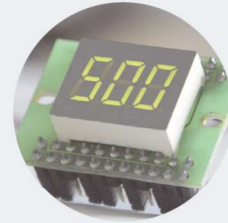
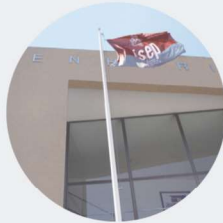




Projeto e direção de obra de instalações elétricas de média e baixa tensão: Fábrica de Cerveja - Moçambique

JORGE MIGUEL ROCHA FRANÇA

novembro de 2020



Projeto e direcção de obra de instalações elétricas de média e baixa tensão: Fábrica de Cerveja - Moçambique

JORGE MIGUEL ROCHA FRANÇA

Outubro de 2020

PROJETO E DIREÇÃO DE OBRA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE MÉDIA E BAIXA TENSÃO: FÁBRICA DE CERVEJA – MOÇAMBIQUE

Jorge Miguel Rocha França



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2020

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

Candidato: Jorge Miguel Rocha França, Nº 1151401, 1151401@isep.ipp.pt

Orientação científica: António Augusto Araújo Gomes, aag@isep.ipp.pt

Empresa: SIEMENS SA



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2020

A todos os que ao meu lado caminharam...

Agradecimentos

O presente documento reflete todo o esforço desenvolvido ao longo dos últimos 18 anos e encerra aquilo que será, por agora, o ciclo de estudos.

Durante este ciclo que agora finda muitas foram as pessoas que me ajudaram, apoiaram e acompanharam este meu percurso sendo por isso necessário agradecer e destacar alguma dessas pessoas.

Aqueles que são para mim os meus companheiros de vida e que caminham ao meu lado sempre assumem um papel relevante e por isso o meu maior agradecimento à minha família, em especial à minha namorada, ao meu irmão e aos meus pais. Foram estes que muitas vezes saíram prejudicados durante o meu caminho, mas que ao mesmo tempo sempre me deram força para ir mais além.

No percurso académico também tive a honra de conhecer profissionais exímios e de ter tido um acompanhamento de excelência. O meu mais sincero agradecimento ao ISEP –

Instituto Superior de Engenharia do Porto e todo o seu corpo docente em especial à Engenheira Maria Judite Ferreira e ao orientador da presente dissertação Engenheiro António Gomes.

Para o meu orientador, conforme já referido, o Engenheiro António Gomes, uma palavra de agradecimento dedicada pois sem o apoio, incentivo, disponibilidade e compreensão da parte dele não seria possível atingir este marco.

Também durante o percurso profissional tenho encontrado colegas e amigos dos quais muito me orgulho. O meu muito obrigado para o João Couto Sá e para o José Alexandre Fernandes que têm me guiado na reta final desta minha caminhada e sempre me motivaram para fazer mais e melhor.

A todas as pessoas em cima referidas, uma vez mais, o meu sincero agradecimento e o voto de continuar a querer evoluir e a cada dia que passe ser uma pessoa e um profissional melhor e mais capaz.

Resumo

Numa época de globalização, na qual as indústrias necessitam de garantir competitividade a nível internacional, as instalações necessitam de ser dotadas de infraestruturas e tecnologias de suporte que garantam o seu correto funcionamento e lhes forneçam todas as valências necessárias à sua atividade.

Para garantir o esperado correto funcionamento das instalações, o engenheiro eletrotécnico deverá possuir uma visão conceptual pragmática das futuras instalações, onde a experiência constitui uma maior valia, mas onde a constante atualização de conhecimentos, relativamente a normas, regulamentos, materiais, equipamentos, soluções técnicas e novas tecnologias surgem cada vez mais como fatores decisivos para a sobrevivência e afirmação nesta área de trabalho.

O projeto eletrotécnico é um ato de engenharia que para ser realizado requer uma formação sólida formação em termos técnicos, tecnológicos e regulamentares, e que pode ter níveis de complexidade muito diversos, dependendo das características das instalações e dos requisitos funcionais, de segurança e de gestão, devendo a sua realização traduzir-se no encontrar da melhor solução técnico-económica para a instalação em questão, considerando como fator preponderante a segurança de pessoas, bens e instalações, assegurando a funcionalidade, fiabilidade, flexibilidade, expansibilidade, utilização racional de energia, gestão técnica e integração de sistemas, assim como a compatibilidade entre especialidades.

Com o passar dos tempos o mercado nacional da energia eletrotécnica tem se revelado insuficiente para as empresas continuarem a crescer naquilo que é denominado como “negócio tradicional” sendo isto definido como a venda e a instalação/comissionamento do equipamento clássico de média tensão e por este motivo, países menos desenvolvidos como os existentes no continente africano são considerados como um mercado bastante atrativo para as empresas operantes neste ramo.

A direção de obra exige capacidade de planeamento, conhecimentos técnicos, tecnológicos de materiais e equipamentos, mas também a capacidade de liderança, interação com os diversos intervenientes em obra, fiscalização e dono de obra.

Ao longo do presente trabalho, para além de toda a envolvente teórica, é abordado o desenvolvimento do projeto desde a fase de projeto até à fase de instalação/comissionamento da implementação da solução elétrica instalada numa indústria cervejeira em Moçambique.

Palavras-Chave

Sistema Elétrico de Energia; Subestações; Postos de Transformação; Redes de Média Tensão; Redes de Baixa Tensão; Grupos Geradores; Projeto de Instalações Elétricas.

Abstract

Nowadays where globalization is a reality and when the industries need ensure competitive market between each other's, all installations need build infrastructures and technologies for support correct operation and give them all conditions to her perfect execution.

To ensure the expected and correct operation of anyone installation, the electrical engineer may have real and perfect overview of installation's goals. For this the experience will be strong quality but also will be needed update frequently know-how, legislation and last materials and equipment's that are frequently launched on market with great features and will have big impact in final decision. The most important projects around all world are appreciated with huge attention in budget but also in terms of technology's quality proposed during the project phase.

The electrical project should be considered as action where to be executed the owner might be solid graduate not just in technical terms but also in technologies and main laws topics. This project can have different levels of complexity, depending on final solution, but result will be totally focused on achievement best relation between technical and economics topics to this installation. Other of important point is persons' safety that will explore all equipment and installation. The electrical project also should ensure that all quality requirements are implemented.

Over time the traditional market of energy has been showed insufficient for companies' development of traditional business. The traditional business could be defined as the sell and installation/commissioning of all medium voltage equipment's and due the underdevelopment of African's region this is one of the most attractive market for these companies.

The site manager's function requires many abilities such time and team's management, technical know-how but also inter-personal skills to improve relation between teams and customers.

In this document, without in consideration of academic topics, is approached all process since project phase to execution phase of electrical solution of brewery company in Mozambique.

Keywords

Electrical system; Substation; Medium voltage; Low Voltage; Generators; Electrical Project Design.

Índice

| | |
|--|-------------|
| AGRADECIMENTOS | III |
| RESUMO | V |
| ABSTRACT | VII |
| ÍNDICE | IX |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XI |
| ÍNDICE DE TABELAS | XVII |
| ACRÓNIMOS | XXI |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO | 1 |
| 1.2.OBJETIVOS | 2 |
| 1.3.CALENDARIZAÇÃO | 3 |
| 1.4.ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO..... | 3 |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE AS TEMÁTICAS DO TRABALHO | 5 |
| 2.1.ENQUADRAMENTO | 5 |
| 2.2.SISTEMA ELÉTRICO MOÇAMBICANO..... | 7 |
| 2.3.PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS | 21 |
| 2.4.DIREÇÃO DE OBRA..... | 107 |
| 3. PROJETO E GESTÃO DE OBRA: FÁBRICA DE CERVEJA (MOÇAMBIQUE) | 119 |
| 3.1.GENERALIDADES | 119 |
| 3.2.DESCRICÃO DA INSTALAÇÃO | 120 |
| 3.3.PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS | 123 |
| 3.4.DIREÇÃO DE OBRA | 207 |
| 4. APLICAÇÃO INFORMÁTICA PARA ESTIMAÇÃO DO VALOR DA RESISTÊNCIA DE TERRA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS | 233 |
| 4.1.GENERALIDADES..... | 233 |
| 4.2.APLICAÇÃO INFORMÁTICA | 242 |
| 5. CONCLUSÕES | 251 |
| 5.1.CONCLUSÕES GERAIS | 251 |
| 5.2.CONTRIBUTOS DO CANDIDATO | 252 |

| | |
|---|------------|
| 5.3.COMPONENTE ACADÉMICA..... | 253 |
| 5.4.PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO..... | 254 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 255 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Consumo por tipo de consumidor (GWh) em Moçambique | 15 |
| Figura 2: Capacidade energética instalada em Moçambique [3] | 16 |
| Figura 3: Central hidroelétrica de Cahora Bassa [4] | 17 |
| Figura 4: Rede de transporte de Moçambique, abril de 2016 [3] | 19 |
| Figura 5: Grupo gerador canopiado [6] | 30 |
| Figura 6: Chapa de características de um grupo gerador [7] | 31 |
| Figura 7: Funcionamento em Emergency Stand By Power (ESP) [8] | 32 |
| Figura 8: Funcionamento em Prime Power (PRP) [8] | 34 |
| Figura 9: Funcionamento por tempo limitado [8] | 35 |
| Figura 10: Funcionamento em regime contínuo [8] | 36 |
| Figura 11: Principais elementos constituintes de um do grupo gerador [9] | 38 |
| Figura 12: Constituição do motor de combustão [10] | 39 |
| Figura 13: Constituição de alternador [12] | 40 |
| Figura 14: Fusíveis de média tensão [16] | 50 |
| Figura 15: Disjuntor de média tensão [17] | 52 |
| Figura 16: Barramento simples [18] | 56 |
| Figura 17: Duplo barramento com inter-barras [18] | 56 |
| Figura 18: Quadro de média tensão [19] | 63 |

| | |
|---|----|
| Figura 19: Quadro de média tensão do tipo "Metal enclosed" [19] | 66 |
| Figura 20: Quadro de média tensão do tipo "Metal clad" [20] | 67 |
| Figura 21: Quadro de média tensão do tipo "Ring Main Unit" [21] | 68 |
| Figura 22: Tipos de transformadores [22] | 69 |
| Figura 23: Grupo de ligações transformadores [23] | 72 |
| Figura 24: Chapa de características de um transformador – Perdas | 74 |
| Figura 25: Chapa de características de um transformador - Tensão de curto-circuito | 75 |
| Figura 26: Comutador de tomada [25] | 76 |
| Figura 27: Quadro geral de baixa tensão [28] | 81 |
| Figura 28: Outros equipamentos nos postos de transformação e seccionamento. [30] [31] [32] 84 | |
| Figura 29: Estrutura de redes de distribuição de baixa tensão [13] | 87 |
| Figura 30: Cabos em torçada [33] | 89 |
| Figura 31: Cabo LSVAV [34] | 89 |
| Figura 32: Esquema de ligação à terra – TT [35] | 91 |
| Figura 33: Circuito de defeito no esquema de ligação à terra – TT [35] | 91 |
| Figura 34: Relação entre valor da resistência de terra e o valor da corrente diferencial [35] 92 | |
| Figura 35: Esquema de ligação à terra - TN – C [35] | 93 |
| Figura 36: Circuito de defeito no esquema de ligação à terra - TN – C [35] | 93 |
| Figura 37: Esquema de ligação à terra - TN – S [35] | 94 |
| Figura 38: Esquema de ligação à terra - TN – C – S [35] | 94 |

| | |
|--|-----|
| Figura 39: Esquema de ligação à terra – IT [35] | 95 |
| Figura 40: Circuito de primeiro defeito no esquema de ligação à terra - IT com neutro não distribuído [35] | 97 |
| Figura 41: Circuito de segundo defeito no esquema de ligação à terra - IT com neutro não distribuído [35] | 97 |
| Figura 42: Tipos de quadro de distribuição [37] [38] | 104 |
| Figura 43: Quadros de distribuição funcional [39] | 106 |
| Figura 44: Identificação e localização das diversas instalações da unidade industrial | 122 |
| Figura 45: Vista geral da unidade industrial, junho de 2020 | 122 |
| Figura 46: Área prevista para a instalação da central de Autoprodução | 126 |
| Figura 47: Área prevista para instalação da futura central fotovoltaica | 127 |
| Figura 48: Área prevista para a instalação da subestação | 128 |
| Figura 49: Esquema unifilar simplificado da subestação (Semi–barramento I em cima e Semi–barramento II em baixo) | 131 |
| Figura 50: Esquema unifilar do painel Inter-Barras. | 133 |
| Figura 51: Esquema unifilar de um painel de linha de média tensão | 136 |
| Figura 52: Esquema unifilar dos painéis de grupo geradores | 139 |
| Figura 53: Esquema unifilar dos painéis de linha da rede pública | 143 |
| Figura 54: Esquema unifilar do painel de medida | 146 |
| Figura 55: Caixa de comando à distância | 149 |
| Figura 56: Esquema elétrico da caixa de comando à distância | 150 |
| Figura 57: Diagrama unifilar de média tensão da instalação | 151 |

| | |
|---|-----|
| Figura 58: Exemplo de uma vala usada para a instalação do cabo | 153 |
| Figura 59: Corrente de serviço nos diversos troços do Anel 1 | 154 |
| Figura 60: Cabo de média tensão do anel 1 | 162 |
| Figura 61: Exemplo de um cabo instalado dentro de tubagens enterradas no solo | 164 |
| Figura 62: Corrente de serviço nos diversos troços do Anel 2 | 164 |
| Figura 63: Cabo de média tensão do anel 2 | 169 |
| Figura 64: Diagrama unifilar do Bloco Rede Anel equipado com aparelhagem de 1250 A 172 | 172 |
| Figura 65: Diagrama unifilar do Bloco Rede Anel equipado com aparelhagem de 630 A | 173 |
| Figura 66: Vista frontal do Bloco Rede Anel equipado com aparelhagem de 1250 A | 175 |
| Figura 67: Vista frontal do Bloco Rede Anel equipado com aparelhagem de 630 A | 176 |
| Figura 68: Compartimento de baixa tensão dos RMUs | 177 |
| Figura 69: vista geral de uma cabine metálica | 180 |
| Figura 70: Dimensões das cabines metálicas do tipo 1 | 181 |
| Figura 71: Dimensões das cabines metálicas do tipo 2 | 182 |
| Figura 72: Compartimentação das cabines de média tensão | 183 |
| Figura 73. Portas ventiladas a serem instaladas nas cabines metálicas | 185 |
| Figura 74: Compartimento exterior de passagem de cabos | 186 |
| Figura 75: Compartimento exterior de passagem de cabos | 187 |
| Figura 76: Compartimento exterior de passagem de cabos | 187 |
| Figura 77: Vista frontal do QGBT 1.1 | 195 |

| | |
|---|-----|
| Figura 78: Exemplo de menu representativo do <i>Simaris Design</i> | 196 |
| Figura 79: Exemplo de Pipe Bridge | 197 |
| Figura 80: Exemplo da planta da AutoCAD | 198 |
| Figura 81: Dimensionamento de canalizações elétricas – QGBT 1.1 | 199 |
| Figura 82; Vista frontal da UPS de 60 kVA | 204 |
| Figura 83: Vista frontal da UPS de 40 kVA | 205 |
| Figura 84: Dimensionamento de canalizações elétricas – Quadro Distribuição UPS 3.1207 | |
| Figura 85: Transporte de cabo de média tensão do anel 2 | 211 |
| Figura 86: Transporte de bobines de cabo de baixa tensão | 212 |
| Figura 87: Manitou - equipamento usado para movimentação de cargas | 213 |
| Figura 88: Macacos hidráulicos para a instalação de cabo | 214 |
| Figura 89: Layout do estaleiro | 215 |
| Figura 90: Implementação do plano de segurança e saúde | 219 |
| Figura 91: Movimentação de cargas de forma indevida | 220 |
| Figura 92: Sinalização de quadro em tensão | 221 |
| Figura 93: Telas de aviso de cabo em tensão [43] | 225 |
| Figura 94. Processo de reparação de cabo de média tensão | 226 |
| Figura 95. Método Volt-Amperimétrico | 229 |
| Figura 96: Equipamento de análise do sentido de rotação [44] | 231 |
| Figura 97: Fluxograma da ferramenta informática desenvolvida | 243 |
| Figura 98: Menu inicial da ferramenta informática desenvolvida | 244 |

| | |
|---|-----|
| Figura 99: Definição do modo de simulação | 244 |
| Figura 100: Caracterização da instalação a simular | 245 |
| Figura 101: Determinação da resistividade do solo | 246 |
| Figura 102: Diferentes opções para se obter a resistividade do solo | 246 |
| Figura 103: Seleção da solução a adotar | 247 |
| Figura 104: Escolha do tipo de eletrodo a utilizar | 247 |
| Figura 105: Características técnicas dos eletrodos | 248 |
| Figura 106: Menu de apresentação de resultados | 248 |
| Figura 107: Relatório de resultados da ferramenta informática | 249 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1: Níveis de tensão da rede pública [5] | 28 |
| Tabela 2: Fatores a ponderar entre instalação em local externo e local interno | 37 |
| Tabela 3: Níveis de tensão normalizados [14] | 43 |
| Tabela 4: Dimensionamento de fusíveis [15] | 51 |
| Tabela 5: Classificação da refrigeração dos transformadores [15] | 78 |
| Tabela 6: Encravamentos [29] | 82 |
| Tabela 7: Designação de regimes de neutro | 90 |
| Tabela 8: Queda de tensão máxima admissível [36] | 100 |
| Tabela 9: Resistividade elétrica condutores [36] | 101 |
| Tabela 10: Constante K [36] | 102 |
| Tabela 11: Dimensionamento dos Transformadores de Correntes nos painéis de Linha 138 | |
| Tabela 12; Dimensionamento dos Transformadores de Corrente nos painéis de entrada 141 | |
| Tabela 13: Postos de transformação alimentados pelo Anel 1 | 152 |
| Tabela 14: Características do cabo de média tensão do Anel 1 | 156 |
| Tabela 15: Perdas por efeito de Joule nos cabos do Anel 1 | 157 |
| Tabela 16: Cálculo das perdas por efeito capacitivo no Anel 1 | 158 |
| Tabela 17: Perdas totais dos cabos no Anel 1 | 158 |
| Tabela 18: Acréscimo de temperatura no interior da vala do Anel 1 | 159 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 19: Fator de correção no cabo do Anel 1 | 160 |
| Tabela 20: Definição da secção de cabo a ser usada no Anel 1 | 161 |
| Tabela 21: Descrição de áreas alimentadas pelo Anel 2 | 163 |
| Tabela 22: Características do cabo de média tensão do anel 2 | 165 |
| Tabela 23: Perdas por efeito de Joule no cabo do Anel 2 | 166 |
| Tabela 24: Perdas por efeito capacitivo no cabo do Anel 2 | 166 |
| Tabela 25: Perdas totais do cabo no Anel 2 | 167 |
| Tabela 26: Acréscimo de temperatura no interior da vala do Anel 2 | 167 |
| Tabela 27: Fator de correção no cabo do Anel 2 | 168 |
| Tabela 28: Definição da secção a ser usada no Anel 2 | 168 |
| Tabela 29: Áreas a serem alimentadas por cada um dos postos de transformação | 170 |
| Tabela 30: Dimensionamento de transformadores | 179 |
| Tabela 31: Potência dissipada pelos transformadores | 184 |
| Tabela 32: Mapa dissipação de calor nas cabines metálicas | 188 |
| Tabela 33: Potência instalada nos QGBT | 189 |
| Tabela 34: Lista de cargas de baixa tensão do QGBT 1.1 | 191 |
| Tabela 35: Dimensionamento de saídas do QGBT 1.1 | 193 |
| Tabela 36: Distâncias a considerar no QGBT 1.1 | 197 |
| Tabela 37: Comparação das distâncias entre AutoCAD e mapa de cargas | 199 |
| Tabela 38: Lista de cargas com a informação do cabo a instalar | 201 |
| Tabela 39: Descrição das alimentações socorridas | 203 |

| | |
|---|------|
| Tabela 40: Lista de cargas para o quadro de distribuição da UPS da área de produção | 206 |
| Tabela 41: Listagem de equipamento fornecido | 209 |
| Tabela 42: Diferenças de metragem entre fase de projeto e fase de execução no anel | 1223 |
| Tabela 43: Diferenças de metragem entre fase de projeto e fase de execução no anel | 2224 |
| Tabela 44: Resultados esperados no ensaio de isolamento | 230 |
| Tabela 45: Resistividade dos terrenos de acordo com a sua natureza [36] | 236 |
| Tabela 46: Resistividade média dos terrenos de acordo com a sua natureza[36] | 237 |
| Tabela 47: Características dos elétrodos de terra [36] | 238 |

Acrónimos

| | | |
|------|---|---|
| AIS | – | <i>Air insulated substation</i> |
| AT | – | Alta tensão |
| AVAC | – | Aquecimento, ventilação e ar condicionado |
| BRA | – | Bloco rede anel |
| BT | – | Baixa tensão |
| COP | – | <i>Continuous power operating</i> |
| DGEG | – | Direção Geral de Energia e Geologia |
| EDM | – | Eletricidade de Moçambique |
| EDP | – | Eletricidade de Portugal |
| ELT | – | Esquema de ligação à terra |
| EPC | – | <i>Engineering – procurement – construction</i> |
| ESP | – | <i>Emergency Stand By power</i> |
| GIS | – | <i>Gas insulated substations</i> |
| IEG | – | Instalações elétricas gerais |
| ITED | – | Infraestruturas de telecomunicações de edifício |
| ITUR | – | Infraestruturas de telecomunicações em loteamentos, urbanizações e conjuntos de edifícios |
| MAT | – | Muito alta tensão |

| | | |
|---------|---|---|
| MT | – | Média tensão |
| OFAF | – | Óleo forçado / Ar forçado |
| ONAN | – | Óleo natural / Ar natural |
| PRP | – | <i>Prime power</i> |
| PTS | – | Postos de transformação e seccionamento |
| QGBT | – | Quadro geral de baixa tensão |
| QMT | – | Quadro de média tensão |
| REN | – | Rede elétrica nacional |
| RMD-BT | – | Rede Municipal de Distribuição em Baixa Tensão |
| RND | – | Rede Nacional de Distribuição em Alta-Tensão |
| RNT | – | Rede Nacional de Transporte |
| RPM | – | Rotações por minuto |
| RRDEEBT | – | Regulamento de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Baixa Tensão |
| RSLEAT | – | Regulamento de Segurança das Linhas Elétricas de Alta Tensão |
| RSSPTS | – | Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento |
| RTIEBT | – | Regras Técnicas de instalações elétricas em baixa tensão |
| SACC | – | Serviço Auxiliares de Corrente Continua |
| SADI | | Sistema automático de deteção de incêndios |
| SCADA | | Supervisory Control and Data Acquisition |

- SE – Subestação
- SF6 – Hexafluoreto de enxofre
- UPS – Unit power supply

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Após a conclusão da Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto surgiu a possibilidade e o interesse do candidato ingressar no mercado de trabalho. O seu percurso profissional começou no gabinete de projeto *OHM-E Gabinete de Engenharia Eletrotécnica, Lda* desde abril de 2018 até abril de 2019 sendo nesta data que aconteceu a transição para uma outra empresa, a *SIEMENS SA*.

