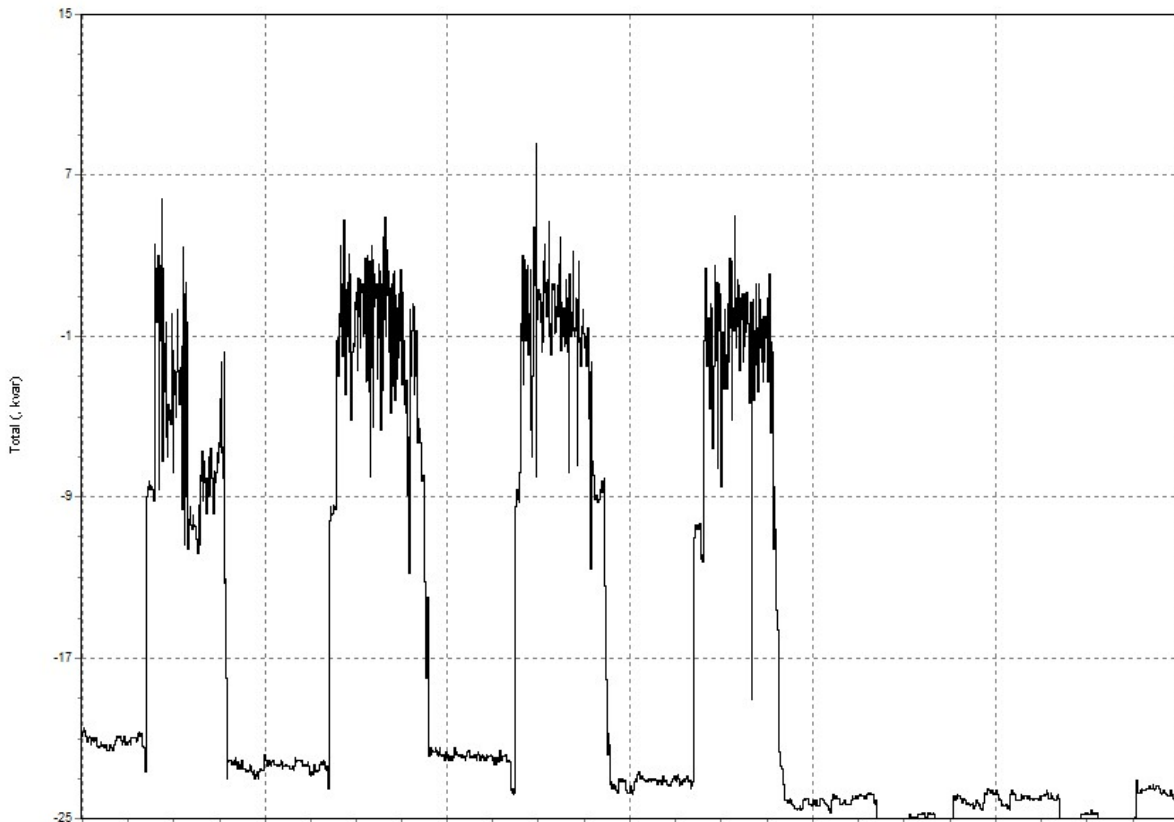


Figura 4.10 - Esquema unifilar da bateria de condensadores após reconstrução da bateria, considerando o esquema da figura 4.9

Através da análise da figura 4.10, é possível verificar que o foi conseguido o objetivo de compensar a instalação de forma adequada ao seu perfil. O gráfico tende a ter valores de 21 kvar durante os períodos em que as instalações estão sem consumo significativo, pois foi considerado um escalão de 25 kvar fixo para compensar os 26 kvar necessários para compensar a energia reativa necessária ao transformador quando este está com baixa carga.

Este escalão, não poderia ser sobredimensionado pois, como referido no ponto 4.2, este sobredimensionamento iria levar a que o cliente fosse penalizado pela energia reativa capacitiva, fornecida à rede durante as horas de vazio.

Por outro lado, caso este escalão seja subdimensionado, o cliente iria ser penalizado pela energia reativa consumida pelo transformador pelo facto do relé varimétrico estar associado à baixa tensão e o cliente ter a contagem do fornecedor de energia na alta tensão. O fato do relé varimétrico não contabilizar a energia reativa consumida pelo transformador, é devido ao fato desta potência, quando necessária, vir diretamente da rede não passando pelos TC's do relé que estão colocados logo após ao disjuntor de entrada de baixa tensão.

5. CONCLUSÕES

Aquando da primeira reunião com o responsável da empresa acolhedora, ainda antes do início do estágio foi proposta a execução do trabalho de adequação do Poder de Corte, o qual foi executado e posteriormente retratado no capítulo três.

Apesar de este ter sido um dos primeiros trabalhos executados, o trabalho que revelou mais interesse foi o retratado no capítulo três, quer ao nível do desafio proposto quer ao nível da quantidade de diferentes equipamentos que foram postos à prova durante este trabalho.

Foi possível trabalhar com os diversos relés de proteção, quer ao nível de manutenção, quer ao nível de instalação de equipamentos novos, o que se revelou um grande desafio.

O gosto pelo desconhecido e pelo desafio revelou-se numa grande força de vontade de descobrir como levar a cabo os trabalhos propostos, o que por vezes se revelou bastante complicado devido à pouca informação encontrada quer por via dos fabricantes quer pela bibliografia existente.