As atividades de estágio aqui apresentadas foram desenvolvidas dentro do âmbito do segundo empregador, no entanto em ambas as situações foram facilitadas todas as condições necessárias para a prática da profissão e também para a posterior redação da dissertação.

Durante a realização do presente trabalho o estagiário teve a oportunidade de desenvolver inúmeras competências tanto técnicas como pessoais.

A execução das tarefas diárias exigiu do candidato a aplicação de conhecimentos técnicos, tecnológicos, normativos, regulamentares, criatividade, inovação e sentido de responsabilidade. Por um lado, devido à diversidade de tarefas propostas; por outro lado, devido à necessidade de estudo e implementação de soluções técnicas/tecnológicas adequadas às especificidades e requisitos dos diversos trabalhos realizados.

O período de estágio pressupõe uma expectativa de potenciar a consolidação e o desenvolvimento de conhecimentos, assim como a demonstração de qualidades que irão sempre permitir o bom desempenho nas tarefas inerentes ao exercício da profissão de engenheiro.

1.2. OBJETIVOS

Durante a realização da presente dissertação o estagiário desenvolveu, entre outras atividades, a função de projetista eletrotécnico e a função de gestor de projeto e diretor de obra.

Relativamente ao caso de estudo este engloba a realização do projeto eletrotécnico de infraestruturas de uma unidade industrial de produção de cerveja. Para esta instalação foram desenvolvidos os seguintes projetos eletrotécnicos:

- Projeto do quadro metálico da Subestação;
- Projeto da rede de distribuição em média tensão;
- Projeto dos postos de transformação;
- Projeto da rede de distribuição de baixa tensão.

O candidato integrou a equipa de gestão de projeto da *SIEMENS SA*, nos escritórios da cidade do Porto, onde, em conjunto com uma equipa de engenheiros eletrotécnicos desempenha funções de:

- Desenvolvimento de soluções adequadas às necessidades do cliente com o especial foco em gerir o cronograma geral;
- Identificar, gerir e resolver os principais problemas que resultam do normal desenvolvimento de obra;
- Gerir pró-ativamente o âmbito do contrato garantindo que é apenas entregue o solicitado, e aprovado, pelo cliente;
- Garantir a boa execução técnica/financeira do projeto;

- Desenvolver e acompanhar a evolução do projeto.

Foi ainda, com base na experiência adquirida, desenvolvida uma aplicação informática para estimação do valor da resistência de terra em instalações elétricas.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

O presente documento e conteúdo do mesmo foi desenvolvido em contexto profissional e por isso todas estas atividades começaram a ser desenvolvidas no dia um (1) de maio de dois mil e dezanove (2019) e prolongaram-se até ao momento da apresentação e defesa do trabalho, outubro de 2020.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação está organizada em seis (6) capítulos, seguindo uma ordem lógica e coerente ao longo de todo o documento.

O primeiro capítulo, a “Introdução”, tem como objetivo a contextualização da proposta de trabalho, apresentar de forma clara os objetivos e descrever a solução.

No capítulo seguinte, “Fundamentos teóricos sobre as temáticas do trabalho”, foi desenvolvido um estado da arte sobre a temática do projeto e uma breve introdução ao trabalho desenvolvido.

No terceiro capítulo “Projeto e Gestão de Obra: Fábrica de Cerveja - Moçambique”, e após ter sido feita uma introdução teórica ao mesmo, são descritos os trabalhos que foram executados em obra, apresentando todas as decisões e as justificações técnicas que levaram às mesmas. Paralelamente são demonstrados os conhecimentos adquiridos na área da engenharia e são também abordadas algumas dificuldades enfrentadas resultante da execução de um projeto num país e continente diferente, o que acarreta diferenças e barreiras técnicas e culturais que necessitam de ser ultrapassadas.

O quarto capítulo, “Aplicação informática para estimação do valor de resistência de terra” é onde é apresentado e dissecado o desenvolvimento de uma aplicação informática para a estimação do valor da resistência de terra em instalações elétricas. Este capítulo apresenta a arquitetura e software da aplicação assim como o princípio de utilização da mesma.

O capítulo seguinte, o quinto, “conclusões” apresenta todos os comentários gerais e aborda, de forma sucinta outros projetos desenvolvidos durante o período de estágio, apresenta também as componentes acadêmicas que se mostraram fundamentais para o ingresso no mercado de trabalho e as perspectivas de trabalho futuro. É ainda neste capítulo que são apresentadas todas as referências bibliográficas necessárias para a construção do presente documento.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE AS TEMÁTICAS DO TRABALHO

2.1. ENQUADRAMENTO

A atividade profissional desenvolvida por um engenheiro eletrotécnico responsável pelo projeto, execução e exploração de instalações elétrica é, cada vez mais, uma atividade de elevada responsabilidade do ponto de vista técnico, mas também do ponto de vista financeiro, o que justifica a necessidade de estes possuírem elevados conhecimentos científicos, técnicos, tecnológicos, regulamentares e normativos.

O projeto eletrotécnico pode ser definido como um conjunto de peças escritas e desenhadas ordenadas que têm como o principal objetivo de definir e caracterizar uma solução técnica, que, com o menor custo possível, vá de encontro às características da instalação, aos requisitos do dono de obra e que cumpra todos os aspetos regulamentares e normativos aplicáveis.

Uma das funções do projetista é também ter um papel proactivo na aplicação de novos aparelhos, equipamentos e conceitos que até então não tinham sido explorados. Para isso, e porque a inovação tem sempre associada algum risco, o bom senso e o sentido crítico que tem de estar sempre presente de modo a ser possível perceber se a solução será de facto vantajosa ou acarretará desvantagens para a exploração futura.

A existência de um projeto é, por si só, uma garantia de qualidade e um primeiro esboço daquilo que será a solução final. No entanto, o projeto deverá ser considerado um elemento dinâmico pelo que durante a execução este poderá sofrer alterações obrigando deste modo a que sejam enfrentados desafios e mudanças de última hora que deverão ser sempre analisadas com cautela e com a certeza de que a decisão tomada tem em conta as melhores soluções técnicas e económicas.

O gestor do projeto da especialidade é responsável por analisar toda a conjuntura envolvente e todos os componentes que a compõe, sendo o projeto parte integrante desta. Este deverá sempre ter em conta a informação recebida por outras especialidades e avaliar que impacto essa mesma informação deverá ter no seu trabalho e se necessário ajustar a solução final de modo a compatibilizar todas as vertentes em prol da solução final. É também responsável por garantir que todos os regulamentos e documentos normativos estão a ser cumpridos.

Existe também o gestor de projeto geral da obra (multidisciplinar) que deverá assumir o papel de mediador entre todas as especialidades envolvidas e garantir desta forma uma correta e assertiva comunicação entre as diversas áreas.

A realização de um projeto obriga a um conhecimento profundo de todos os regulamentos e normas aplicáveis ao país em questão e com a necessidade de prever todos os riscos associados a essa execução.

Quando se fala em executar projetos, para outros países, que não Portugal, é exigido ao projetista um esforço complementar, pois necessita de conhecer todo o corpo legislativo, regulamentar e normativo aplicável no país em questão. No entanto, os desafios vão para além de questões administrativas, regulamentares e normativas, pois, o fator cultural, o fator logístico ou o simples fator de mudança de fuso-horário altera o normal

desenvolvimento do projeto e isso acarreta dificuldades e particularidades no normal desenvolvimento do projeto que têm de ser ultrapassadas da melhor forma possível.

O presente capítulo deverá ser considerado elemento de consulta e de apresentação dos fundamentos teóricos sobre a temática do trabalho apresentando os conceitos teóricos relacionados com os atos de engenharia.

O caso de estudo apresentado no presente documento é referente ao desenvolvimento de um projeto desde a fase de projeto até à fase de instalação/comissionamento da implementação da solução elétrica instalada numa indústria cervejeira em Moçambique. No entanto a legislação deste país sofre influência por parte da legislação Portuguesa pelo que sempre que necessário será feita referência a essa mesmo.

2.2. SISTEMA ELÉTRICO MOÇAMBICANO

2.2.1. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

Um projeto não pode ser realizado com o único objetivo de obter o licenciamento da instalação, mas, deve conferir uma garantia de qualidade, segurança e eficiência na solução final. Para estes objetivos serem cumpridos o projeto é obrigado a cumprir todos os requisitos legais e regulamentares que sejam aplicados à sua natureza.

Este conjunto legislativo tem de estar em constante atualização devido a toda a evolução tecnológica que as técnicas, os materiais e os equipamentos estão sujeitos. As dinâmicas de utilização das instalações também se alteram assim como os hábitos dos utilizadores.

O enquadramento legislativo e regulamentar é sempre específico de acordo com a localização da instalação. No caso de Moçambique estes documentos seguem as principais diretrizes dos que são aplicados em Portugal. Apesar de semelhantes aos portugueses, torna-se imperativo referir os seguintes regimes jurídicos e regulamentos.

2.2.1.1. LEGISLAÇÃO

- Lei n.º 21/97, de 7 de outubro

Estabelece a Lei de Energia, que se aplica à atividade de produção, transporte, distribuição e comercialização de energia elétrica no território da República de Moçambique, bem como a sua importação e exportação para ou do território nacional e tem por objetivo definir, em relação a energia elétrica:

- A política geral da organização do sector elétricos e a gestão do fornecimento de energia elétrica;
- O regime jurídico geral aplicável às atividades de produção, transporte, distribuição e comercialização da energia elétrica no território Moçambicano, assim como a sua importação e exportação para ou do território nacional e o regime de concessão das referidas atividades.

- Decreto n.º 8/2000, de 20 de abril

Regulamenta a Lei n.º 21/97, de 7 de outubro.

Aprova o Regulamento da Lei da Energia, que estabelece as competências e os procedimentos para atribuição, controlo e extinção de concessões de produção, transporte, distribuição e comercialização de energia elétrica, bem como a sua importação e exportação.

- Decreto n.º 58/2014, de 17 de outubro

Aprova o Regulamento que estabelece o Regime Tarifário para Energias Novas e Renováveis.

Aplica-se aos projetos de produção de energia elétrica que têm por base fontes renováveis, desenvolvidos por pessoas singulares ou coletivas, públicas ou providas ao abrigo do presente regulamento, tendo por objetivo a ligação à rede elétrica.

Tem por objetivo estabelecer o modelo de tarifário aplicável para as novas e renováveis fontes de energias com vista à sua promoção e garantia da diversificação da matriz energética e o seguro fornecimento da energia elétrica.

- **Decreto n.º 42/2005, de 29 de novembro**

Aprova o Regulamento de Competências dos Técnicos Responsáveis pelas Instalações Elétrica de Serviço Particular.

- **Diploma Ministerial n.º 184/2014, de 12 de novembro**

Aprova o Código da Rede Elétrica Nacional de Moçambique.

Estabelece as condições técnicas de ligação das instalações da Rede Elétrica Nacional, REN, bem como as condições técnicas de planeamento e de exploração da REN

- **Lei n.º 11/2017, de 8 de setembro**

Cria a Autoridade Reguladora de Energia, abreviadamente designada por ARENE, com os objetivos de:

- Assegurar a regulação da atividade dos subsectores de energia incluindo a distribuição e comercialização de produtos petrolíferos e seus derivados;
- Garantir o cumprimento rigoroso dos princípios e normas aplicáveis ao setor de energia, em conformidade com a legislação nacional e os padrões e boas práticas internacionais;
- Promover a concorrência leal entre os operadores públicos e privados do setor de energia;
- Tornar o mercado de energia mais competitivo, eficiente, económico e ambientalmente sustentável;
- Assegurar a satisfação do interesse público e a defesa dos direitos dos consumidores de energia elétrica e dos combustíveis;
- Reforçar o controlo dos impactos decorrentes do uso de energia sobre o ambiente;
- Contribuir para a segurança energética nacional.

- **Decreto n.º 10/2020, de 23 de março**

Este decreto atualiza o Regulamento de Licenças para Instalações Elétricas e revoga os Decretos n.º 48/2007, de 22 de outubro, que aprova o Regulamento de Licenças para Instalações Elétricas e o Decreto n.º 10/16, de 25 de abril, que introduz alterações ao Regulamento de Licenças para Instalações Elétricas, tendo por objetivo fixar as normas a seguir nas concessões de licenças para o estabelecimento e exploração de instalações destinadas à produção, transporte, transformação, distribuição e utilização de energia elétrica para qualquer fim ou serviço.

2.2.1.2. REGULAMENTOS

Os principais regulamentos aplicáveis ao território moçambicano tiveram por base a regulamentação portuguesa, pelo que se verifica bastantes semelhanças entre eles.

- **Regulamento de Segurança das Linhas Elétricas de Alta Tensão**

O Regulamento de Segurança das Linhas Elétricas de Alta Tensão (RSLEAT) foi aprovado a 11 de novembro de 2011 através da publicação do Decreto n.º 57/2011.

Tem como objetivo fixar um conjunto de condições técnicas que devem ser cumpridas no caso de construção e exploração das linhas de alta tensão. Este regulamento é também aplicado às linhas de telecomunicações existentes no apoio do equipamento elétrico.

- **Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento**

O Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPTS) foi aprovado a 21 de dezembro de 2011 [1] pelo Decreto-Lei n.º 66/2011.

Pretende regulamentar todos os aspetos associados à instalação e exploração dos postos de transformação e seccionamento instalados na rede pública ou em rede particulares. Um dos principais focos deste documento é manter a segurança dos utilizadores e da rede onde o equipamento é parte integrante.

- **Regulamento de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Baixa Tensão**

O Regulamento de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Baixa Tensão (RRDEEBT) foi aprovado a 21 de dezembro de 2011, através da publicação do Decreto n.º 67/2011.

Tem por objetivo:

- Fixar as condições técnicas a que deve obedecer o estabelecimento e a exploração das redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão, de corrente alternada ou corrente contínua, com vista à proteção de pessoas e bens e à salvaguarda dos interesses coletivos;
- Obedecer as demais prescrições de segurança em vigor e às normas técnicas.

2.2.2. ELETRICIDADE DE MOÇAMBIQUE (EDM)

A empresa responsável pela exploração da rede elétrica de Moçambique é a Eletricidade de Moçambique (EDM), sendo responsável pela produção, transporte e distribuição da energia elétrica em todo o território Moçambicano.

Trata-se de uma empresa fundada em 1977, dois anos depois da independência de Moçambique, cuja constituição procurou a incorporação de todos os centros produtores de energia num único sistema de modo a melhorar as necessidades elétricas e com esta medida impulsionar o desenvolvimento de diversos fatores tais como a agricultura, a indústria e mesmo a vida doméstica.

A EDM herdou, por um lado, um grande património de equipamento, no entanto, a maioria dele, encontrava-se em muito mau estado de conservação e, sem stock de peças para manutenção e reparação [2]. Por outro lado, também os recursos humanos eram poucos e, de um modo geral, pouco qualificados.

Esta herança obrigou a EDM a desenvolver um conjunto de ações procurando dar resposta aos referidos problemas, tendo:

- Realizado um investimento em equipamento novo e adequado às suas necessidades;
- Realizado um investimento em técnicos internos e externos qualificados;
- Redirecionado os investimentos energéticos para os recursos hídricos.

A permanente instabilidade política existente em Moçambique atrasou o desenvolvimento da rede elétrica nacional, tendo mesmo motivado a que os investimentos já realizados fossem deixados ao abandono e expostos a atos de vandalismos.

A eletricidade foi usada como elemento de promoção política e foi disponibilizada a toda a população a um custo muito baixo durante vários anos. Medida esta que fez com que a produção e distribuição fosse realizada a custos que eram impossíveis de serem recuperados originando assim ao longo dos anos um declínio da qualidade da energia.

Se desde a sua origem a EDM era uma empresa estatal em 1995, e já dentro do contexto de reestruturação da economia do país, passou a ser uma empresa pública tendo assim direito a um fundo nacional de investimento. Com esta mudança, mudou também o nome passando a denominar-se EDM – E.P onde o seu foco passou a ser a melhoria da qualidade da rede fornecida aos utilizadores finais e a gestão eficiente dos seus recursos.

A EDM – E.P ficou dividida em quatro grandes áreas de comando sendo assim possível otimizar a dinâmica da empresa com vista a que o peso operacional dos administradores seja usado para desenvolver assuntos estratégicos para a empresa. Esta mudança exigiu também um trabalho extenso de reorganização que teve de ter em conta todos as condicionantes de cada momento e as perspetivas e desafios bem como as orientações definidas para o futuro da eletricidade no país. Orientações essas que assentavam nos seguintes pilares:

- Melhoria da qualidade de serviço;
- Expansão da rede elétrica;
- Desenvolvimento interno da empresa;
- Desenvolvimento e incremento na partição da exploração hídrica do país.

Para o cumprimento destes objetivos tiveram de ser criados os seguintes recursos para uma correta progressão da empresa sempre com vista à promoção da empresa e melhoramento da gestão, nomeadamente:

- Criação de áreas regionais de direção e áreas de operação para delegar maior autonomia nas decisões;
- Criação de departamentos comerciais;
- Desenvolvimento de ações para tornar a EDM uma empresa economicamente viável.

Ao longo do tempo a empresa foi-se sempre preparando para uma fase de expansão e consolidação no mercado que resulta do crescimento/evolução económico do país e também na possibilidade legislativa do sector elétrico poder começar a ter vários operadores e não apenas monopolizado pela EDM, à semelhança do que acontece em muitos dos outros países.

2.2.3. CARATERIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DE MOÇAMBIQUE

2.2.3.1. GENERALIDADES

Um sistema elétrico é caracterizado como o conjunto dos elementos produtores, de transporte e de distribuição de energia elétrica.

Em Moçambique a produção é caracterizada pela vasta utilização de recursos hídricos, sendo que a maior parte da energia produzida em território Moçambicano não é usada internamente resultando assim na exportação para países vizinhos como a África do Sul e o Zimbabué.

Moçambique é ainda um país com um elevado défice no que concerne ao acesso à eletricidade. Nas zonas urbanas estima-se que apenas 67% [3] da população tenha acesso à energia elétrica, no entanto em zonas mais rurais este valor não vai além dos 27% [3] ficando assim com um valor global de apenas 40% [3] da população de todo o país com acesso à energia elétrica.

Um dos grandes objetivos de Moçambique, no que concerne ao acesso de energia elétrica até 2030 é ter cerca de 50% de todas as habitações familiares conectadas à rede elétrica. Para atingir este propósito, será necessário a EDM procurar garantir a expansão da rede a uma média de cento e setenta e cinco (175) mil novos consumidores por cada ano. No entanto, este objetivo está a ter alguns contratempos visto que os planos da EDM apenas contemplam cerca de cem (100) mil habitações anuais, o que resultará em apenas 38% de habitações familiares ligadas à rede elétrica ficando aquém dos previstos 50%. A energia comercializada pela EDM ultrapassou no ano de 2014, os três mil e quinhentos (3500) GWh, representando assim um aumento gradual ao longo dos anos explicado pelo desenvolvimento social. Nesse mesmo ano a potência instalada atingiu um máximo de oitocentos (831) MW. [3]

A Figura 1 mostra a distribuição e evolução dos consumos energéticos em Moçambique, entre os anos de 2011 e 2014.

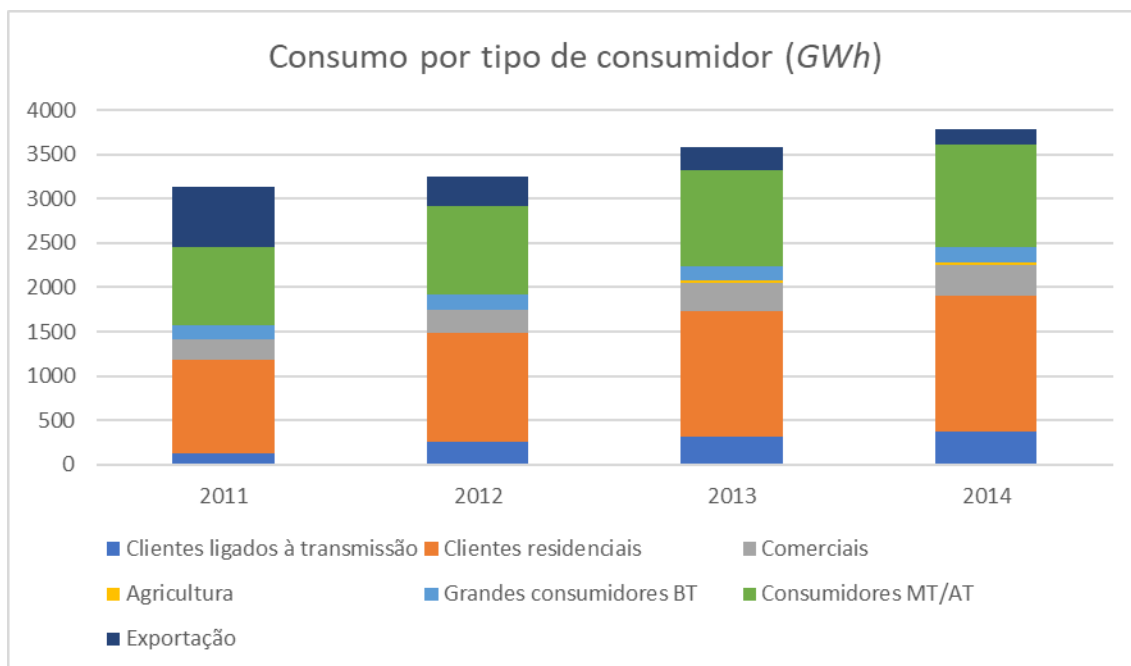


Figura 1: Consumo por tipo de consumidor (GWh) em Moçambique

2.2.3.2. CAPACIDADE INSTALADA

A Figura 2 mostra as principais centrais produtoras de Moçambique, com discriminação do tipo de central, relativamente ao ano de 2014.

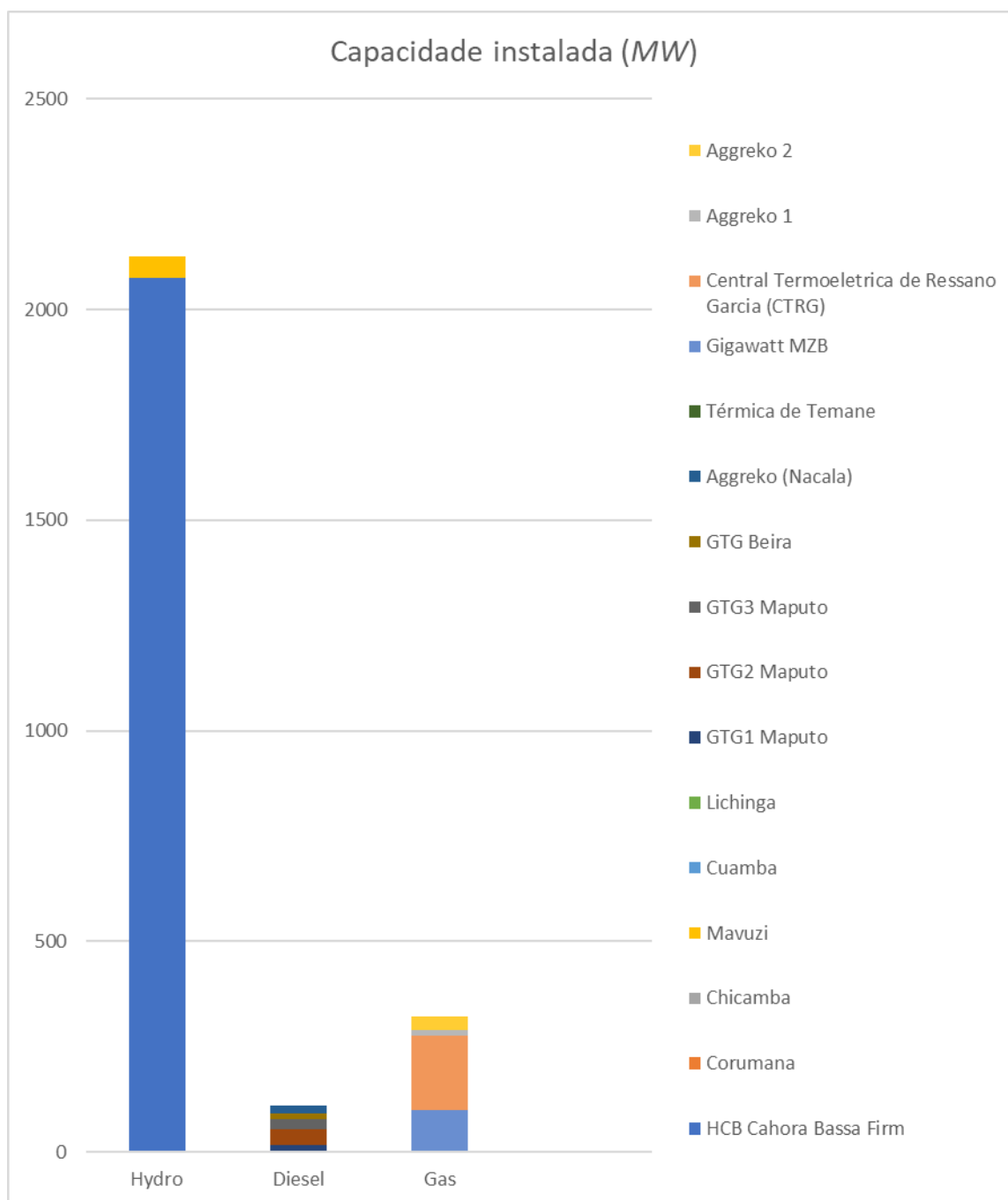


Figura 2: Capacidade energética instalada em Moçambique [3]

Conforme é possível ver na figura anterior a potência instalada em Moçambique é principalmente proveniente dos recursos hidroelétricos de Moçambique e este valor de aproveitamento hidroelétrico está entre um dos mais altos de todo o continente africano tendo o seu valor anual de geração na casa dos dezanove mil (19 000) MW.

A principal central responsável por este grande valor de aproveitamento hidroelétrico é a central de Cahora Bassa, património da empresa HCB - Hidroelétrica de Cahora Bassa,

situada província de Tete, ilustrada na Figura 3, sendo esta uma das maiores barragens de todo o continente Africano com uma capacidade instalada de dois mil e setenta e cinco (2075) MW [3].



Figura 3: Central hidroelétrica de Cahora Bassa [4]

Embora situada em solo Moçambicano, devido a interesses políticos e económicos, a central de Cahora Bassa é responsável por produzir energia para cinco (5) países, sendo estes Moçambique, África do Sul, Zimbabué, Botsuana e ainda para o *Southern African Power Pool (SAPP)* – mercado sul africano de energia.

Da produção resultante desta barragem, Moçambique apenas consome cerca de quinhentos (500) MWh sendo a restante energia consumida pelos países vizinhos, contribuindo assim de forma significativa para a economia do país.

A empresa EDM é apenas detentora de parte da potência disponível da central hídrica de Cahora Bassa, sendo, no entanto, responsável por várias outras centrais de geração hídricas e térmicas.

A potência instalada, no ano de 2014, totalizava dois mil seiscientos e vinte e seis (2626) MW, no entanto apenas novecentos e cinquenta e sete (957) MW estavam disponíveis para a EDM, sendo este um bom indicador sobre o potencial económico do país pois existe um grande volume de exportação.

2.2.3.3. TRANSPORTE

A rede elétrica nacional de Moçambique é essencialmente explorada por três empresas. A EDM, já descrita anteriormente, e pela empresa proprietária da central de Cahora Bassa, a HCB e pela empresa responsável pela rede de transmissão em Moçambique, MOTRACO.

A rede de transmissão está desenvolvida através de três grandes níveis de tensão:

- 220 kV – Nível de tensão utilizado no Norte do país com duas linhas. Uma linha com aproximadamente mil (1 000) km entre a subestação do Songo e Nampula e uma outra linha entre a cidade de Tete e Chibata, embora esta última seja operada a 110 kV;
- 110 kV – Nível de tensão explorado na área de transporte do Sul do país. Esta região é também caracterizada por ser a mais evoluída sendo constituída por diversas linhas cento e dez (110) kV entre a cidade de Maputo e a cidade de XaiXai, Chokwe na Inhambane. Tem ainda uma linha de duzentos e setenta e cinco (275) km que liga a cidade de Maputo a Komatipoort onde acontecem as trocas energéticas entre Moçambique e África do Sul caracterizada por ser a principal alimentação da capital do país; [3]
- 100 kV – Nível de tensão usado na região Centro e com linhas responsáveis por ligar a central de Chicamba à cidade de Mavuzi e abastecer eletricamente a região da Beira – Manica.

Verifica-se que não existe uma interligação entre a capital, Maputo, e a maior central hidroelétrica do país tendo por este motivo que importar energia ao país vizinho, neste caso África do Sul. Outra das particularidades é que apenas uma linha de transmissão é responsável por entregar energia na região norte conforme se pode constatar na Figura 4:

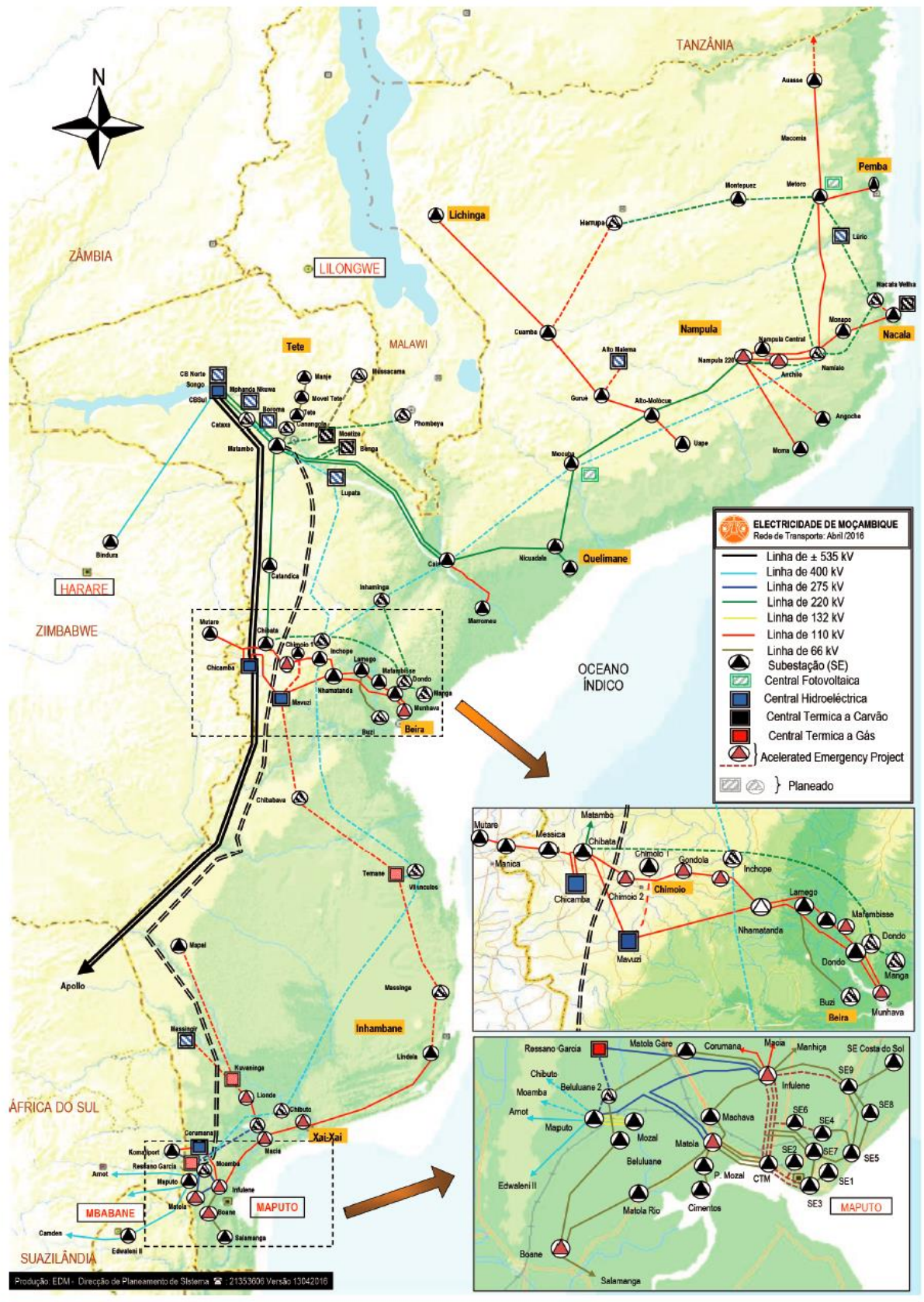


Figura 4: Rede de transporte de Moçambique, abril de 2016 [3]

Em toda a rede elétrica estão instaladas setenta e duas (72) subestações em que sete (7) têm a particularidade de serem móveis, permitindo assim estabelecer pontos provisórios de ligação à rede. Para além destas subestações existem também dois (2) postos de seccionamento que permitem realizar reconfigurações da rede.

2.2.3.4. PERSPETIVA DE EVOLUÇÃO FUTURA

Desde o ano de 2015 que tem existido a intenção do governo Moçambicano junto do Banco Mundial de desenvolver e evoluir o sector elétrico nacional. Nesse ano, 2015, o Banco Mundial lançou o desafio para que o desenvolvimento elétrico assentasse em três pontos chaves, sendo eles:

- Fornecer energia renovável e eficiente;
- Expandir o sistema de geração e transmissão da energia;
- Assegurar o acesso à energia elétrica à maioria populacional.

Esta interação com o banco mundial, com o objetivo de conseguir investimentos externos, mostra a atitude atenta e preocupada do governo Moçambicano em investir na expansão do acesso à energia elétrica em todo o território.

Ainda de acordo com os dados do Banco mundial o governo de Moçambique está comprometido em realizar investimentos de forma a aumentar a capacidade de produção em três mil cento e trinta e oito (3 138) MW até 2022 e quatro mil cento e trinta e seis (4136) MW até 2030 [3].

Relativamente a projetos com investimento a longo prazo é expectável que o país seja capaz de explorar ainda mais três mil (3000) MW de recursos hídricos, com especial foco na expansão de mil duzentos e quarenta e cinco (1245) MW da central de Cahora Bassa e ainda uma nova central de mil e quinhentos (1500) MW denominada de Mphanda Nkuwa.

Um dos outros grandes interesses do país é a exploração de recursos fósseis locais como é o caso do gás natural ou centrais a carvão sendo que estes recursos estão previstos para serem alvos de novas instalações na ordem dos mil e quatrocentos (1400) MW e dois (2) GW respetivamente.

Todos os projetos acima descritos irão certamente, a longo prazo, fortalecer a geração de energia mista que é atualmente dominada pelos recursos hídricos.

2.3. PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

2.3.1. ENQUADRAMENTO

Na realização de qualquer projeto é fundamental o conhecimento total de todo o conjunto legislativo, regulamentar e normativo, que se aplica às instalações a projetar.

Este corpo legal está em constante evolução e atualização, por um lado, devido à permanente evolução tecnológica de materiais e equipamento, mas, por outro lado, devido às cada vez maiores exigências impostas às instalações, em termos de segurança de pessoas e bens, flexibilidade, fiabilidade, funcionalidade, conforto e eficiência.

2.3.2. FASES DE REALIZAÇÃO E TIPOS DE PROJETOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Um projeto deve ser sempre considerado um elemento onde é estabelecida a melhor relação técnica, económica e de segurança para a instalação indo assim ao encontro das necessidades e expectativas do cliente. A sua realização requer, além do conhecimento técnico de todos os temas necessários, métodos que serão imprescindíveis tanto na sua conceção como na elaboração do processo que o constitui.

De um modo geral a realização de um determinado projeto deve seguir sempre um cronograma, que pode ser adaptado consoante a complexidade e a importância da obra.

A Portaria n.º 701-H/2008, de 29 de julho, embora pertencendo ao corpo legislativo de Portugal, traduz de uma forma clara, e aplicável em qualquer país, os procedimentos e normas a adotar na elaboração e faseamento de projetos.

Assim, um projeto deve desenvolver-se de acordo com as fases a seguir indicadas, podendo, algumas delas, ser dispensadas de apresentação formal, por especificação do caderno de encargos ou acordo entre o Dono da Obra e o Projetista:

- Programa preliminar;
- Programa base;
- Estudo prévio;
- Projeto Base ou projeto de licenciamento;
- Projeto de execução.

2.3.2.1. PROGRAMA PRELIMINAR

Esta é a primeira etapa na realização de um projeto e tem como objetivo reunir um conjunto de informações reunidas pelo dono de obra que futuramente irão ser entregues ao projetista. Estas informações centram-se essencialmente em factos para se obter as respostas aos seguintes pontos:

- Objetivos da obra;
- Características gerais da obra;
- Dados sobre a localização da obra;
- Elementos topográficos, cartográficos e geotécnicos, levantamento das construções existentes e das redes de infraestruturas locais, coberto vegetal, características ambientais e outros eventualmente disponíveis, a escalas convenientes;
- Dados básicos relativos às exigências de comportamento, funcionamento, exploração e conservação da obra, tendo em atenção as regulamentações existentes;
- Estimativa de custos e respetivo limite dos desvios;
- Indicação geral dos prazos para a elaboração do projeto e execução da obra.

2.3.2.2. PROGRAMA BASE

Depois de reunida toda a informação referida no parágrafo anterior é elaborado um documento, pelo projetista, onde será apresentado de forma clara e sucinta ao dono de obra todas as soluções propostas pelo projetista. Este documento deve incluir:

- Esquema de obra e programação das diversas tarefas a realizar;
- Definição dos critérios gerais de dimensionamento das diferentes partes que constituem a obra;
- Peças escritas e desenhadas, e outros elementos informativos que sejam necessários para o perfeito esclarecimento do programa Base;
- Estimativa geral do custo de obra.

2.3.2.3. ESTUDO PRÉVIO

Em fase posterior à aprovação do dono de obra ao Programa Base é altura de desenvolver todas as soluções nele apresentado.

De modo a que seja possível o dono de obra compreender facilmente todas as soluções propostas pelo projetista e os elementos que constam no programa base, este deve incluir:

- Memória descritiva e justificativa;
- Elementos gráficos elucidativos sob a forma de plantas, alçados, cortes, esquemas de princípio e outros elementos das soluções propostas;
- Dimensionamento aproximado e características principais dos elementos fundamentais da obra;
- Estimativa do custo e o seu prazo de execução.

2.3.2.4. PROJETO PARA LICENCIAMENTO

Concluída a etapa anterior, o estudo prévio, e sendo aprovado pelo dono de obra, entra-se na fase de projeto para licenciamento. Será nesta fase que se desenvolvem todas as soluções previamente descritas. É também nesta fase que é submetido o projeto aos diferentes organismos.

Esta fase deve conter os seguintes elementos:

- Memórias descritivas e justificativas;
- Avaliação das quantidades de trabalho a realizar por grandes itens e respetivos mapas;
- Estimativa de custo atualizada;
- Peças desenhadas e outros elementos gráficos necessários;
- Os elementos de estudo que serviram de base às opções tomadas;
- Programa geral dos trabalhos.

2.3.2.5. PROJETO DE EXECUÇÃO

Esta última etapa irá desenvolver o projeto de licenciamento e é constituído por um conjunto de informações escritas e desenhadas, obedecendo ao disposto na legislação aplicável. Este deve incluir as seguintes peças:

- Memória descritiva e justificativa;
- Cálculos relativos às diferentes partes da obra apresentados de modo a justificarem as soluções adotadas;
- Medições e mapas de quantidades de trabalho;
- Orçamento baseado nas quantidades e qualidades de trabalho constantes das medições;
- Peças desenhadas de acordo com o estabelecido para cada tipo de obra na regulamentação aplicável;
- Condições técnicas do caderno de encargos.

2.3.3. CLASSIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM MOÇAMBIQUE

A classificação das instalações elétricas que tem como principal função agrupar as variadas instalações elétricas em função das suas características e de acordo com a sua alimentação, definindo assim a regulamentação que se deve ter em conta aquando da elaboração dos projetos, e na execução das instalações o processo e as entidades que intervêm no mesmo, pois os processos burocráticos são específicos de cada tipologia é realizada em Moçambique tendo por base o definido no Regulamento de Licenças para Instalações Elétricas, aprovado pelo Decreto n.º 10/2020, de 23 de março.

Diferente do que é realizado em Portugal, em Moçambique, as instalações elétricas estão classificadas em 10 categorias de acordo com a descrição seguidamente realizada:

- 1ª categoria – Instalações elétricas de interesse público geral. Estão englobadas nesta categoria as instalações de caminhos de ferro, as instalações de produção de energia elétrica com base em combustíveis fósseis, biomassa e/ou quaisquer outras fontes renováveis;
- 2ª categoria – Instalações elétricas de interesse público sob alçada de entidades públicas locais e destinadas a serviços contidos na própria região como a iluminação pública;
- 3ª categoria – Instalações elétricas alimentadas por energia própria;
- 4ª categoria – Instalações elétricas de caráter permanente alimentadas por redes elétricas já existentes de baixa ou alta tensão;
- 5ª categoria – Instalações elétricas de caráter permanente alimentadas por fontes de energia própria;
- 6ª categoria – Instalações elétricas de caráter permanente, alimentadas por uma de baixa tensão já existente, estabelecidas com fins lucrativos como recintos destinados a espetáculos públicos, teatros, cinemas, praças de touros, circos, estádios, casinos, clubes, casas de jogo e outros locais semelhantes e, ainda, em depósitos de matérias explosivas ou inflamáveis e vedações eletrificadas;
- 7ª categoria – Instalações elétricas de carácter permanente, alimentadas por uma rede de distribuição já existente em baixa tensão e não estejam compreendidas em qualquer das categorias anteriores;
- 8ª categoria – Instalações elétricas de carácter permanente e, alimentadas por uma rede de distribuição já existente em baixa tensão ou por sistemas isolados, tais como as estabelecidas em habitações particulares e respetivas dependências, bem como instalações em que não se praticam atos de comércio, sociedade recreativas ou desportivas e outros locais semelhantes e ainda as estabelecidas nas fábricas ou telhados dos edifícios para reclames luminosos;
- 9ª categoria – Instalações elétricas de caráter provisório e duração não superior a 3 meses normalmente definidas como obras ou intervenções na via pública;

- 10ª categoria – Instalações elétricas de caráter provisório de curta duração como é o caso de espetáculos cênicos e outros semelhantes.

2.3.4. ALIMENTAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

As instalações elétricas são, em regra, alimentadas pela rede pública de distribuição de energia elétrica, em que o nível de tensão depende da potência requisitada para as mesmas, dependendo das suas características, do fim a que se destinam e dos requisitos regulamentares aplicáveis às mesmas, poderão ainda ser dotadas de uma alimentação de socorro e de uma alimentação de segurança.

Nos parágrafos seguintes serão caracterizadas as referidas soluções de alimentação das instalações elétricas.

2.3.4.1. ALIMENTAÇÃO NORMAL

A alimentação normal é a rede responsável por fornecer energia elétrica em regime normal de funcionamento, e normalmente será disponibilizada por parte do distribuidor público. Pode acontecer que existam instalações de utilização isoladas e muito distantes das infraestruturas de distribuição existente que necessitem de uma rede isolada com produção própria.

A alimentação normal através da rede pública pode ser realizada em diferentes níveis de tensão consoante as características de cada alimentação. Esta escolha é bastante importante pois terá um impacto significativo na qualidade de serviço, nos custos da energia e nos custos iniciais e de exploração da instalação.

A ligação à rede pública pode ser realizada em qualquer nível de tensão, em conformidade com o descrito na

Tabela 1.

Tabela 1: Níveis de tensão da rede pública [5]

| Designação | Tensão (kV) |
|-------------------------|---------------------------------------|
| Baixa Tensão (BT) | $U_c \leq 1\text{kV}$ |
| Média Tensão (MT) | $1\text{kV} < U_c \leq 45\text{kV}$ |
| Alta Tensão (AT) | $45\text{kV} < U_c \leq 110\text{kV}$ |
| Muito Alta Tensão (MAT) | $U_c > 110\text{kV}$ |

Em instalações de potência elevada, com previsão de evolução em termos de potência contratada e necessidade de uma qualidade de serviço elevada, é aconselhável a alimentação ser realizada em MT, AT ou MAT.

A alimentação, em MT, AT e MAT, é vantajosa no sentido em que existe mais disponibilidade de potência, o serviço é de melhor qualidade e as tarifas aplicadas também são mais interessantes, no entanto existem também algumas desvantagens inerentes tais como:

- O projeto sofre um custo adicional relativamente à construção e exploração;
- Detenção da responsabilidade civil pela exploração das instalações

2.3.4.2. ALIMENTAÇÃO DE SEGURANÇA (EMERGÊNCIA)

Esta alimentação trata-se da energia fornecida de modo a manter em funcionamento os equipamentos essenciais à segurança das pessoas, como quando requisitado em necessidade de evacuação. Esta inclui a fonte e os circuitos até às cargas terminais.

Por vezes em edifícios de grande altura, em estabelecimentos de receção pública e em certos estabelecimentos industriais é obrigatória, conforme o estabelecido nos regulamentos aplicáveis, a existência de uma alimentação de segurança.

A alimentação aqui mencionada pode ser obtida através de grupos geradores ou de unidades de alimentação elétrica ininterrupta (UPS's).

2.3.4.3. ALIMENTAÇÃO DE SOCORRO (RESERVA)

Existem circuitos onde se pretende evitar a interrupção da alimentação pois as cargas que estes alimentam são importantes para a normal exploração da instalação sendo isto frequente em processos industriais de laboração contínua ou instalações de tratamento de informação.

Para os circuitos que se enquadrem no parágrafo anterior é possível dimensionar uma rede que irá manter em funcionamento a instalação, ou parte desta, por razões que não sejam a segurança das pessoas em caso de falha da alimentação normal.

À semelhança da alimentação de segurança os meios para garantir esta alimentação são os grupos geradores e as unidades de alimentação elétrica ininterrupta (UPS's).

2.3.4.4. GRUPOS ELETROGÉNEOS

2.3.4.4.1. ENQUADRAMENTO

Um grupo gerador pode ser definido como o conjunto de equipamentos tais como a caldeira, a turbina, o gerador, o transformador e um motor de combustão, que quando alimentado com combustíveis fósseis que irá acionar o gerador que será responsável por produzir energia elétrica.