A experiência obtida durante estes meses foi bastante enriquecedora a nível profissional devido ao contato com o ambiente industrial, como mencionado nos capítulos dois, três e quatro, quer alguma experiência adquirida ao nível de manutenção, em que todos os minutos contam, e ainda através da seleção de equipamentos para servirem de auxílio ao departamento de orçamentação em que nem sempre todos os concorrentes concorrem com o mesmo tipo de material originando por vezes discrepâncias a nível de preço.

Estas discrepâncias ao serem analisadas pelo departamento de compras do cliente, que na maioria das vezes apenas considera o preço final da proposta, levam à perda de projetos pela apresentação de material mais adequado, normalmente mais dispendioso.

A aceitação por parte da equipa técnica foi também um capítulo bastante forte que tudo fez para tentar responder às dúvidas que surgiram durante os diversos trabalhos.

A maioria do tempo deste estágio foi passado com a presença do Engenheiro Pedro Miguel Gomes dos Santos, supervisor da empresa, que tudo fez para transmitir muitos dos conhecimentos que não estão neste relatório mas que se revelam muito importantes, quer a nível profissional quer a nível pessoal.

Em suma este estágio foi mais uma etapa de crescimento quer pessoal, quer profissional, um início à carreira profissional que já no seu término, levou a que fosse proposta a continuação

deste percurso sob a forma de um estágio profissional, que se iniciou cerca de uma semana após o estágio curricular.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB (2009), Motor protection REM610, Acedido a 03 de Setembro de 2015, no Web Site do grupo ABB:

https://library.e.abb.com/public/428f71d79f6d9989c125766b0039b39b/REM610_broch_756953_LRENa.pdf

ABB (2014), Feeder protection and control REF615, Acedido a 03 de Setembro de 2015, no Web Site do grupo ABB:

https://library.e.abb.com/public/06cff1d5093247b1b1f78df16844d982/REF615_broch_756381_LRENm.pdf

SELETRIC (2002), *Proteção das redes elétricas, Sepam 1000+*. Schneider Electric, Portugal

ARTECHE (2015), *Transformadores de Tensão – Suporte com fusível Metalizado/ Encaixável*
Acedido em 03 de Setembro de 2015, no Web Site do Grupo ARTECHE:

<http://ARTECHE.com/cmism/brower?nid=2444&id=workspace://SpacesStore/a8a31882-e35c-4445-ab57-626903add693>

HAGER (2013), *Proteção Fusível*. Acedido em 7 de Setembro de 2015, no Web Site do Grupo Hager:

http://www.hager.pt/files/download/0/268035_1/0/Hager_Folheto_Fusiveis.pdf

SELETRIC (2005), *Cahier Technique no. 158*. Schneider Electric, B. de Metz-Noblat, F Dumas, C Poulain. França

SELETRIC (2011), *FAQ – A Schneider Possui contadores de segurança*. Acedido em 4 de junho de 2015, no Web Site do Grupo Schneider:

http://www.schneider-electric.com.br/sites/brasil/pt/suporte/faq/faq_main.page?page=content&country=BR&lang=pt&locale=pt_BR&id=FA141121&redirect=true

IEC (2008), *Electric Fuses 3rd Edition*, IEC, A.Wrifgt and P.G. Newbery. Reino Unido

SELETRIC (2008), *Schneider Electric – Electrical installation guide 2008 – chapter L – Power factor correction and harmonic filter*. Acedido em 28 de novembro de 2015, no Web Site do Grupo Schneider:

<http://www.schneider-electric.com.au/documents/electrical-distribution/en/local/electrical-installation-guide/EIG-L-power-fcactor-harmonic.pdf>

EDP (2015), *Soluções de Eficiencia PME – Correção do fator potência*. Acedido em 28 de novembro de 2015, no Web Site do EDP:

https://energia.edp.pt/pdf/pme/CorrecaoFatorPotência_EDP_PME.pdf

ERSE (2010), *Informação sobre faturação de energia reactiva – Princípios e boas práticas – Recomendação N.º 1/2010*. Acedido em 28 de novembro de 2015, no Web Site do ERSE:

<http://www.erse.pt/pt/electricidade/regulamentos/relacoescomerciais/Documents/Recomenda%C3%A7%C3%B5es/Recomenda%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20reactiva.pdf>

SCHNEIDER (2009), *Varlogic NRC12 Relé varimétrico – Manual de instalação*. Acedido em 29 de novembro de 2015, no Web Site da Schneider Electric:

http://www.schneider-electric.com/pt/PT/download/document/3653493PT_01/2027726/Downloads++para++Varlogic+NR?_downloadcenter_WAR_downloadcenterRFportlet_documentDetailsBackURL=%2FPT_PT%2Fschneider%2Fdownloads%2Fresults%2F0%2F8334825-varlogic-nr%3FshowAsIframe%3Dtrue&_downloadcenter_WAR_downloadcenterRFportlet_showAsIframe=true

ABB (2015), *QCAP – Low-voltage capacitors for improved power quality*. Acedido em 29 de novembro de 2015, no Web Site da ABB:

<https://library.e.abb.com/public/bd0708c28b494c42a847c3eb5024ddac/2GCS301012A0031-QCap%20pamphlet.pdf>

ABB-1 (2015), *CLMD – Low-voltage capacitors for reliable power factor correction*. Acedido em 29 de novembro de 2015, no Web Site da ABB:

<https://library.e.abb.com/public/b23a9e05130c49fdb47225468d2277b3/2GCS301013B0030-CLMD%20Brochure.pdf>