Os grupos eletrogéneos são vulgarmente utilizados como segunda ou terceira rede nos sistemas elétricos de energia mais desenvolvidos, mas nos países em que o mercado elétrico ainda não está tão explorado por vezes é usado como rede principal. Isto pode acontecer devido a diversos fatores tais como a inexistência de rede elétrica nos locais da instalação, a fraca qualidade de serviço, entre outros, sendo esta uma opção do explorador da instalação.

Esta solução pode tomar diversas configurações tais como fontes de socorro, geralmente apresentados com canópias, quando para utilização exterior, representado na Figura 5, ou como fonte de alimentação primária, com um ar bem mais robusto devido às exigências inerentes.



Figura 5: Grupo gerador canopiado [6]

2.3.4.4.2. TIPOS DE SISTEMA

Conforme já referido a instalação de um grupo gerador pode ser idealizada para diversos fins de acordo com as características da instalação e a rede de distribuição de energia a montante. Estes fins podem ser classificados de acordo com os tipos de sistemas adotados, sejam eles em “Alimentação Normal”, “Alimentação de segurança” ou em “Alimentação de socorro” conforme já descrito.

2.3.4.4.3. REGIMES DE FUNCIONAMENTO

Os geradores podem ser classificados de acordo com o seu regime de funcionamento estabelecido na norma ISO 8528 – 1 sendo que esta classificação ocorre através da potência em que a sua base é o tempo de funcionamento e a percentagem de sobrecarga.

Os regimes de funcionamento podem ser os seguintes:

- Potência de emergência;
- Energia Principal;
- Energia continua.

Estas características podem ser encontradas na chapa de características de um grupo onde é possível visualizar a capacidade máxima de funcionamento de cada equipamento. Esta informação, representada na Figura 6 permite perceber qual a potência disponível quando o equipamento é usado no modo de funcionamento “Continuos”. A chapa permite também consultar de forma rápida outras informações/caraterísticas de igual importância.

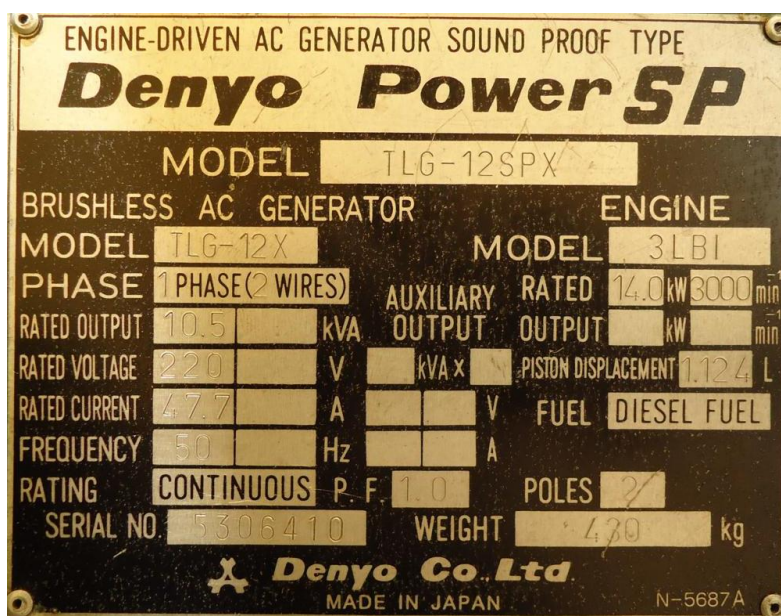


Figura 6: Chapa de características de um grupo gerador [7]

- **Emergency Stand By Power (ESP)**

Este modo de funcionamento, é definido como a potência de emergência em que geralmente são instalados por obrigação legal e a sua função passa por fornecer energia elétrica durante curtos períodos de tempo. Este cenário pode acontecer devido a falhas na rede elétrica em que existem equipamentos que não podem de forma alguma falhar, como é o caso de sistemas de tratamento de informação e/ou equipamentos de suporte básico de vida.

Quando estamos perante estas instalações geralmente existem regulamentos normativos que determinam quais os requisitos mínimos que estes devem cumprir por forma a não falhar em momentos críticos.

Esta solução pode também ser utilizada em instalações em que a interrupção de energia elétrica tenha impactos técnicos e/ou económicos irreversíveis e aí os grupos geradores são usados como redes de “backup” evitando assim que as máquinas, se for caso disso, parem o processo de produção.

Esta classificação não tem associada a si qualquer capacidade de funcionamento em sobrecarga, conforme informação gráfica disponível na Figura 7. Esta classificação é apenas válida em instalações com alimentação proveniente da rede pública e que representam um fator médio de consumo de 80% da carga consumida até 500 horas por ano ou então um fator médio de consumo de 100% num período de 25 horas anuais em relação à energia em “stand-by”. [8] Esta classificação deverá também ser apenas usada em instalações em que os grupos geradores funcionam como reservas da rede normal não sendo permitido o seu funcionamento em paralelo com a rede principal.

Na Figura 7 é possível visualizar o cálculo da energia “stand-by”.

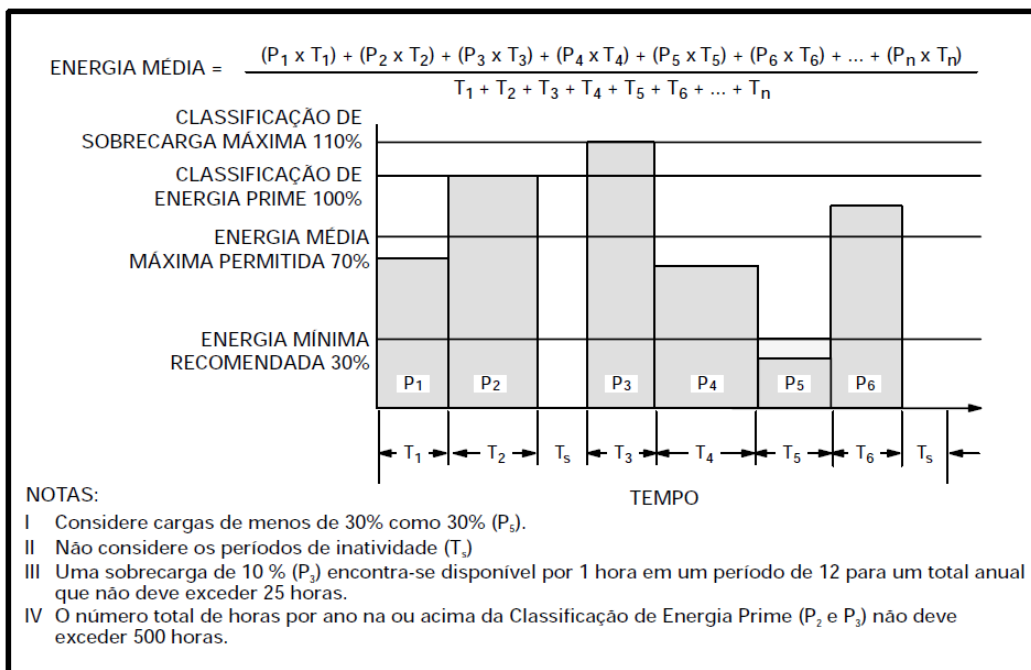


Figura 7: Funcionamento em Emergency Stand By Power (ESP) [8]

- **Prime Power (PRP)**

Os sistemas usados classificados como energia prime podem ser utilizados em duas configurações distintas:

- Fonte principal de energia – A energia da rede elétrica é substituída pelos grupos geradores, tendo no mínimo dois equipamentos em que um deles irá funcionar continuamente com carga variável e o outro deve estar disponível para entrar ao serviço no caso de falha pontual de energia, ou episódios de manutenção. Em situações particulares pode ser também estudado o fornecimento alternado de grupos geradores;
- Durante picos de consumos – Esta solução é usada para suprimir picos de consumos e deste modo reduzir os encargos financeiros. Esta solução requer um controlador que irá ativar o gerador assim que a rede, cargas ligadas, o exija.

Dentro desta categoria podemos ver dois tipos de funcionamento. Funcionamento com energia por tempo ilimitado em que, de acordo com a Figura 8, é exigido que o grupo esteja disponível num número ilimitado de horas para aplicações com carga variável. Nesta situação, de carga variável, o fator de carga médio não deve exceder os 70% da sua classificação de “Energy prime”.

Relativamente a sobrecargas esta é aceite até 10% para um valor máximo de 1 hora por cada 12 horas de operação nunca excedendo o valor total de 25 horas anuais. Se porventura for necessário fazer o paralelo com a rede pública esta circunstância já ocorre com limitações temporais.

A Figura 8 representa o funcionamento por tempo ilimitado.

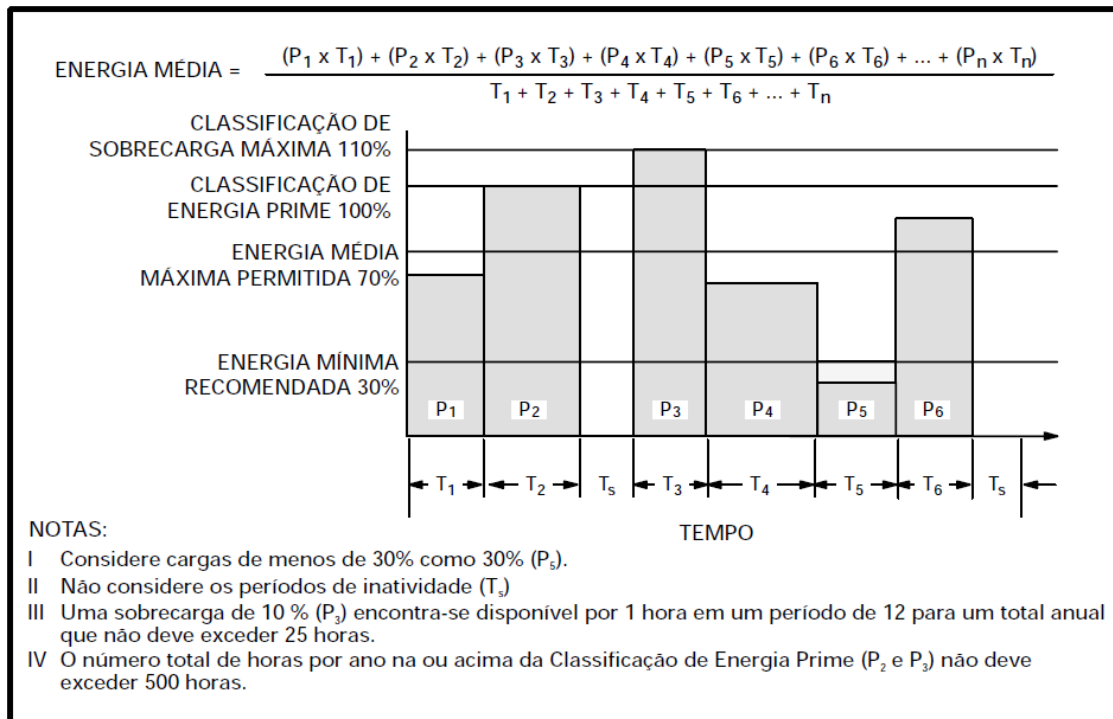


Figura 8: Funcionamento em Prime Power (PRP) [8]

Outro dos tipos de funcionamento, ilustrado na Figura 9, é o funcionamento com tempo limitado em que este garante que o gerador esteja disponível por um tempo limitado em aplicações com carga constante tal como o que pode acontecer em cortes de energia, redução da carga ou outras situações em que seja necessário o paralelo com a rede pública.

Neste caso em específico os grupos podem operar em simultâneo com a rede até um máximo de 750 horas por ano. [8] Existe a salvaguarda de que se o motor for utilizado constantemente para alimentar grandes cargas este valor deverá diminuir.

A Figura 9 ilustra o regime de funcionamento por tempo limitado.

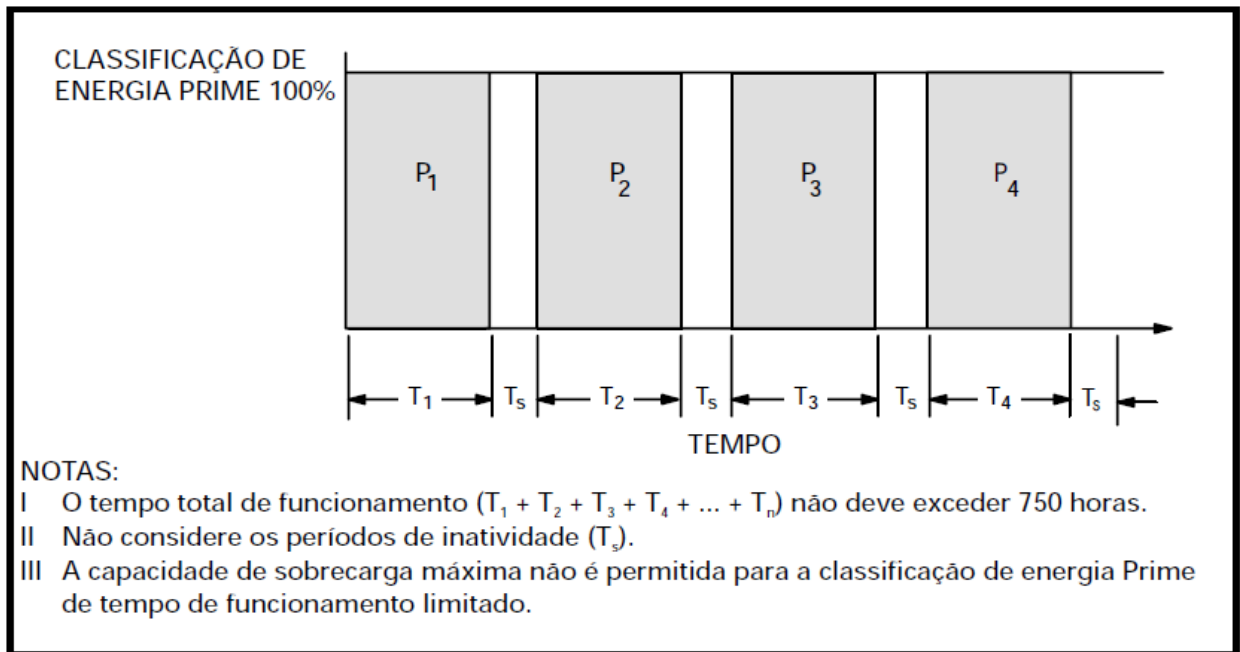


Figura 9: Funcionamento por tempo limitado [8]

- **Continuous power operating (COP)**

Conforme o nome indica, a operação em energia contínua, este sistema utiliza toda a energia disponível no gerador e é geralmente escolhida em situações em que necessitamos da energia para alimentar 100% de uma determinada carga durante um período indeterminado de tempo, conforme é possível ver na Figura 10.

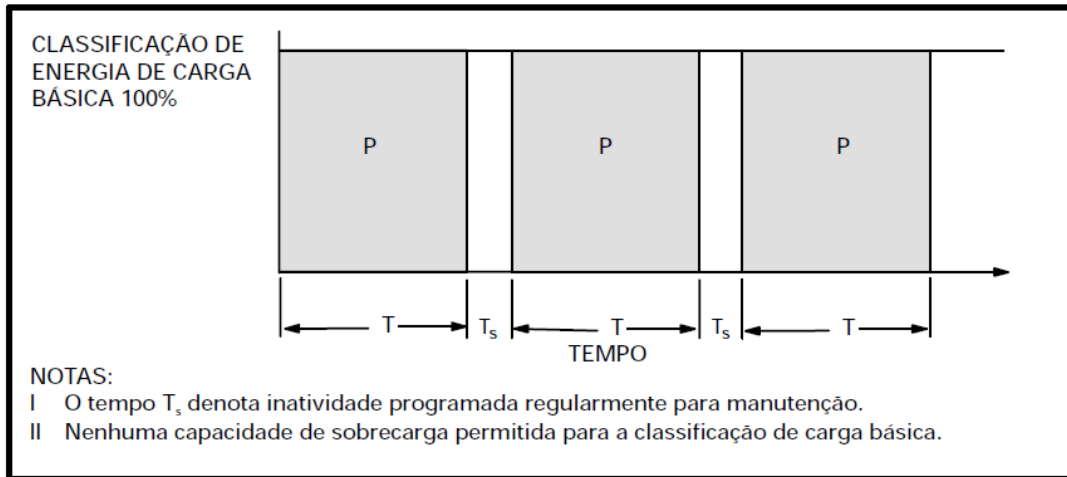


Figura 10: Funcionamento em regime contínuo [8]

2.3.4.4.4. INSTALAÇÃO

Um grupo eletrogéneo pode ser instalado tanto no espaço interior como num espaço exterior o que esta definição durante a fase de projeto acarreta consequências de forma direta.

A decisão do local de instalação irá acarretar custos durante todo o período de exploração do equipamento sendo que este fator é um conjunto de decisões relativamente à localização do grupo, à localização do tanque de combustível e à disposição de condutas de extração de gases.

Existem alguns fatores a ter em conta tais como:

- O local de instalação do grupo;
- O local da instalação do quadro de distribuição;
- Segurança das instalações;
- Medidas contra o derramamento acidental de combustível;
- Facilidade de acesso para manutenção e inspeções.

A opção de o local de instalação ser interior ou exterior necessita de diferentes cuidados tais como o especificado na Tabela 2.

Tabela 2: Fatores a ponderar entre instalação em local externo e local interno

| Local Externo | Local Interno |
|---|---|
| Emissão de ruídos – necessidade de usar barreiras de som; | Espaço com resistência ao fogo de 2 horas, no mínimo; |
| Canópia exterior para proteção do equipamento; | Área de trabalho – tem de existir pelo menos 1 metro livre para a livre circulação de pessoas |
| Temperatura ambiente baixa pode dificultar o arranque; | Sistema de arrefecimento – pode ser através de radiador ou ventiladores |
| Locais com temperaturas muito baixas podem tornar o combustível mais viscoso; | Escape do motor – deverá ser instalada o mais alto possível; |
| Cercas de segurança; | Fácil acesso; |
| Distanciamento de instalações vizinhas. | Cuidados extras nas lajes devido às vibrações do sistema. |

2.3.4.4.5. CONSTITUIÇÃO

Um grupo gerador é fundamentalmente por dois subsistemas básicos. O primeiro sistema é onde está o gerador (junção do motor com o alternador) e o segundo sistema é constituído pelo comutador de transferência de carga.

A Figura 11 mostra de forma sucinta todos os equipamentos que fazem parte de um grupo gerador.

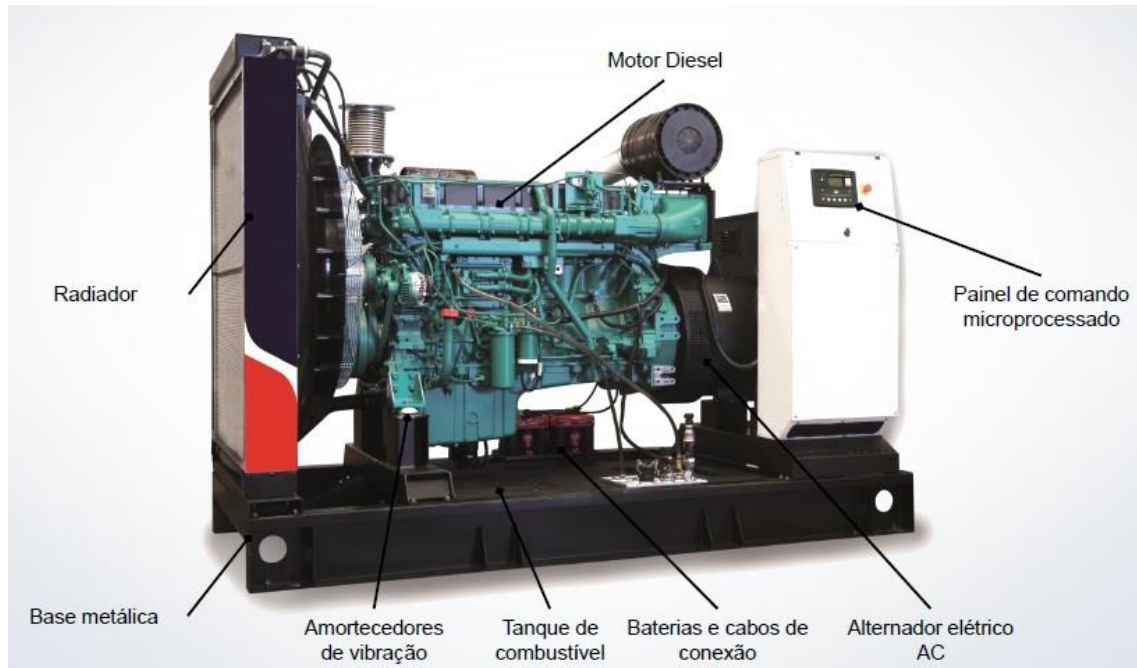


Figura 11: Principais elementos constituintes de um do grupo gerador [9]

- Motor de combustão

O motor de combustão é o responsável por converter a energia proveniente de combustíveis fósseis em energia mecânica através das suas principais partes móveis. Isto acontece assim que se mistura o ar com o combustível e é criada uma explosão interna, denominada de combustão, que por sua vez dá origem a uma pressão responsável por mover os cilindros. Este princípio está graficamente explicado na Figura 12.



Figura 12: Constituição do motor de combustão [10]

Nos geradores a solução mais usual é o motor a quatro tempos e esta definição deriva das etapas que ocorrem no ciclo de combustão sendo estas:

- 1ª etapa – Admissão de ar e combustível;
- 2ª etapa – Compressão da mistura;
- 3ª etapa – Explosão;
- 4ª etapa – Escape.

- Alternador

O alternador é o principal responsável por fornecer energia elétrica através do fornecimento de energia mecânica proveniente do motor. Esta transformação acontece através da Lei de Lenz enunciada da seguinte forma: “*O sentido da corrente elétrica induzida gera um campo magnético oposto ao que lhe deu origem*”. [11]

Os alternadores são considerados máquinas síncronas, sendo isto definido como tendo a rotação diretamente relacionada com o número de polos e a frequência. Este equipamento pode funcionar de forma reversível, quer isto dizer que se estiver acoplado a um motor assim que receber energia mecânica vai produzir energia elétrica, mas se receber energia elétrica pode produzir também energia mecânica, mantendo o mesmo rendimento nos dois processos.

Este equipamento é constituído por partes mecânicas e elétricas. Relativamente à parte mecânica esta tem duas partes, uma fixa que é constituída por toda a estrutura não movel, como a carcaça e os pés de fixação, denominada por estator e uma parte móvel usualmente denominada por rotor, representado na Figura 13.

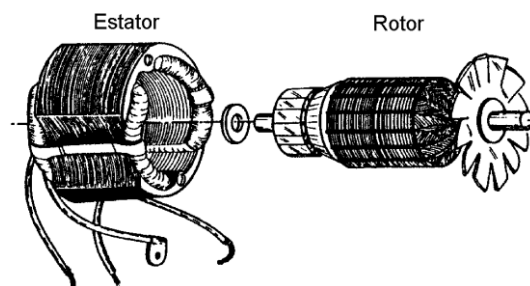


Figura 13: Constituição de alternador [12]

Em relação à parte elétrica esta máquina é constituída por dois componentes, uma primeira parte constituída pelos polos, local este onde é criado o campo magnético e uma segunda parte denominada por induzido que é onde aparece a força eletromotriz.

- **Componentes de controlo**

Estes grupos eletrogéneos funcionam de forma automática, mas para isso requerem automatismos que o permitam ligar e desligar de forma independente e corrigir o valor da tensão e/ou frequência.

Existem vários fatores críticos tais como a pressão do óleo, a temperatura da água, entre outros, que necessitam de ser monitorizados constantemente pois uma deficiência nestes sistemas pode resultar na indisponibilidade dos grupos no momento em que a rede que este alimenta necessite. De modo a prevenir estas falhas são instalados diversos equipamentos de controlo para monitorização do equipamento, consoante os requisitos impostos pelo cliente. As opções disponíveis são:

- **Sensor de pressão do óleo** – Responsável por verificar a pressão do óleo sendo que sempre que esta baixar de um valor pré-estabelecido deverá desligar o grupo.
- **Termostato para a água de refrigeração** – Responsável por analisar a temperatura da água sendo que se esta subir acima de determinados valores deverá desligar o equipamento;
- **Sensor de velocidade** – Responsável por não deixar o equipamento ultrapassar 20% [13], valor usual, da sua rotação nominal, protegendo assim o equipamento.
- **Sensor do nível do líquido de refrigeração** – Aciona um alarme de indicação que é necessário à reposição do sistema de refrigeração;
- **Relé taquimétrico** – Equipamento é usado com a finalidade de desligar o moto quando os motores ultrapassam as quinhentas (500) rotações por minuto (RPM), [13] valor geralmente pré-estabelecido;
- **Sensor de rutura de correia** – Serve para evitar que em caso de rutura da correia, esta desligue a bomba de água, evitando assim que a temperatura do grupo atinga valores indesejáveis;
- **Sensor de frequência** – Responsável por monitorizar a frequência do gerador e da rede permitindo o sincronismo;
- **Painel de instrumentos** – Painel utilizado para acompanhar a performance do motor recorrendo à visualização de vários parâmetros configuráveis.
- **Quadro de comando** – local onde estão instalados todos os componentes relacionados com o equipamento.

2.3.5. SUBESTAÇÕES

2.3.5.1. ENQUADRAMENTO

Uma Subestação (SE) é uma instalação de alta tensão destinada a algum ou alguns dos fins seguintes:

- Transformação da corrente elétrica por um ou mais transformadores estáticos, quando o secundário de um ou mais desses transformadores se destine a alimentar postos de transformação ou outras subestações;
- Transformação da corrente por retificadores, onduladores, conversores ou máquinas conjugadas;
- Compensação do fator de potência por compensadores síncronos ou condensadores.

As subestações são instalações extremamente importantes no Sistema Elétrico de Energia (SEE), uma vez que podem ser aplicadas às diversas vertentes. Na produção são utilizadas subestações elevadoras para estabelecer a ligação entre os equipamentos geradores e as linhas de alta tensão (AT). Na rede de transporte são caracterizadas como subestações abaixadoras de interligação uma vez que interligam as linhas de alta tensão e/ou as de média tensão, diretamente se tiverem o mesmo nível de tensão ou através de transformadores. Na rede de distribuição são também utilizadas SE abaixadoras de distribuição que estabelecem a ligação entre a rede de AT e as linhas de distribuição de MT que irão alimentar os postos de transformação.

2.3.5.2. NÍVEIS DE TENSÃO

Por requisitos de ordem técnica e motivos de ordem económica e de segurança, os sistemas elétricos de energia dispõem, no transporte e distribuição, de redes com vários níveis de tensão.

A norma EN 60038 define os valores de tensão para redes de transporte, distribuição e utilização, em corrente alternada, 50 Hz, tensão nominal superior a 100 V e equipamentos a elas ligados, conforme o indicado na Tabela 3.

Tabela 3: Níveis de tensão normalizados [14]

| Tensão (V) | | | |
|--------------------|-------|---------------------|---------------------------------|
| Nominal | | Mais elevada | Designação (EN 60038) |
| 230 | | - | Baixa Tensão |
| 230/400 | | - | |
| 400/690 | | - | |
| 1000 | | - | |
| Tensão (kV) | | | |
| 3,3 | 3 | 3,6 | Média Tensão |
| 6,6 | 6 | 7,2 | |
| 11 | 10 | 12 | |
| - | (15) | (17,5) | |
| 22 | 20 | 24 | |
| 33 | 30 | 36 | |
| - | 35 | 40,5 | |
| (45) | - | (52) | Alta Tensão e Muito Alta Tensão |
| 66 | 69 | 72,5 | |
| 90 | - | 100 | |
| 110 | 115 | 123 | |
| 132 | 138 | 145 | |
| (150) | (154) | (170) | |
| 220 | 230 | 245 | |
| - | | (300) | |
| - | | 362 | |
| - | | 420 | |
| - | | 550 | |
| - | | 800 | |
| - | | 1 100 | |
| - | | 1 200 | |

Em Portugal os níveis de tensão mais utilizados são:

- **Transporte**

No transporte são utilizadas linhas de muito alta tensão, sendo os níveis de tensão mais utilizados em Portugal: 150, 220 e 400 kV;

- **Distribuição em alta tensão**

Na distribuição em alta tensão o nível de tensão utilizado em Portugal é: 60 kV;

- **Distribuição em média tensão**

Na distribuição em média tensão os níveis de tensão mais utilizados em Portugal: 10, 15 e 30 kV;

O nível de tensão nominal de 6 kV existe pontualmente em redes de distribuição urbanas muito antigas, estando progressivamente a ser substituído pelos níveis de tensão acima referidos

- **Distribuição em baixa tensão**

Na distribuição em baixa tensão o nível de tensão utilizado em Portugal é: 400 V (230/400 V).

O Reino Unido já adotou a tensão nominal 230/400 V, no sentido da harmonização europeia, substituindo o antigo valor de 240/415 V.

Em Moçambique os níveis de tensão mais utilizados são:

- **Transporte**

No transporte são utilizadas linhas de muito alta tensão, sendo os níveis de tensão mais utilizados em Moçambique: 66, 110, 220, 275 e 400 kV.

- **Distribuição em média tensão**

Na rede de distribuição os níveis de tensão mais utilizados em Moçambique são: 11 e 33 kV.

- **Distribuição em baixa tensão**

Na distribuição em baixa tensão o nível de tensão utilizado em Moçambique é: 400 V (230/400 V).

2.3.5.3. TIPOS DE SUBESTAÇÕES

Quanto ao tipo as subestações podem ser classificadas como:

- Exterior – instalação que tem todo o equipamento localizado no exterior do edifício de comando;
- Interior – instalação que tem todo o equipamento instalado no interior de edifícios sendo que estas podem ser:
 - o Blindada convencional – painéis separados por muros que não permitem o acesso;
 - o Blindada compacta – Todo o equipamento, barramento e equipamento de manobra está isolado a SF₆.
- Movei – equipamento montado numa estrutura portátil com o intuito de fazer face a uma urgência. Deverá ser usado como equipamento provisório.

As subestações de média tensão estas são geralmente instaladas no interior. Por vezes há situações em que o espaço é bastante confinado ou com condições atmosféricas bastante agressivas e por isso opta-se por soluções mais compactas tais como equipamentos com invólucro metálico e com o gás isolante a SF₆, obedecendo assim ao que está indicado na norma IEC 62271-203 [15].

As principais vantagens destas subestações de interior são vastas, tais como:

- Maior facilidade na manutenção;
- Menor custo na manutenção preventiva e de rotina;
- Dimensões mais reduzidas (entre 10% a 25%);
- Menor poluição (não usa óleo).

Esta tecnologia, “*Gas Insulated Substations (GIS)*” requer alguns cuidados principalmente nas caixas de fim de cabo (estas devem sempre obedecer ao normativo IEC 62271-209 sendo que quando utilizarem óleo ou gás como o material isolante devem sempre dispor de um sistema de selagem para evitar que este material em contacto com o gás de isolamento, GIS.

Existe também uma outra tecnologia: as subestações híbridas que geralmente são implementadas quando o espaço exterior é reduzido e os equipamentos de MAT/AT (transformadores, seccionadores de linha, seccionadores de terra e disjuntores) são todos instalados num invólucro metálico, e este por sua vez é isolado a SF6. No entanto a ligação entre diversos equipamentos enclausurados acontece por meio aéreo com os barramentos isolados, da mesma forma que acontece nas subestações “*Air Insulated Substation – AIS*”.

Esta última solução tem diversas vantagens tais como:

- Redução de espaço;
- Redução de investimento de construção civil;
- Redução do tempo de montagem em obra.

Existem também ocasiões em que a subestação tem de ser enterrada, esta solução é predominante nos grandes centros urbanos pois o espaço exterior para a instalação é bastante reduzido. Tendo em conta a localização onde normalmente estas subestações se encontram, necessitam de cuidados especiais tais como:

- O equipamento tem de ser resistente ao fogo e não poluente;
- Tem de ser instalado um sistema de Aquecimento, ventilação e Ar Condicionado (AVAC);
- Tem de ser instalado um sistema de Sistema Automático de Detecção de Incêndios (SADI).

2.3.5.4. CONSTITUIÇÃO DAS SUBESTAÇÕES

As subestações são constituídas por:

- Circuitos principais (potência) – circuitos geralmente colocados no exterior, constituindo o denominado “parque de linhas” reunindo-se nesse local a aparelhagem e as ligações necessárias para assegurar a interligação das diferentes linhas segundo um determinado esquema;
- Circuitos secundários – circuitos destinados a assegurar o controlo e o bom funcionamento dos circuitos principais.
- Barramento - Sistema de barras coletoras e repartidoras que assegura a conjugação das diversas chegadas de energia e das várias linhas de saída pelas quais a energia é veiculada para outras instalações.

- **Circuitos principais**

Nas subestações existe normalmente sempre o mesmo tipo de equipamento composto por equipamentos de proteção (disjuntores), isolamento (seccionadores), medida (transformadores de corrente e/ou tensão) e descarregadores de sobre tensões. Os painéis normalmente são os seguintes:

- Painel de linha – assegura a ligação entre o secundário do transformador de potência (TP) e o barramento de média, alta ou muito alta tensão;
- Painel de transformador - assegura a ligação entre o secundário do TP e o barramento MT, AT ou MAT;
- Painel de inter-barras - assegura a ligação de dois barramentos entre si;
- Painel da bateria de condensadores - assegura a ligação entre o barramento MT e a bateria de condensadores;
- Painel reactância de neutro e transformador de serviços auxiliares (TSA) - Assegura a ligação entre o barramento MT e o TSA e a reactância de neutro;
- Painel de potencial de barras - Assegura a ligação entre o barramento MT e os TP do barramento.

A disposição deste equipamento deverá sempre depender da configuração da SE e do tipo de barramento instalado.

Os painéis previamente descritos são equipados com os seguintes equipamentos de média tensão:

- Interruptores;
- Disjuntores;
- Seccionadores de linha;
- Seccionadores de terra;
- Transformadores de medida;
- Contactores;
- Detetores capacitivos.

Os interruptores são sempre considerados equipamentos de corte e de manobra que tem capacidade para retirar ou colocar o painel em serviço. É este equipamento que tem capacidade de extinguir o arco elétrico numa câmara construída para o efeito com isolamento a ar ou a SF6. Este equipamento pode ser manobrado de forma manual ou de forma motorizada. Este equipamento tem intensidades de corrente estipuladas entre os 200A, 400A, 630 A.

No caso dos interruptores associados a fusíveis, para fazer a função de proteção, estes são responsáveis por fazer a proteção dos cabos dos transformadores (com potência até 630 kVA) recorrendo a bobines de disparo que quando acionadas devem permitir a atuação da proteção intrínseca do transformador.

Os fusíveis devem ser equipados com um percutor, representado na Figura 14, sendo que quando este é percorrido por um defeito o percutor é acionado e irá ser o responsável direto por provocar a abertura do interruptor.



Figura 14: Fusíveis de média tensão [16]

O dimensionamento dos calibres de fusíveis deve ocorrer de acordo com os valores normativos presentes nas normas IEC que podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4: Dimensionamento de fusíveis [15]

| Potência nominal do Posto de transformação (kVA) | Tensão de serviço (kV) | | | | |
|--|---|-----------|-----------|----------|-----------|
| | 6 – 7.2 | 10 - 12 | 15 – 17.5 | 20 – 24 | 30 – 36 |
| | Intensidade estipulada dos fusíveis (A) | | | | |
| 50 | 10 – 16 | 10 | 6.3 - 10 | 6.3 | 4 – 6.3 |
| 100 | 16 – 31.5 | 16 – 25 | 16 | 10 | 6.3 – 10 |
| 125 | 20 – 40 | 16 – 31.5 | 20 | 10 – 16 | 6.3 – 10 |
| 160 | 31.5 – 50 | 20 – 31.5 | 20 – 25 | 16 – 20 | 10 – 16 |
| 200 | 31.5 – 63 | 25 – 40 | 20 – 3.15 | 16 – 20 | 10 – 16 |
| 250 | 40 – 80 | 25 – 40 | 31.5 | 16 – 25 | 10 – 20 |
| 500 | 80 – 125 | 50 – 80 | 40 – 80 | 25 – 50 | 20 – 31.5 |
| 630 | 100 - 160 | 63 – 100 | 63 – 100 | 31.5– 63 | 20 – 40 |
| 800 | 125 –160 | 80 – 125 | 63 – 100 | 40 – 63 | 25 – 50 |
| 1000 | 160 – 200 | 100 - 160 | 100 | 50 - 80 | 31.5 – 50 |
| 1250 | 250 | 160 | 125 | 80 | 50 |

Em relação aos disjuntores de média tensão, ilustrado na Figura 15, estes diferem em alguns aspetos, no entanto a função é igual aos disjuntores de alta tensão. O corte elétrico neste aparelho é realizado por SF_6 ou então em camaras de vácuo, sendo que estes últimos têm aumentado a sua quota de mercado devido a questões ambientais. Existe ainda uma tecnologia mais antiga, que são os disjuntores a óleo em que têm os seus contactos submersos no óleo e será aí que o arco elétrico será extinto, assim como o isolamento das partes metálicas.



Figura 15: Disjuntor de média tensão [17]

Para os disjuntores de MT, e dependendo da tensão e do fabricante a sua gama de valores é a seguinte:

- Corrente nominal:
 - 400 A;
 - 630 A;
 - 800 A;
 - 1250 A.

- Poder de corte:
 - 12,5 kA;
 - 16 kA;
 - 20 kA;
 - 25 kA.

Quando se fala em seccionadores de média tensão estes permitem apenas manobras sem carga, sendo que não têm poder de corte e suas intensidades estipuladas estão compreendidas entre os 400 A, 630 A e os 1250 A.

- **Circuitos secundários**

Os circuitos secundários permitem efetuar as manobras e/ou modificar o comportamento da aparelhagem sobre a estrutura da rede de acordo com as perturbações surgidas ou com as condições de exploração da rede. Para isso conta com os seguintes equipamentos:

- Comandos e sinalizações da posição da aparelhagem - equipamento próprio para assegurar a qualidade e a segurança da exploração;
- Equipamento de controlo - equipamento que permite a operação, controlo e comando das instalações;
- Aparelhagem de medida e contagem - equipamento destinado a fornecer permanentemente informações acerca das grandezas características, da rede em causa;
- Aparelhagem de proteção - equipamento que se destina a garantir a proteção dos diversos componentes das instalações;
- Sistema auxiliar de corrente alternada (SACA) – equipamento destinado a alimentar os órgãos de controlo e manobra que funcionam a CA, por exemplo:
 - o Iluminação e climatização;
 - o Regulação em carga dos transformadores;
 - o Compressores de ar, bombas de óleo e de água;
 - o Retificadores (carregadores de baterias de CC);
 - o Conversores estáticos que alimentam impressoras e terminais.
- Sistema auxiliar de corrente contínua (SACC) - destina-se à alimentação de todos os circuitos que necessitam de alimentação de forma ininterrupta. Normalmente estes circuitos estão destinados a todos os equipamentos dos sistemas de comando e telecomando, controlo e telecontrolo, proteção e telecomunicação;

- Circuitos auxiliares de medida: Têm por função dar indicação das grandezas elétricas em jogo do circuito principal:
 - Correntes;
 - Tensões;
 - Potências;
 - Energia.

- **Barramento**

O barramento de uma subestação pode tomar diversas configurações tais como:

- Barramento simples;
- Duplo barramento, com ou sem inter-barras;
- Duplo barramento com inter-barras e seccionadores de bypass;
- Disjuntor e meio;
- Triplo barramento.

Alguns dos fatores que levam à escolha do barramento é a simplicidade de exploração, a facilidade de substituição de qualquer elemento, a características dos transformadores e número dos mesmos, a importância da instalação dentro da rede em que se integra, as características das linhas de chegada e/ou saída e número das mesmas, a eliminação de defeitos, os custos de instalação e de exploração e a possibilidade de ampliação.

Por vezes é possível verificar-se numa mesma instalação (subestação) diversas tipologias sendo cada uma delas a mais adequada a cada nível de tensão.

Em instalações industriais próprias e não pertencentes à rede pública o mais comum é usar a configuração de “barramento simples”, presente na Figura 16, sendo que nesta situação a continuidade de serviço nem sempre é um fator decisivo. Por sua vez a configuração “duplo barramento” é utilizado em instalações onde se pretende que haja garantia de continuidade de serviço, logo, com a instalação de um painel de inter-barras é possível garantir o normal funcionamento em caso de avaria de algum equipamento, pois o barramento que irá ficar em serviço será responsável por continuar a garantir o fornecimento de energia à restante instalação.

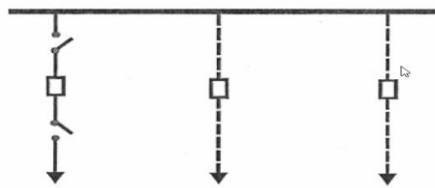


Figura 16: Barramento simples [18]

Com a solução presente na Figura 17, duplo barramento com inter-barras, é possível efetuar-se a mudança de barramento sem cortes de energia tendo também a vantagem de que é possível fazer uma melhor distribuição de cargas (painéis) de modo a que o impacto, em caso de necessidade de intervenção, seja menor. Abaixo podemos ver um esquema unifilar representativo dessa mesma tipologia.

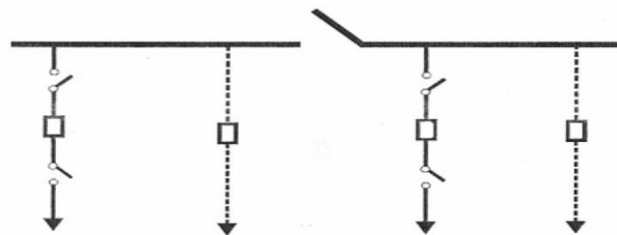


Figura 17: Duplo barramento com inter-barras [18]

Em instalações que requerem uma maior fiabilidade da rede e uma redução de custos, principalmente nas manutenções, normalmente usa-se a configuração de “disjuntor e meio” embora esta configuração necessite de um estudo de proteções consideravelmente mais complexo.

Sempre que é impossível deixar um painel momentaneamente fora de serviço a solução a adotar passa por usar a solução de “triplo barramento”. Esta solução costuma ser utilizada nas subestações de muito alta tensão, no entanto só permite colocar um painel em manutenção de cada vez.

2.3.5.5. NORMALIZAÇÃO

Todo o equipamento de média tensão segue diversas normas tais como:

- IEC 62271-102: 2001 – Seccionadores de corrente alternada e seccionadores de terra;
- IEC 60953: 1990 – Recomendações para turbinas a vapor – Regras para receção provisória;
- IEC 60255: 2009 - Aparelhos de medida e de proteção;
- IEC 62271: 2008 – Aparelhos de manobra de controlo de alta tensão;
- IEC 62271: 2011 – Contactores de corrente alternada e contactores de arranque motor;
- IEC 62271: 2011 – Interruptores para tensões acima de 1kV e até, incluindo, 52kV;
- IEC 60282: 1968 – Fusíveis de alta tensão;
- IEC 60529: 1989 – Índices de proteção mecânica (IP);
- IEC 62262: 2002 – Índices de proteção contra impactos externos (IK);
- IEC 61000: 2020 – Compatibilidade eletromagnética.

2.3.6. POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO E SECCIONAMENTO (PTS)

2.3.6.1. ENQUADRAMENTO

Embora seja o termo “Posto de transformação” utilizado mais frequentemente, dependendo do tipo de instalação esta poderá enquadrar um Posto de Transformação (PT), um Posto de Seccionamento (PS) ou um Posto de Transformação e Seccionamento.

O PT é uma instalação destinada à transformação de corrente elétrica por intermédio de um ou mais transformadores estáticos. O PS é uma instalada que tem como finalidade a operação e o seccionamento das linhas elétricas. O PTS é por sua vez uma instalação que conjuga as funções de posto de transformação e de posto de seccionamento.

Os postos de transformação estão inseridos nas redes próximos dos centros de cargas. Estes centros de cargas são caracterizados por diferentes áreas geográficas, com densidade populacional distinta e com a atividade empresarial, económica e social também distinta.

Pelos motivos acima descritos é justificável a diversidade de soluções para os postos de transformação que permitam a seleção do equipamento em função das características do local e das instalações que este irá servir.

2.3.6.2. CLASSIFICAÇÃO DE PTS

Os postos de transformação adequados a cada instalação podem ser classificados quanto:

- Ao serviço prestado;
- À função;
- À instalação;
- Ao tipo de alimentação;
- Ao modo de alimentação;
- Ao modo de exploração.

De seguida são apresentados cada um dos aspetos de classificação do posto de transformação e seccionamento:

- **Classificação quanto ao serviço prestado**

Relativamente ao tipo de serviço prestado os postos de transformação e seccionamento dividem-se em:

- Postos de transformação público – Posto de transformação de serviço público que é propriedade de um distribuidor vinculado;
- Postos de transformação de cliente – Posto de transformação de serviço particular, propriedade de um cliente.

- **Classificação quanto à função desempenhada**

Quanto à função desempenhada por este equipamento é possível distinguir:

- Posto de transformação - instalação destinada à transformação de corrente elétrica por intermédio de um ou mais transformadores estáticos;
- Posto de transformação e seccionamento - instalação destinada à transformação de corrente elétrica por intermédio de um ou mais transformadores estáticos e a operar o seccionamento das linhas elétricas.

- **Classificação quanto à instalação**

No que concerne à instalação os postos de transformação podem ser classificados como:

- De interior – equipamento com construção que seja suficientemente capaz de proteger contra as intempéries e depósitos excessivo de poeiras, podendo estes ser:
 - o Em edifício próprio;
 - Cabine alta;
 - Cabine baixa;
 - Construção em alvenaria no local;
 - Construção pré-fabricada.
 - o Betão;
 - o Involucro metálico.
 - Subterrâneos.
 - o Em edifício para outros usos;
- De exterior – equipamento capaz de ser instalado ao ar livre e que geralmente não possui proteção contra intempéries e depósitos de poeiras.
 - o Postos de transformação aéreos.

- **Classificação quanto ao tipo de alimentação**

Quanto ao tipo de alimentação os postos de transformação podem ser alimentados por:

- Linhas aéreas – linha elétrica que é constituída por condutores a uma altura conveniente do solo;
- Linha subterrânea – linha elétrica constituída por cabos isolados enterrada no solo ou instalada em galerias, em tuneis ou em caleiras;
- Rede mista – rede que é constituída por linhas aéreas e por linhas subterrâneas.

- **Classificação quanto ao modo de alimentação**

Relativamente ao modo de alimentação, os postos de transformação serão do tipo:

- Rede aberta - rede constituída a partir de um ponto de alimentação por várias artérias que se vão ramificando sem se encontrarem em outro ponto comum. Esta solução tem um baixo índice de fiabilidade e um menor custo;
- Rede fechada – rede que possui mais do que um ponto de alimentação podendo por isso ser formada por um anel ou por várias malhas;

- **Classificação quanto ao modo de exploração**

O modo de exploração dos postos de transformação podem ser:

- Manual;
- Automática.

- **Classificação quanto ao tipo de equipamento de média tensão**

No que concerne ao tipo de aparelhagem de média tensão os postos de transformação podem ser equipados com:

- Aparelhagem de corte ao ar;
- Quadros metálicos pré-fabricados
 - o Quadros modulares;
 - o Quadros modulares compactos.

Com os avanços tecnológicos verificou-se que a aparelhagem de corte e proteção tradicional, solução de instalação e aparelhagem de corte ao ar, terá tendência a ser progressivamente substituída por soluções de quadros metálicos pré-fabricados equipados com aparelhagem de corte em hexafluoreto de enxofre (SF₆) ou em vácuo.

A utilização dos quadros pré-fabricados metálicos é cada vez mais uma realidade quer nos postos de transformação públicos como nos postos de transformação privados tendo por este motivo alterado de forma significativa a conceção dos postos de transformação.

2.3.6.3. EQUIPAMENTO

2.3.6.3.1. QUADROS DE MÉDIA TENSÃO

Todos os quadros de média tensão, exemplo representado na Figura 18, são constituídos por celas modulares com tamanhos normalizados tendo em cada painel normalmente os seguintes compartimentos.

- Barramento;
- Disjuntor;
- Cabos;
- Compartimento de baixa tensão.



Figura 18: Quadro de média tensão [19]

Vulgarmente as celas contém diversos equipamentos como parte constituinte do seu esqueleto sendo estes:

- Seccionadores e disjuntores;
- Seccionadores de terra;
- Transformadores de medida e proteção;
- Detetores capacitivos.

No caso dos interruptores e dos disjuntores estes dispõem de um circuito de comando que irá ser sempre responsável pela comutação do seu estado visto que ao contrário do que acontece nos disjuntores de baixa tensão estes não trabalham de forma autónoma (sem circuitos de comando).

Os quadros modulares de média tensão também apresentam valores normalizados em diversos campos tais como tensão, corrente, corrente de curto-circuito e índices de proteção sendo estes os seguintes:

- **Tensão estipulada:**
 - 12kV;
 - 17.5kV;
 - 24 kV;
 - 36 kV;
 - 40,5 kV.

- **Intensidade estipulada:**
 - 400 A;
 - 630 A;
 - 1250 A;
 - 2500 A.

- **Corrente de curto circuito (3s):**
 - 12,5 kA;
 - 16 kA;
 - 20 kA;
 - 25 kA.

- **Índice de proteção mínimo:**
 - IP 3X;

2.3.6.3.2. TIPOS DE QUADROS DE MÉDIA TENSÃO

- *Metal enclosed*

Os quadros do tipo “*metal enclosed*”, ilustrados na Figura 19, são constituídos totalmente por celas modulares sendo a esta a solução mais económica e normalmente a que é usada nas soluções comuns. Estes quadros têm por sua vez celas tipo, modelos previamente desenhados por forma a uniformizar a instalação, tais como:

- Interruptores (função de corte);
- Interruptores com fusíveis (função de corte de proteção);
- Seccionadores e disjuntores fixos (função de corte e proteção).



Figura 19: Quadro de média tensão do tipo "Metal enclosed" [19]

- ***Metal Clad***

No que toca à tecnologia “*metal clad*” estes são semelhantes ao anterior, no entanto têm os disjuntores extraíveis que reforçam a função de corte e proteção quando se encontram extraídos, tendo também a vantagem de serem mais práticos na questão da manutenção, e estão representados na Figura 20.

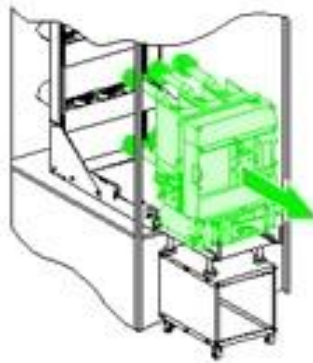


Figura 20: Quadro de média tensão do tipo "Metal clad" [20]

Esta solução é a mais flexível, mais robusta e mais segura uma vez que é permitido retirar o disjuntor para fora do painel e toda a sua construção é feita tendo em conta “*arcproof*”. Este disjuntor tem três posições:

- Inserido;
- Extraído;
- Teste.

- **Ring Main Unit – Bloco Rede Anel**

Os quadros vulgarmente utilizados e denominados como bloco rede anel (BRA), ilustrados na Figura 21, são quadros bastante compactos e totalmente isolados a SF_6 para tensões até aos 24 kV e que facilmente pode ser expansível numa fase posterior. A sua utilização é predominante em postos de transformação (públicos ou privados) que permite fazer uma otimização no espaço necessário para a sua instalação.



Figura 21: Quadro de média tensão do tipo "Ring Main Unit" [21]

2.3.6.3.3. TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Os transformadores, de uma forma resumida, são usados para diminuir o valor da tensão entre os dois lados dos terminais deste, geralmente entre o lado da rede de transporte e o lado da rede de distribuição, mas, o transformador, como máquina reversível também poderá ser usado para aumentar a tensão, sendo esta função usada frequentemente em subestações de centrais elétricas que elevam de, normalmente, MT para MAT ou AT.

Os transformadores deverão ser classificados quanto ao tipo de dielétrico utilizado podendo ser do seguinte tipo, e ilustrados na Figura 22:

- Transformadores a óleo com depósito de expansão ou conservador (1);
- Transformadores a óleo hermeticamente selado (2);
- Transformadores secos (3).



(1)



(2)



(3)

Figura 22: Tipos de transformadores [22]

Todos os transformadores a óleo têm sido descontinuados sendo que apesar de ainda estarem a ser utilizados em PTS de cliente e privados para potências sempre superiores a 3 MVA estão a ser substituídos e os novos já são transformadores secos uma vez que estes têm algumas vantagens como o facto de não usar óleo, logo, conseqüentemente apresentam um menor risco de incêndio e menor poluição. Mas também têm desvantagens como o facto, devido ao seu IP 00, de não poder ser instalado no exterior sem uma canópia.

Nos locais com grande afluência de público como centros comerciais, estádios e hospitais é de boa prática e comum o uso de transformadores secos, no entanto, o regulamento técnico de segurança contra incêndios em nada obriga o seu uso ficando a cargo do projetista.

No entanto, e apesar de não ser o modelo mais usado os transformadores hermeticamente fechados possuem uma cuba em que a principal função é a dissipação de calor durante a circulação do óleo.

Os transformadores têm geralmente os seguintes acessórios:

- Chapa de características;
- Comutador de regulação de tensão em vazio;
- Proteções intrínsecas;
- Rodas;
- Terminais de terra.

No caso das proteções intrínsecas estas variam de acordo com o transformador e atuam a dois níveis, o primeiro apenas um alarme e o segundo a abertura do equipamento de proteção, sendo estas proteções, no caso de transformadores com conservador, um analisador de gás. No caso de transformadores herméticos um DGPT2 que analisa a temperatura e por fim, se forem transformadores secos utilizam sondas PT100 ou PTC.

- **Grupos de ligações**

Este equipamento, os transformadores, têm no lado primário e no lado secundário três enrolamentos, um por cada fase perfazendo um total de seis, e estão ligados entre si de formas diferentes e cada diferente configuração altera o seu funcionamento.

De uma forma genérica o primeiro enrolamento, denominado de primário, deverá ser considerado o que está do lado da fonte enquanto o enrolamento secundário deverá ser o responsável pela alimentação da carga. Estas ligações, entre enrolamentos, normalmente são em estrela (Y:y) ou em triângulo (D:d) em que a letra maiúscula representa o maior nível de tensão e a letra minúscula o menor nível de tensão. Se necessário, no caso do neutro estar acessível, pode-se adicionar o N ou n dependendo do nível de tensão.

Outra das características do transformador é a relação de transformação, representada pela letra “a” que é relação entre o número de espiras, e não só, pode também ser obtida através da relação de tensão e da corrente, dos dois enrolamentos tendo em conta que:

- N1 – número de espiras do lado primário;
- N2 - número de espiras do lado secundário.

$$a = \frac{N1}{N2} = \frac{U1}{U2} = \frac{I2}{I1} \quad (1)$$

O grupo das ligações do transformador em que é definido o desfasamento entre as duas tensões do lado primário e secundário pode ser observado na Figura 23.

QUADRO DE LIGAÇÕES NORMAIS

| DESFASE (ang. de Bt. en Retraso) | DESIGNACION | | DIAG. VECTORIAL | | ESQUEMA CONEXIONES | | |
|----------------------------------|-------------|-------|-----------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|
| | n' | L.E.C | V.D.E | ALTA TENSION | BAJA TENSION | ALTA TENSION | BAJA TENSION |
| 0° | | Dd 0 | A1 | | | | |
| | | Yy 0 | A2 | | | | |
| | | Dz 0 | A3 | | | | |
| 180° | | Dd 6 | B1 | | | | |
| | | Yy 6 | B2 | | | | |
| | | Dz 6 | B3 | | | | |
| 150° | | Dy 5 | C1 | | | | |
| | | Yd 5 | C2 | | | | |
| | | Yz 5 | C3 | | | | |
| -30° | | Dy 11 | D1 | | | | |
| | | Yd 11 | D2 | | | | |
| | | Yz 11 | D3 | | | | |

Figura 23: Grupo de ligações transformadores [23]

Na rede de distribuição não existem muitas configurações possíveis sendo apenas provável concretizar duas configurações, a Dyn11 e a Dyn5 em que a última é obrigatória se forem PTS de serviço público.

- Potência nominal

Relativamente às potências, todas estas estão normalizadas e os transformadores MT/BT devem seguir uma das seguintes potências: 25, 50, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 e 2500 kVA [24];

Nas redes de distribuição é invulgar ver transformadores com potências superiores aos 1250 kVA e se atentarmos para o exemplo de Portugal, a potência nunca ultrapassa os 630 kVA. No entanto, por vezes os consumidores obrigam à prática de uma potência superior e nesses casos geralmente opta-se por uma solução com dois transformadores em paralelo, ficando assim também salvaguardada a instalação no caso de defeito pois o outro transformador conseguirá garantir a continuidade de serviço.

- **Perdas dos transformadores**

Este tipo de máquinas, os transformadores, apresentam dois tipos de perdas:

- Perdas em vazio – perdas magnéticas;
- Perdas no cobre – Perdas por efeito de joule.

E as perdas totais são obtidas pelo somatório das duas variáveis anteriores obtendo-se a seguinte relação:

$$\textit{Perdas totais} = \textit{Perdas em vazio} + \textit{Perdas no cobre} \quad (2)$$

As perdas totais são influenciadas por diversos fatores tais como a tensão de serviço e a potência do mesmo, sendo que é expectável que este valor esteja descrito na chapa de características do fabricante, conforme Figura 24. A EDP, de acordo com a DMA – C52 – 125/N, tem como requisito que todos os PTS de serviço público tenham perdas extras reduzidas.

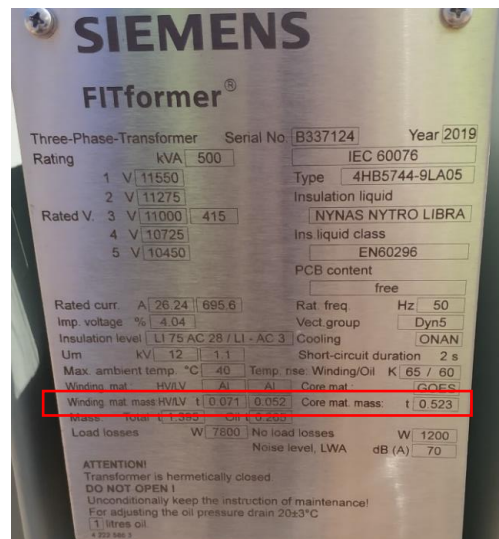


Figura 24: Chapa de características de um transformador – Perdas

- Tensão de curto circuito

A tensão de curto circuito é definida como a tensão que ao ser aplicada num dos enrolamentos com o outro terminal em curto-circuito este irá fazer aparecer uma corrente nominal no primeiro enrolamento. Este valor é apresentado em percentagem e tem que estar obrigatoriamente representada na chapa de características do transformador.

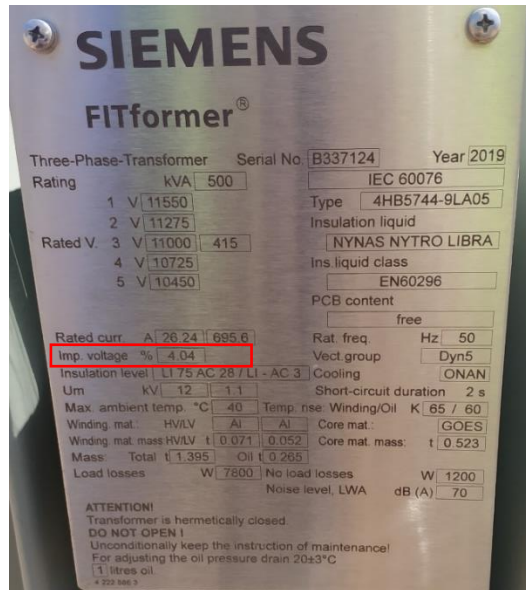


Figura 25: Chapa de características de um transformador - Tensão de curto-circuito

- **Regulação de tensão**

De uma forma geral as redes podem sofrer variações de tensão que são resultantes de diversos fatores tais como a carga, a produção e a própria configuração da rede e por essa razão é necessário proceder-se à regulação do nível de tensão de modo a que nos diversos pontos da rede a tensão esteja definida entre os parâmetros normais. Esta regulação deverá ser sempre feita com o transformador em vazio.

Esta variação da tensão deverá ser feita no enrolamento primário, lado de maior tensão, e para esse efeito são usadas tomadas ligadas em vários pontos do enrolamento. Naturalmente o ponto central corresponde à tensão de valor nominal e os restantes pontos correspondem a variações, em geral de 2.5%. Este equipamento deverá estar instalado no exterior do transformador recorrendo a comutadores de tomadas, representado na Figura 26 em que este equipamento apenas pode ser manobrado manualmente e em vazio.



Figura 26: Comutador de tomada [25]

Os transformadores de forma *standard* têm duas tomadas acima do valor nominal e mais duas abaixo do valor nominal, expressão essa escrita da seguinte forma:

$$\textit{Tensão primária} \pm 2 \times 2.5 / \textit{Tensão Secundária} \quad (3)$$

Nas redes de distribuição não é usual serem observadas estas configurações, no entanto deverá ser sempre realizado um primeiro ajuste quer às redes quer aos consumidores finais.

- **Refrigeração dos transformadores**

O calor emitido pelos transformadores necessita de ser evacuado de forma a que este não entre em sobreaquecimento provocando assim danos. Como tal, foram sendo desenvolvidos vários processos que deverão ser selecionados tendo em consideração a potência, a tensão, a carga e ainda as condições onde estes serão instalados. Estes processos de refrigeração são:

- Arrefecimento a ar;
- Arrefecimento a óleo;
- Arrefecimento híbrido.

O arrefecimento híbrido é geralmente adotado nas subestações MAT/MAT ou MAT/AT de modo a que em cargas mais elevadas, os ventiladores, posicionados próximos dos radiadores forcem a circulação de ar enquanto em cargas mais pequenas os radiadores cumprem a sua função. A ativação, ou não, destes ventiladores é controlada através da temperatura interna do óleo sendo que quanto maior é a carga maior será a temperatura do óleo.

Na chapa de características dos transformadores é recorrente vermos dois valores para a potência nominal. Os fabricantes definem um valor de potência para a ventilação natural e uma outra para a ventilação forçada.

A refrigeração dos transformadores pode ser classificada de acordo com vários símbolos de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5: Classificação da refrigeração dos transformadores [15]

| Refrigeração: | |
|-----------------------------------|---|
| Óleo mineral | O |
| Ar | A |
| Água | W |
| SF6 | G |
| Isolante sólido | S |
| Circulação: | |
| Natural | N |
| Forçada | F |
| Forçada com distribuição dirigida | D |

Este símbolo é fulcral para a designação deste equipamento sendo que este pode tomar as seguintes configurações [26]:

- ONAN – Óleo Natural/Ar Natural – Transformador em banho de óleo com circulação natural e circulação natural do ar;
- OFAF - Óleo Forçado/Ar Forçado – Transformador em banho de óleo com circulação forçada e refrigerada a ar com ventilação forçada também;
- OFAN/OFAF – transformadores com circulação forçada de óleo e ventilação forçada ou natural, variando consoante a carga imposta.

Se analisarmos as redes de distribuição os modelos mais frequentes são os ONAN nos transformadores herméticos e AN nos transformadores a seco.

- **Defeitos nos transformadores**

Os transformadores são preparados para terem um tempo de vida útil bastante extenso, no entanto podem sempre ser observados defeitos, ainda que não estejam previstos. Estes geralmente têm três locais predominantes [27]:

- Núcleo – são considerados os defeitos mais raros;
- Enrolamentos;
- Óleo.

Os defeitos no óleo, nomeadamente o envelhecimento precoce, são usualmente provocadas por sobreaquecimentos resultantes das variações das cargas e resultam em:

- Formação de gases;
- Degradação do papel de isolamento e conseqüentemente contaminação do óleo;
- Fugas na cuba do transformador.

Quando se refere a defeitos no núcleo, e salvaguardando que estes são os mais raros, estes geralmente acontecem por curtos circuitos nas estruturas metálicas que provém de materiais condutores mal isolados que vão provocando sobreaquecimentos.

Já os defeitos mais comuns são os defeitos que acontecem nos enrolamentos que podem ser divididos em dois grupos:

- Curto circuitos entre espiras do mesmo enrolamento;
- Curto circuito entre espiras de enrolamentos diferentes.

Estes defeitos são provocados pela degradação do isolamento dos enrolamentos. Degradação esta que acontece devido a acontecimentos consecutivos de sobrecarga em que diferem dos valores que estão previamente definidos.

A carga do transformador deverá ser sempre avaliada de acordo com a temperatura do óleo sendo que esta deverá rondar os 65°C em que o ponto mais quente admissível dos enrolamentos é 80°C, à plena carga.

2.3.6.3.4. QUADROS GERAIS DE BAIXA TENSÃO

Os quadros gerais de baixa tensão, QGBT, também são parte integrante dos PTS e sempre que falamos na utilização destes em postos de transformação serviço público estes deverão obedecer a regulamentos especificados pela DGEG, denominados como projetos-tipo, sendo que o seu invólucro para Portugal terá sempre de ser superior a IP45 e IK10 [24].

Se analisarmos os PTS de cabine e os pré-fabricados os QGBT são construídos por perfis em chapa, com tratamento corrosivo e é nesse perfil em chapa que serão instalados o interruptor de corte geral de entrada e os diversos equipamentos de proteção para cada circuito.

Se os PTS forem equipados com dois transformadores deverão também ser equipados com dois QGBTs, um para cada transformador correspondente.

Se estivermos a falar de PTS do cliente ou privado este já pode assumir configurações diferentes e já deverá ser protegido, com IP 40 e IK 08 ou superior. Para tal geralmente usam-se painéis com portas de espessura mínima de 1.5 mm (preferencialmente de material isolante auto – extingüível e não propagador da chama – de acordo com a EN 60695-2-1).

Neste último tipo de QBGT, representado na Figura 27 a proteção dos circuitos é feita por disjuntores e/ou equipamentos de proteção diferencial e ainda poderá acoplar equipamentos de descarregadores de sobre tensão.



Figura 27: Quadro geral de baixa tensão [28]

2.3.6.4. ENCRAVAMENTOS

Os postos de transformação deverão ser dotados de encravamentos mecânicos, elétricos ou eletromecânicos de forma a evitar a realização de manobras erradas impossibilitando assim a exposição da vida humana a riscos.

Algumas das manobras que não poderão ser realizadas são:

- Manobrar seccionadores em carga;
- Ligação á terra do equipamento de forma indevida.

Existem, portanto, vários encravamentos normalizados que são descritos na tabela abaixo:

Tabela 6: Encravamentos [29]

| Painéis de saída | |
|------------------|--|
| A1 | Impedir o fecho do seccionador de terra nas celas de proteção ao transformador enquanto o interruptor de corte geral do lado do secundário não estiver na posição de aberto; |
| C1 | Impedir o acesso ao transformador enquanto o seccionador de terra do painel de proteção ao transformador não estiver fechado; |
| C4 | Compilação do encravamento A1 + C1; |
| Painéis de anel | |
| A3 | Impossibilitar o fecho do seccionador de terra de um painel de alimentação enquanto o interruptor desse painel não estiver na posição de aberto; |
| A4 | Impedir o fecho simultâneo de dois interruptores; |
| P1 | Impossibilitar o fecho de um seccionador de terra enquanto o interruptor do outro painel não estiver na posição de aberto; |
| P2 | Impedir a manobra em carga do seccionador enquanto o disjuntor não estiver na posição de aberto; Impedir o fecho do seccionador de terra enquanto o seccionador e o interruptor não estiverem na posição de aberto; |
| P3 | Possibilitar manobrar o seccionador em vazio; Evitar a manobra em carga do seccionador enquanto o interruptor não estiver na posição de aberto; Impossibilitar o fecho do seccionador de terra com a cela em tensão; |
| P5 | Desabilitar o fecho do seccionador de terra da cela de alimentação enquanto o seccionador e o interruptor não estiverem na posição de aberto. |

2.3.6.5. TERRAS DE SERVIÇO E PROTEÇÃO

De acordo com o imposto no Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPTS) e também na norma DRE-C11-040/N cada PTS deverá ter obrigatoriamente dois sistemas de terras eletricamente diferentes de acordo com a seguinte descrição:

- Terra de proteção – sistema de terras destinada à equipotencialização de todas as estruturas metálicas e deverá ter um valor inferior a 20Ω ;
- Terra de serviço – Sistema de terras destinada a ligação do neutro do transformador com a rede de terras, normalmente instalada no exterior. Este sistema deverá ser sempre com um valor inferior a 10Ω .

Em áreas de grandes densidades urbanas nem sempre é possível garantir que os dois sistemas de terras fiquem distantes o suficiente para se tornarem eletricamente distintas e nessas situações opta-se por um sistema de terra única desde que o valor da resistência de terra única seja inferior a 1Ω [24].

2.3.6.6. OUTROS EQUIPAMENTOS NOS POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO E SECCIONAMENTO

Em todos os PTS deverão ser considerados equipamentos que permitem a manobra do equipamento e/ou segurança dos seus utilizadores. Esse equipamento é descrito abaixo e ilustrado na Figura 28:

- Luvas de borracha adequadas à tensão de isolamento; (1)
- Vara de manobra para a tensão de isolamento; (3)
- Livro de registo das medições de terra;
- Quadro de primeiros socorros;
- Placas de sinalização de acordo com NP-608 e NP-609;
- Tapete de borracha para a tensão de isolamento – aplicado apenas em PTS de cabine; (2)
- Extintor portátil – aplicado apenas em PTS de cabine;
- Balde de areia – aplicado apenas em PTS de cabine.



(1)



(2)



(3)

Figura 28: Outros equipamentos nos postos de transformação e seccionamento. [30] [31] [32]

No entanto também o sistema de iluminação deverá seguir requisitos impostos tais como o nível médio de iluminância que se deverá situar entre os 250 lux (imposto pela EN 12464-1) e deverão sempre ser usadas armaduras salientes com a proteção mínima de IP 54 equipadas com lâmpadas LED. No caso da iluminação de emergência esta deverá ser realizada por intermédio de blocos autónomos permanentes sobre as portas e ainda deverá ser contemplada a instalação de uma lanterna de emergência com redundância, duas lâmpadas.

Quanto à instalação de tomadas esta é livre relativamente à sua quantidade, no entanto, terão sempre de ser do tipo Schuko 10/16 A, com tomadas convencionais [24].

2.3.7. REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO

A rede de distribuição de energia elétrica em baixa tensão é constituída por instalações elétricas de baixa tensão destinadas à transmissão de energia elétrica a partir de um posto de transformação ou de uma central geradora, constituída por canalizações principais e ramais.

As redes de distribuição em baixa tensão deverão ser estabelecidas de modo a eliminar todo o perigo previsível para as pessoas e a acautelar de danos os bens materiais, não devendo perturbar a livre e regular circulação nas vias públicas ou particulares, nem afetar a sua segurança, prejudicar outras linhas de energia ou de telecomunicação ou causar dano às canalizações de água, gás ou outras.

As redes de distribuição em baixa tensão são realizadas numa topologia radial nas quais a partir de um PT, nascem um ou vários distribuidores, cada um podendo ter um ou mais ramais derivados, a partir dos quais a energia elétrica é levada até às instalações de utilização, entre outros pelos seguintes motivos:

- Economicamente vantajosas;
- Simplicidade na análise;
- Desempenho previsível (trânsito de potências, quedas de tensão);
- Facilidade na deteção de avarias.

Dos três níveis de tensão existentes, ou quatro se for contabilizada a muito alta tensão, a baixa tensão é aquela que é usada na grande maioria dos consumidores finais.

2.3.7.1. REGULAMENTOS E NORMAS

Todo o projeto de construção das redes de distribuição tem obrigatoriamente de obedecer a requisitos legais e documentos normativos que são redigidos pelas entidades competentes para o efeito.

No território português existem quatro regulamentos que têm um caráter importante e que assumem um papel predominante sendo eles:

- Regulamento de segurança de linhas elétricas de alta tensão (RSLEAT);
- Regulamento de segurança de subestações e postos de seccionamento (RSSPTS);
- Regulamento de segurança de redes de distribuição em baixa tensão (RSRDEEBT);
- Regras técnicas das instalações elétricas em baixa tensão (RTIEBT).

Todos estes regulamentos deverão ser articulados com outros documentos nomeadamente aqueles redigidos pela direção geral de energia e geologia, e pela EDP distribuição, entendida exploradora da rede, que estabelece os seus próprios documentos normativos para os equipamentos instalados na rede e ainda normas como:

- Normas portuguesas e normas harmonizadas com as normas europeias (NP e NP EN);
- Normas europeias (EN);
- Normas de comissão elétrica internacional (IEC);
- Comité europeu de normas eletrotécnicas (CENELEC);
- Organização internacional de normas (ISO).

2.3.7.2. ESTRUTURA DA REDE

Nas redes de distribuição um dos fatores mais importantes é o fator de fiabilidade e para assegurar esse parâmetro podem ser adotadas várias estruturas da rede. Esta opção requer investimentos com vista a estabelecer um objetivo entre o custo e o benefício de se obter redundância na rede no caso de ocorrer uma falha num dos equipamentos da rede.

As estruturas mais utilizadas na rede distribuição são representadas na Figura 29.

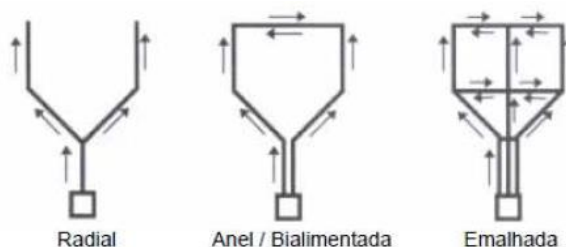


Figura 29: Estrutura de redes de distribuição de baixa tensão [13]

2.3.7.2.1. REDE RADIAL

Esta estrutura de rede é também vulgarmente designada de “Rede em Antena” por apresentar uma disposição das cargas em cascata sendo fundamentalmente caracterizada por uma única alimentação sendo que em caso de defeito poderá prejudicar os restantes consumidores. Neste caso o fluxo de potência será apenas num só sentido entre a produção e as cargas.

Esta opção diminui custos de instalação sendo geralmente escolhida para fazer as alimentações em zonas mais rurais onde o consumo é mais baixo.

2.3.7.2.2. REDE EM ANEL

As redes em anel são caracterizadas por poderem incluir várias fontes de alimentação para uma determinada carga sendo que estas podem receber energia provenientes de dois fluxos de potência diferentes. Esta solução permite que em caso de defeito na rede nenhum dos consumidores corre o risco de ficar comprometido visto que o outro sentido de energia está disponível e operacional.

Esta solução apresenta, portanto, uma taxa de fiabilidade superior embora o custo também seja consideravelmente superior, mas em caso de uma avaria o número de consumidores afetados também desce consideravelmente o que em situações adequadas pode valer o investimento.

2.3.7.2.3. REDE EMALHADA

Esta é a solução da rede que permite uma maior fiabilidade visto que dá a possibilidade de todos os consumidores serem alimentados de várias formas. A fonte de produção está ligada de forma a que o fluxo de energia possa tomar diversas opções requerendo isto que todas as canalizações de distribuição de energia estejam preparadas para transmitir a energia necessária no pior cenário.

De todas as opções esta é a que apresenta uma maior fiabilidade, o que naturalmente está relacionada com um custo extra, sendo usada principalmente para as redes de transporte de energia.

2.3.7.3. TIPOS DE REDES

2.3.7.3.1. REDES AÉREAS

Esta tipologia de rede foi das primeiras a ser desenvolvida sendo que foi arquitetada com condutores de cobre nu sendo que ao longo do tempo foram sendo substituídos por condutores nu, mas de alumínio apoiados em postes por intermédio de isoladores de porcelana. Também esta construção foi sendo descontinuada embora ainda seja possível ver alguns ramais com esta configuração em serviço.

Nos dias que correm é usual ver estas redes em zonas com menos população, mas com cabos isolados de alumínio agrupados em feixe cableado – esta solução é geralmente denominada de cabos em torçada, representada na Figura 30.

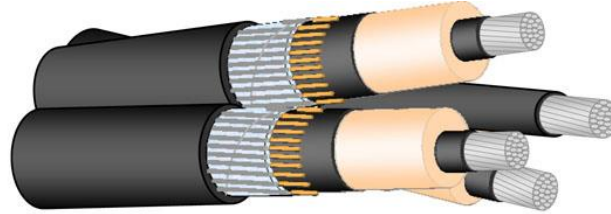


Figura 30: Cabos em torçada [33]

2.3.7.3.2. REDES SUBTERRÂNEAS

As redes de distribuição subterrâneas, embora tenham o mesmo fim que as áreas, têm algumas particulares relativamente a estas.

São constituídos por cabos, enterrados diretamente no solo e têm de ser isolados e armados. Estes são geralmente de alumínio com o isolamento em PVC e existem dois tipos bastante frequentes:

- LSVAV 4 x 95 mm^2 mm^2 - representado na Figura 31
- LVAV 3 x 185 mm^2 mm^2 + 95 mm^2 mm^2 .



Figura 31: Cabo LSVAV [34]

Neste equipamento, os cabos devem seguir diversas normas tais como a IEC 60502 e CENELEC HD 603 S1/A [24], onde no primeiro regulamento se encontra discriminado o

código de cores, sendo este preto, castanho e cinzento para as fases e azul para o condutor de neutro.

2.3.7.4. REGIMES DE NEUTRO

O esquema de ligação à terra, ELT, é um ponto fundamental de uma instalação. Uma boa escolha dos elementos de proteção de uma instalação elétrica ajuda na prevenção de incêndios, explosões ou choques elétricos na exploração da mesma.

A forma de ligação do neutro e das massas está regulamentada através da norma IEC 60364 pois a escolha deste ELT determina a escolha das proteções que podem ser utilizadas de forma a proteger as pessoas contra contactos indiretos. Esta escolha obedece a diversos critérios como as condições de exploração, proteção necessária de pessoas e bens, instalações com/sem risco de incêndio e/ou explosão, continuidade e compatibilidade eletromagnética.

Existem três tipos de ELT, também designados por regimes de neutro, e estes são identificados por duas letras, conforme descrito na Tabela 7. A primeira letra indica a alimentação em relação à terra e a segunda indica a situação das massas em relação à terra.

Tabela 7: Designação de regimes de neutro

| Primeira Letra | | Segunda letra | |
|----------------|---|---------------|---|
| T | Ligação direta de um ponto à terra | T | Massas ligadas diretamente à terra |
| I | Isolamento de todas as partes ativas em relação à terra ou ligação de um ponto à terra por meio de uma impedância | N | Ligação elétrica direta das massas ao ponto de alimentação ligado à terra |

2.3.7.4.1. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA – TT

O regime de neutro TT, representado na Figura 32, é caracterizado por ter o neutro e a massa ligados de forma independente à terra. Normalmente este esquema é usado em redes de distribuição.

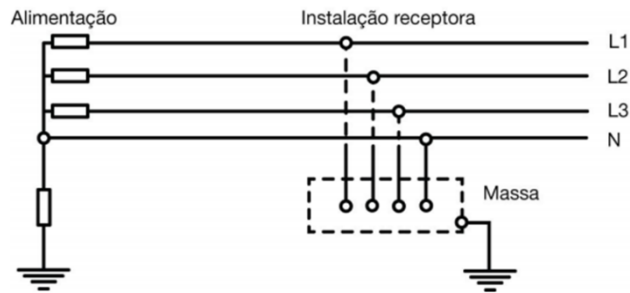


Figura 32: Esquema de ligação à terra – TT [35]

Aquando da existência de um defeito à terra, identificado na Figura 33, como o contacto entre as massas e um condutor ativo, o circuito de defeito é estabelecido pelo condutor de fase. Neste caso será o condutor de proteção que irá ligar à terra e o enrolamento do secundário do transformador que está ligado à terra.

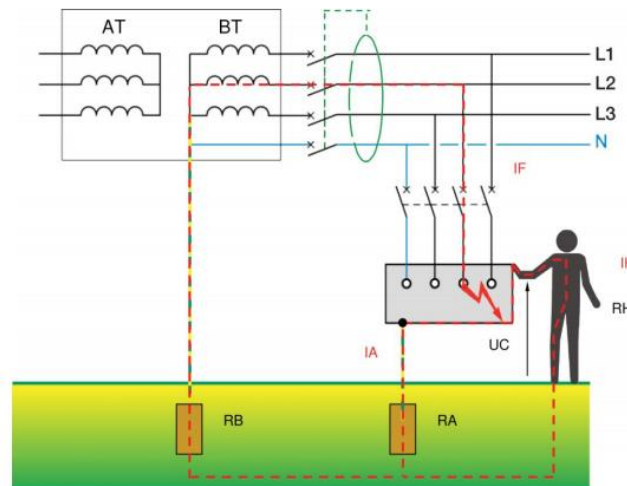


Figura 33: Circuito de defeito no esquema de ligação à terra – TT [35]

Quando a instalação usa este esquema de ligação os dispositivos de proteção mais adequados são os interruptores diferenciais, disjuntores diferenciais ou então os relés diferenciais.

Se não se verificar diferenças entre o solo ou entre as massas e neutro isto significa que a impedância da malha de terra é praticamente zero, originando desta forma uma corrente que se assemelha a um curto-circuito. Esta corrente tem o valor bastante elevado e para que seja possível efetuar o seu corte tem de ser usado um dispositivo diferencial, desde que este tenha capacidade de cortar essa corrente, em segurança.

O dispositivo mencionado anteriormente irá entrar em funcionamento assim que a corrente de defeito atingir o valor da sua corrente nominal, tendo necessariamente de atuar num tempo reduzido de forma a não colocar a vida das pessoas em risco.

Para o bom funcionamento da instalação é necessário saber qual a proteção diferencial a escolher e para tal, com base no valor da resistência de terra e por forma a não exceder o valor máximo da tensão de contacto, os 50V, deve ser feito o seguinte cálculo:

$$Ul = RA * In \tag{4}$$

Resultando assim alguns dos seguintes valores, conforme é possível verificar na Figura 34:

| Corrente diferencial I Δ n | | RA (Ω) |
|-----------------------------------|--------------|---|
| 20 A | | 2,5 |
| 10 A | | 5 |
| 5 A | | 5 |
| 3 A | | 17 |
| Média sensibilidade | 1 A | 50 |
| | 500 mA | 100 |
| | 300 mA | 167 |
| | 100 mA | 500 |
| Alta sensibilidade | ≤ 30 mA | >500 (30 mA para RA $\leq 1667\Omega$) |

Figura 34: Relação entre valor da resistência de terra e o valor da corrente diferencial [35]

Existe ainda uma questão que é necessário analisar, a proteção do neutro. Se a secção do condutor do neutro for igual à das fases não é necessário colocar proteção específica, no entanto, se existir uma redução no neutro em relação às fases já deverá ser considerada uma proteção contra os curto circuitos adequados a essa secção.

Apesar de serem tomados todos os cuidados é de boa prática colocar proteção em todos os condutores ativos, incluindo o neutro, reduzindo assim a hipótese de contacto.

2.3.7.4.2. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA – TN

O ELT TN é caracterizado por ter o neutro ligado à terra e as massas também elas ligadas ao neutro. Sendo assim, as correntes de defeito á massa são consideradas como um curto-circuito.

Este regime de neutro tem três variantes: o TN-C; TN-S e por fim o TN-C-S.

- **TN – C**

Se um condutor assumir também a função de condutor de proteção fica deste modo proibido de cortar o neutro, assumindo que não está protegido. Se este condutor for seccionado, o circuito de defeito não se irá fechar pelo neutro podendo levar a que o dispositivo de proteção não atue, colocando a segurança dos utilizadores em risco.

Na Figura 35 podemos encontrar a representação gráfica deste esquema de ligação à terra:

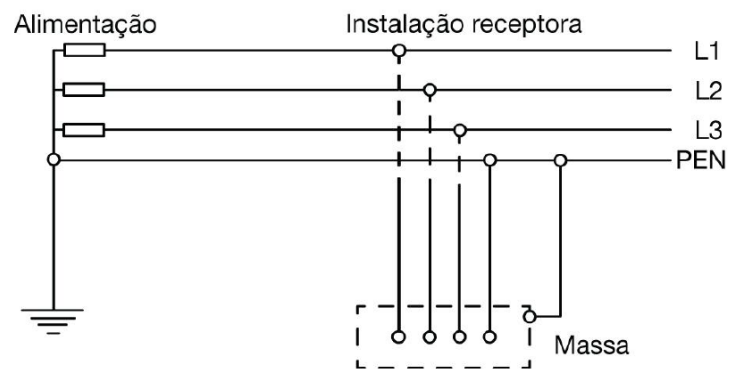


Figura 35: Esquema de ligação à terra - TN – C [35]

No TN-C a proteção contra contactos indirectos é assegurada pelos dispositivos de proteção contra sobreintensidades tais como disjuntores ou fusíveis. No entanto deve sempre ser calculada a corrente de defeito, circuito desta representado na Figura 36, de forma a verificar se a atuação da proteção é realizada em tempo útil.

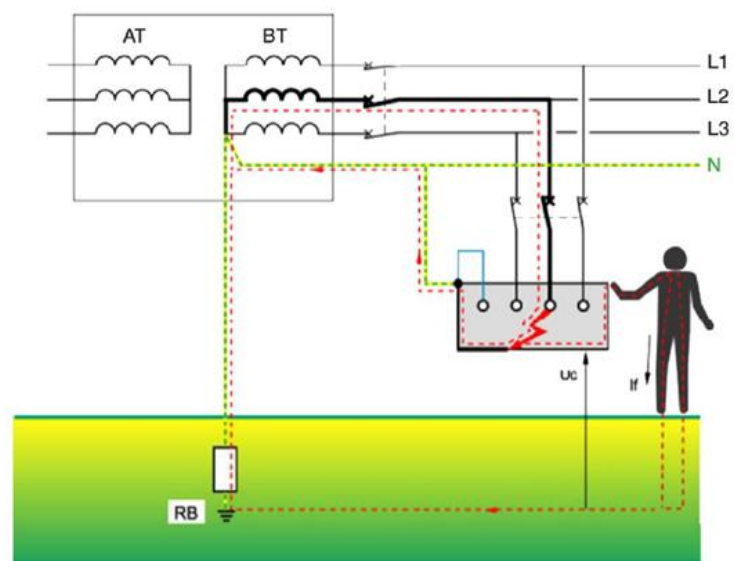


Figura 36: Circuito de defeito no esquema de ligação à terra - TN – C [35]

- **TN – S**

A distribuição do condutor neutro é separada do condutor de proteção sendo neste caso seccionado o condutor de neutro, conforme se pode ver na Figura 37.

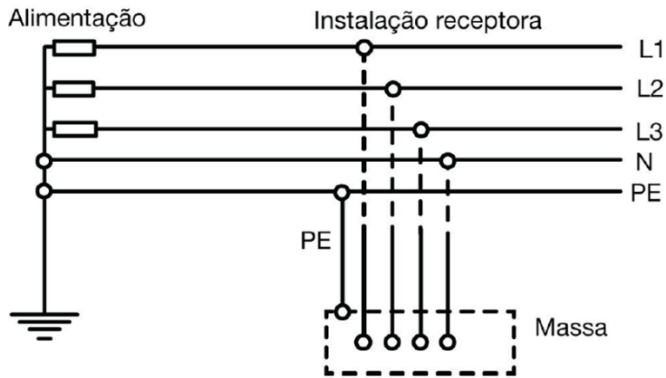


Figura 37: Esquema de ligação à terra - TN – S [35]

Este regime poderá ser apropriado quando:

- A secção das fases é superior a 10 mm^2 , se for cobre, ou 10 mm^2 , no caso do alumínio;
- A carga é alimentada por uma canalização móvel.

- **TN – C – S**

Neste caso a função de neutro e de proteção é concentrada num único condutor, PEN, estando este descrito na Figura 38.

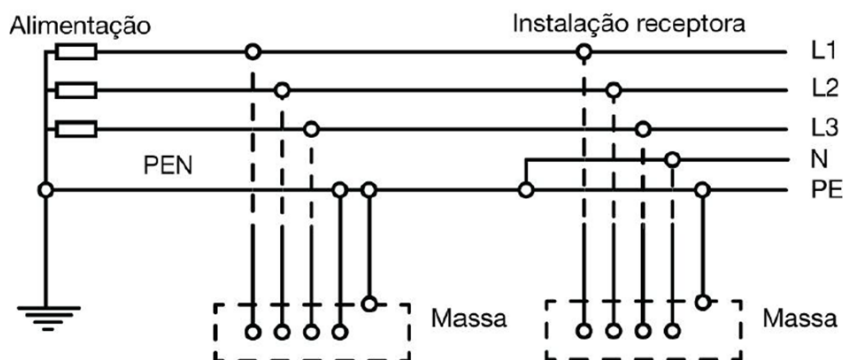


Figura 38: Esquema de ligação à terra - TN – C – S [35]

Nos dois outros regimes que integram o ELT TN, TN-C e TN-S a proteção deverá ser feita recorrendo a disjuntores ou dispositivos diferenciais. Este último deverá ser usado no caso de a corrente de defeito não ter um valor de grandeza suficiente para ativar os disjuntores ou então no caso em circuitos finais onde é difícil haver um controlo sobre a exploração dos mesmos.

Nos regimes abordados anteriormente o condutor de proteção não deverá ser ligado ao dispositivo diferencial, no entanto, no caso do TN-C-S a conexão do condutor PE, de proteção, e do condutor N, neutro, deverá ser feita antes do dispositivo diferencial. O condutor de proteção não deverá ser ligado de forma independente ao diferencial nem passar pelos relés do mesmo.

2.3.7.4.3. ESQUEMA DE LIGAÇÃO À TERRA – IT

O esquema de ligação à terra IT pode ser efetivado de duas formas distintas, representadas ambas na Figura 39, uma primeira com neutro distribuído e uma segunda sem neutro distribuído.

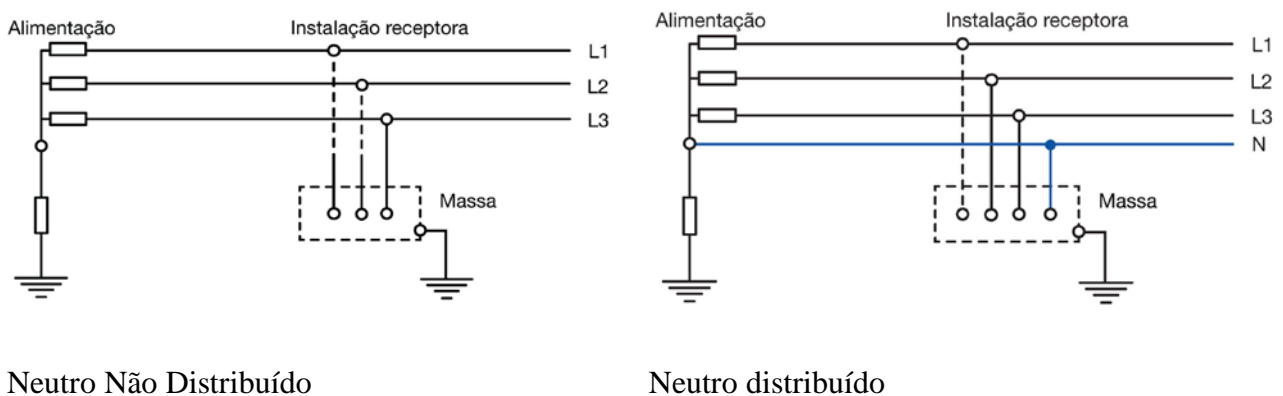


Figura 39: Esquema de ligação à terra – IT [35]

- Neutro distribuído

No caso de estarmos perante o um esquema do tipo IT com neutro distribuído o neutro é isolado e as massas são interligadas por meio de um condutor de proteção.

O neutro nesta situação não está ligado à terra, encontra-se ligado através de uma impedância com um valor muito alto, vulgarmente denominado de “neutro impedante”.

Todas as ligações entre as massas são efetuadas recorrendo à utilização de um condutor de proteção.

No caso de se verificar um defeito de isolamento no condutor ativo a corrente de defeito terá um valor pequeno o que fará com que não seja obrigatório a abertura automática do circuito no primeiro defeito.

O valor da impedância do isolamento varia de acordo com as cargas, com o comprimento e com a idade da instalação assim como com as condições de humidade.

Neste regime de neutro distribuído é necessário proteger o condutor com um disjuntor que consiga cortar todos os polos e também é necessário um controlador permanente de isolamento. Este controlador deve ser ligado ao neutro da instalação e o mais próximo possível do início da instalação.

A proteção das correntes de defeito deverá ser realizada por meio de disjuntores. No caso de serem usados diferenciais a sua sensibilidade deverá permitir e realizar a abertura ao primeiro defeito.

A melhor solução para que esteja garantida a continuidade em toda a instalação é usar o neutro isolado. Por essa mesma razão, este esquema é frequentemente usado em hospitais, inclusive blocos operatórios, redes elétricas em aeroportos, minas e outras instalações onde um defeito na instalação que obrigue a interrupção da energia é bastante dispendiosa.

- **Neutro não distribuído**

Assim que ocorra um primeiro defeito, como é o caso da Figura 40, a tensão de contacto deve ser limitada devendo o seu valor ser inferior a 50V. Nos sistemas em que o neutro que vem do PT, este está ligado à terra por meio de uma impedância que deverá passar a estar incluída no circuito de defeito.

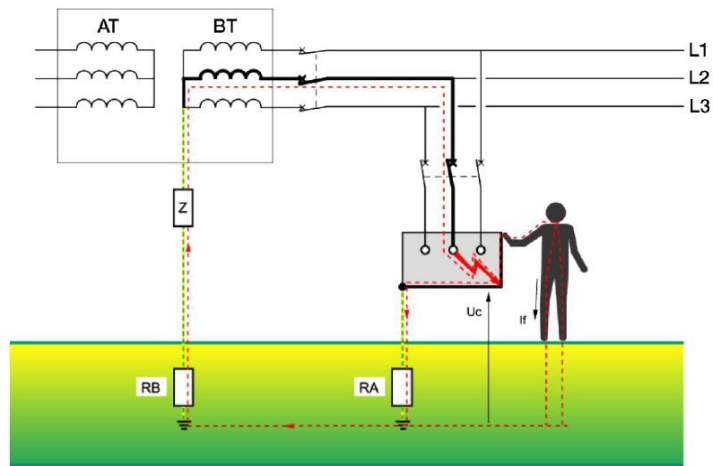


Figura 40: Circuito de primeiro defeito no esquema de ligação à terra - IT com neutro não distribuído
[35]

Pela lei de OHM, quanto maior for o valor da impedância mais pequeno será a tensão de contacto.

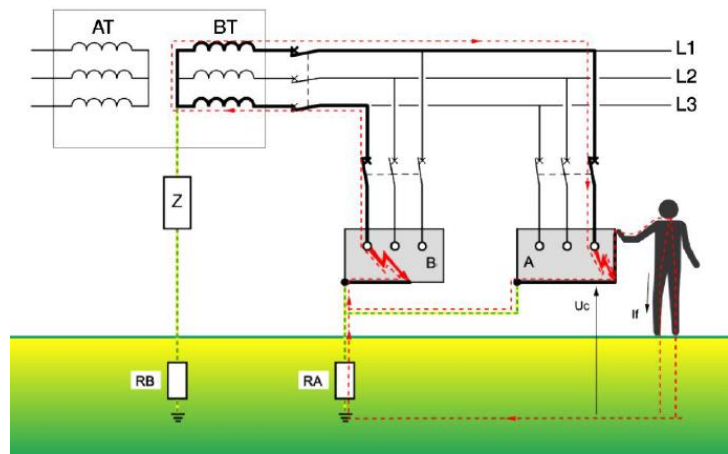


Figura 41: Circuito de segundo defeito no esquema de ligação à terra - IT com neutro não distribuído
[35]

Como regra de boa prática é aconselhável que o defeito seja limitado rapidamente, isto porque uma situação de segundo defeito levaria obrigatoriamente ao disparo das proteções. No caso de existirem dois defeitos envolvendo fases diferentes a corrente será analisada como um curto-circuito entre elas.

2.3.7.5. INSTALAÇÕES DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM BAIXA TENSÃO

2.3.7.5.1. CANALIZAÇÕES ELÉTRICAS

As canalizações elétricas são as responsáveis pela ligação entre os equipamentos e a sua fonte de energia, sendo que têm que ser dimensionadas respeitando normas regulamentares. A estas normas juntam-se requisitos técnicos e físicos dos cabos e das respetivas proteções.

O dimensionamento e proteção das canalizações tem como principal objetivo a determinação da secção do cabo e o calibre da proteção que assegurará o seu bom funcionamento. Este exercício estabelece uma relação que se pretende que seja a mais vantajosa tanto economicamente como tecnicamente.

Para este processo a base de partida deverá ser o cálculo da corrente de serviço, I_b . A corrente de serviço corresponde ao valor máximo de potência que é transportado para a carga. Se estivermos perante um circuito monofásico toda a corrente irá circular apenas por uma fase, sendo possível calcular I_b através da seguinte fórmula:

$$I_b = \frac{S}{U_s} \quad (5)$$

No caso de termos um circuito trifásico a corrente irá estar distribuída por três fases e, por isso, o cálculo de I_b deverá ser feito da seguinte forma:

$$I_b = \frac{S}{\sqrt{3} * U_c} \quad (6)$$

Depois de o valor de I_b ser conhecido está-se em condições de definir o valor da secção do cabo em questão. Para tal é importante ter conhecimento do valor da corrente máxima admissível, I_z , pois este valor não pode ser inferior ao valor da corrente de serviço, previamente calculado.

Um valor de corrente de serviço superior ao valor da corrente máxima admissível irá resultar em que o cabo, após entrada em serviço, irá aquecer de forma excessiva levando assim à sua degradação.

Após esta situação, existe um conjunto de condições em que as canalizações devem obedecer de forma a garantir o bom dimensionamento da mesma.

- **Condição de aquecimento e sobrecarga**

$$I_b < I_n < I_z \quad (7)$$

$$I_2 < 1.45 * I_z \quad (8)$$

As equações acima representam a condição de aquecimento e sobrecarga em que I_n , a corrente convencional do dispositivo de proteção, é nada mais e nada menos do que o valor máximo da corrente que o dispositivo de proteção permite que circule pelo condutor sem este ser disparado.

No valor da corrente convencional de funcionamento, I_2 pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$I_2 = 1.6 * I_n \quad (9)$$

- **Condição da queda de tensão**

Um equipamento elétrico é dimensionado para funcionar com um valor de tensão aos seus terminais, o que porventura, se este estiver sujeito a valores inferiores ao valor previamente determinado pode danificá-lo ou mesmo impedir que este entre em funcionamento. Por essa razão as RTIEBT determinaram os seguintes limites máximos para o desvio que poderá existir nesse valor de tensão:

Tabela 8: Queda de tensão máxima admissível [36]

| Utilização | Iluminação | Outros usos |
|---|------------|-------------|
| A – Instalações alimentadas diretamente de uma rede de distribuição pública em Baixa tensão | 3% | 5% |
| B - Instalações alimentadas a partir de um posto de transformação MT/BT | 6% | 8% |

No caso de instalações coletivas, as RTIEBT impõem valores um pouco diferentes, sendo estes:

- 1,5% Para a canalização entre o fim da portinhola e origem do quadro elétrico, no caso de instalações individuais;
- 0,5% Para o troço que faz a interligação entre o quadro de entrada e a coluna montante, sendo que isto é aplicado no caso de edifícios coletivos;
- 1% é o valor máximo da queda de tensão na coluna montante.

É importante referir que os últimos dois pontos podem ser ultrapassados, desde que em conjunto e devidamente justificados não ultrapassem o valor de 1,5%.

Para o cálculo deste valor é usada a seguinte equação:

$$u(V) = bx \left(p1 * \left(\frac{L}{s} \right) * \cos\theta + \lambda * L * \sin\theta \right) * Ib \quad (10)$$

$$\Delta u (\%) = 100 * \left(\frac{u}{U0} \right) \quad (11)$$

Onde:

- b – Coeficiente igual a 1 para os circuitos trifásicos e 2 para os circuitos monofásicos;
- p1 – resistividade elétrica dos condutores à temperatura em serviço normal ($\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$);

Tabela 9: Resistividade elétrica condutores [36]

| Material | P _{20°C} ($\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$) |
|----------|--|
| Cobre | 0,017241 |
| Alumínio | 0,028264 |

- L – Comprimento da canalização (m);
- s – Secção dos condutores (mm^2);
- θ – Ângulo de defasamento entre tensão e a corrente;
- λ – Reactância linear dos condutores (Ω / m);
- I_b – corrente de serviço (A).

- **Condição fadiga térmica**

O disparo de uma proteção durante um curto-circuito que ocorra em qualquer ponto da instalação não deve ser superior ao tempo que levará o condutor a atingir a temperatura máxima admissível. Este valor não pode ser superior a cinco segundos, pois é o tempo necessário para que uma corrente de curto-circuito eleve a temperatura dos condutores até ao seu valor máximo.

Este tempo pode ser calculado através das seguintes fórmulas:

$$\sqrt{t} = k * \left(\frac{S}{I_{cc}}\right) \quad (12)$$

$$I_{ccmin} = \frac{0.95 * U_o}{1,5 * \sum R_{fase} + R_{neuro} + Z_{trans}} \quad (13)$$

Onde:

- T - Tempo (s);
- S - Secção dos condutores (mm²);
- I_{ccmin} - Corrente de curto-circuito mínima;
- K – é uma constante com os seguintes valores:

Tabela 10: Constante K [36]

| Material | K |
|----------|-----|
| Cobre | 115 |
| Alumínio | 76 |

- U_o – Tensão simples (V);
- R_{neuro}- Resistência do neutro (Ω);
- R_{fase}- Resistência de fase (Ω);

- Z- Impedância do transformador.

O fator multiplicativo de 1,5 no denominador aparece para efetuar a correção para a temperatura de 20°C, temperatura normal de funcionamento, para a temperatura de curto-circuito.

De forma a garantir o bom funcionamento das instalações torna-se necessário cumprir estas duas condições:

$$\begin{cases} tap \leq t \\ tap \leq 5s \end{cases} \quad (14)$$

O valor da variável *tap* é o tempo de atuação da proteção para o valor previamente calculado de I_{ccmin} e pode ser lido na característica tempo/corrente normalmente presente na ficha técnica da proteção.

- **Condição do poder de corte**

O poder de corte está relacionado com a capacidade de extinção do arco elétrico e para tal é calculado o valor da corrente de curto-circuito máximo:

$$I_{ccmax} = \frac{0.95 * U_o}{1,5 * \sum R_{fase} + Z_{trans}} \quad (15)$$

Onde:

- U_o – Tensão simples (V);
- R_{fase} – Resistência de fase (Ω);
- Z – Impedância do transformador.

- **Tecnologias de quadros de distribuição**

Os quadros, atualmente, podem recorrer a dois tipos de tecnologia de funcionamento em que a principal diferença está no sistema de fixação dos equipamentos à estrutura do quadro. Estas tecnologias são denominadas de acordo com a lista abaixo e apresentadas nos subcapítulos seguintes.

- Quadro de distribuição tradicional – Neste equipamento todos os seus equipamentos estão fixados à estrutura principal do quadro, normalmente através de calha DIN, enquanto que na parte frontal estão montados equipamentos de controlo e medida.

A instalação dos equipamentos na estrutura do quadro deverá ter em consideração as dimensões de cada área disponível/preendida, mas também todas as conexões que são necessárias fazer para tornar o quadro funcional.

- Quadro de distribuição funcional – Este tipo de quadro, representado na Figura 43, é geralmente usado para soluções muito específicas tais como indústrias petrolíferas etc. Este quadro é composto por vários módulos extraíveis permitindo assim uma grande capacidade de redundância e fiabilidade no sistema.

O uso deste quadro é, portanto, transversal a todos os níveis desde o consumidor industrial até ao quadro de distribuição final devido à sua polivalência, e como tal podemos enumerar as seguintes vantagens:

- Sistema modular permite adotar diferentes configurações ao longo do tempo;
- Pode ser facilmente expansível;
- Rapidez na substituição de módulos devido a serem soluções standards.

Dentro destes quadros modulares estes podem ainda ser de dois sistemas, um de gavetas extraíveis em que todo o módulo é extraído e substituído por um novo de acordo com as novas necessidades e outro de “Us” em que é substituída a estrutura metálica, mas a parte exterior, a tampa frontal, permanece a mesma.



Figura 43: Quadros de distribuição funcional [39]

2.4. DIREÇÃO DE OBRA

2.4.1. ASPETOS GERAIS

A gestão e direção de obra é um tema que assenta em diversas particularidades, uma vez que é uma atividade que envolve muitos e diversos recursos, desde mão de obra, máquinas, materiais e recursos económicos, assim como envolve diversos serviços para que uma dada empreitada seja realizada.

Para que um projeto tenha sucesso, em todos os aspetos que este engloba, é essencial que haja uma estreita relação entre todos os recursos e serviços, e para tal é crucial uma boa gestão e direção de obra.

Para além de gerir todos os recursos é também necessário estabelecer objetivos técnicos, económicos, financeiros e administrativos sendo que o diretor de obra terá o objetivo de estudar todos os detalhes e meios necessários, desde o projeto, controlo de custos, controlo de prazos e controlo de qualidade e segurança para que a obra se conclua respeitando todos os condicionalismos.

Com uma boa gestão de obra é possível melhorar a produtividade na construção, conseguindo executar os trabalhos com a exigível qualidade obtendo os lucros desejados. Para uma boa gestão de obra é necessário um bom diretor de obra, sendo que este deverá ter ao seu dispor todos os meios necessários para cumprir os objetivos pré-definidos. Deverá ser alguém com grandes conhecimentos técnicos e com a capacidade de resolver quaisquer imprevistos de forma racional, para além de ser alguém com uma boa capacidade de relação com os outros conseguindo ser a ponte entre as várias especialidades, gerindo todos os recursos humanos e materiais e dirigindo o modo de execução da obra. É também o diretor de obra o responsável pelo cumprimento das cláusulas do contrato, do caderno de encargos e da execução de todas as partes do projeto.

As funções de gestão e direção de obra não podem ser separadas e trabalhar individualmente uma vez que a primeira irá ser o ponto de arranque para a segunda em que esta irá retificar pontos em aberto da primeira criando assim uma simbiose. Estas duas funções funcionam com o mesmo objetivo comum, otimização de recursos.

2.4.2. FASES OBRA

Quando se decide avançar com um projeto saber exatamente quais são as etapas da obra faz toda a diferença, conseguindo-se traçar um plano tanto em relação a um orçamento, como a materiais e recursos humanos. De uma forma geral pode-se dividir em duas etapas: a conceção e a execução.

A conceção engloba:

- Fases de projeto – é descrita como a fase em que é idealizada a solução final;
- Concurso – após a obtenção da licença camarária de construção; inclui propostas para a escolha dos empreiteiros que irão executar a obra;
- Adjudicação da obra – escolha da melhor proposta do concurso pelo dono da obra atestada pela assinatura de um contrato;
- Consignação da obra – assinatura do auto de consignação que determina o início da contagem do prazo acordado para execução da obra e obrigações do empreiteiro. Pode ser descrita como abertura do estaleiro e entrada em obra.

Após decorridas estas fases acima descritas procede-se à preparação inicial da obra, onde o diretor de obra reúne toda a documentação a fim de verificar a necessidade de alguma alteração da proposta, uma vez que estas são normalmente realizadas sob pressão sendo imprescindível uma segunda revisão sobre a proposta apresenta a fim de detetar omissões, erros de orçamentação (valores de matéria prima errados) e confirmação das condições de execução.

Assim, o diretor de obra poderá efetuar uma re-orçamentação cuidada da obra excluindo qualquer erro, conseguindo assim programar de uma forma mais eficaz os proveitos, custos e resultados da obra. Após este processo inicia-se o planeamento da obra onde se estabelece o plano de aprovisionamento dos materiais e a distribuição da mão de obra, organizando as equipas de trabalho, incluindo as chefias. Define-se também o plano de trabalhos para aprovação da fiscalização e um plano financeiro para que possam ser realizados os mapas de produção e a sua orçamentação. Caso seja necessário podem ser

propostas ao dono da obra alterações ao projeto sempre com vista a melhorar a execução da obra e minimizar os custos garantindo assim um equilíbrio financeiro do projeto.

Neste processo é o diretor de obra quem assume a responsabilidade da obra avaliando, entre muitas outras, as seguintes questões:

- Objetivos da obra e os projetos de especialidades realizados em fase anterior, assim como o plano de inspeção e ensaios;
- Elementos disponibilizados em fase de concurso: caderno de encargos, pormenores técnicos e jurídicos e orçamentos;
- Contrato assinado entre a empresa construtora e o dono da obra;
- Organograma do dono da obra, fiscalização, segurança e plano de qualidade de construção;
- Organização de recursos humanos e plano de segurança e saúde para os mesmos.

Será nesta fase de estudo e preparação do projeto e como irá ser executado que deve ser proposto ao dono de obra algumas alterações à solução inicialmente prevista com o objetivo de:

- Diminuir o custo de execução do projeto;
- Propor novas soluções que tenham vantagens técnicas e/ou financeiras;
- Melhorar e otimizar a solução final.

Durante a fase de preparação de obra a compra dos materiais e aluguer de equipamento deve merecer a atenção do diretor de obra uma vez que tem de existir uma primeira verificação dos aspetos exigidos contratualmente pelo dono de obra e posteriormente avançar para a seleção de fornecedores e negociação dos preços.

É também um processo bastante importante o de seleção/constituição de equipas que deve estar sempre de acordo com a exigência do trabalho a ser executado, o timing necessário e orçamento disponível (mais recursos custam logicamente mais tempo).

Deve também nesta fase de início dos trabalhos haver uma documentação organizada sobre os todos aspetos, criando-se um dossiê de empreitada onde se organiza toda a informação inerente à obra, e também um estaleiro onde se possa reunir os materiais e equipamentos, os trabalhadores e todos os outros recursos necessários.

2.4.3. FUNÇÕES DO DIRETOR DE OBRA

O diretor de obra desempenha uma função fulcral no desenrolar do projeto uma vez que será ele que estará no na primeira linha da execução a lidar diretamente com os operários, os equipamentos e o cliente. Será ele a ponte entre o produto final e a gestão do projeto.

É ao diretor de obra, em conjunto com o gestor do projeto, que compete dirigir a obra em todos os aspetos administrativos, técnicos e económicos, sendo ele responsável por garantir o cumprimento do caderno de encargos dentro dos prazos estabelecidos contratualmente e dentro do orçamento inicialmente previsto. Este cargo tem também a responsabilidade de orientar as equipas de modo a que a execução ocorra dentro dos parâmetros normais de segurança para todos os intervenientes.

Numa primeira fase, o diretor de obra tem diversas funções tais como:

- Definir as equipas necessárias para a realização do trabalho;
- Elaborar o plano de aprovisionamento de materiais;
- Decidir sobre a aquisição/aluguer de equipamento necessário;
- Estudar a melhor organização de estaleiro;
- Proceder, em parceria com o gestor do projeto, ao planeamento da obra.

No momento da execução, particularmente em obras de grandes dimensões, os pontos acima têm de ser revistos várias vezes ao longo do projeto. Sendo o planeamento de obra talvez o ponto que mais alterações sofre devido a todos os diferentes condicionamentos que são introduzidos ao longo da fase de execução. O diretor de obra será sempre o responsável máximo pela correta e rigorosa execução do projeto.

Na fase de execução do projeto o diretor de obra detém as seguintes funções:

- Elaborar todo o programa de garantia de qualidade com base nos requerimentos do caderno de encargos;
- Cumprir os prazos previamente acordados;
- Elaborar e colaborar na implementação do plano de segurança e de saúde para a fase de execução;
- Reclamar quanto a erros e omissões do projeto das diferentes empreitadas;
- Informar constantemente o gestor do projeto da evolução dos trabalhos;
- Realizar todos os ensaios previstos.

Já no fim da obra será ele o responsável para, em conjunto com o cliente, proceder a toda a vistoria da instalação e elaborar o respetivo auto de receção.

O trabalho não termina com o auto de receção, sendo que nos dois anos seguintes, qualquer defeito encontrado pelo dono de obra deverá ser articulado pela direção de obra.

2.4.4. ORGANIZAÇÃO DO ESTALEIRO

O estaleiro é denominado como o local fixo onde existem todas as condições para se realizar as atividades de apoio à execução do projeto. Este local deve estar munido de equipamentos auxiliares e infraestruturas auxiliares sanitárias, de armazenamento entre outras. Uma boa organização deste local permite que todas as pessoas usem este espaço de forma prática e otimizada facilitando o decorrer da execução.

Num projeto o estaleiro pode ser dividido em dois tipos:

- Central – Estaleiro implementado em lote pertencente à empresa de construção e são instaladas as oficinas especializadas e estruturas administrativas;
- Local – Estaleiro instalado no local de execução da obra, geralmente pertencente ao dono de obra, em que apenas estão instalados os meios estritamente necessários ao desenvolvimento da execução.

Independentemente do projeto o estaleiro deve ser sempre adequado ao projeto e às necessidades do mesmo tendo em conta o equipamento que irá ser utilizado e as características do terreno disponível. Pode acontecer, em obras complexas, quando não há muito espaço necessário a organização do estaleiro pode, e deve alterar-se de acordo com a fase de execução em que o projeto se encontra.

O diretor de obra deve ter diversos aspetos em conta na organização do estaleiro tais como:

- O tipo de solo onde o estaleiro deverá ser construído no sentido de perceber os acessos de viaturas, acessos de infraestruturas (água, eletricidade, telecomunicações) e também o acesso a pessoal não autorizado;
- Escolher a melhor localização possível tendo em conta o decorrer da execução – aplicável em projetos grandes com várias frentes de obra;
- Dimensão das equipas que iram estar a trabalhar no projeto com o objetivo de criar espaços do tamanho adequado às necessidades.

O prazo, apesar de não ser um fator decisivo, para a organização de estaleiro deve ser tido em conta com o objetivo de esta atividade ser o mais expedito possível com o propósito de arrancar com a empreitada o quanto antes.

O diretor de obra é também responsável por assegurar que existem estruturas de apoio aos trabalhadores como refeitórios, posto médico, vestiários etc. Estas últimas estruturas podem ser articuladas em conjunto com o dono de obra criando assim uma estrutura comum para diversas empreitadas.

2.4.5. SEGURANÇA E SAÚDE DOS TRABALHADORES

Em Portugal o documento que define os parâmetros a seguir no que diz respeito à segurança e saúde no trabalho é o Decreto-Lei n.º 273/2003, de 29 de outubro, no entanto o conteúdo do documento é transversal a todos os países visto que o tema é de âmbito mundial e deverá sempre agir-se em conformidade com os maiores padrões de higiene e saúde no trabalho. Este documento legislativo obriga a que sejam redigidos três documentos com vista a redução de acidentes de trabalho, sendo estes:

2.4.5.1. COMUNICAÇÃO PRÉVIA (CP)

A comunicação prévia serve para comunicar antecipadamente a abertura de estaleiro e deve conter os seguintes elementos:

- A morada completa completo do estaleiro;
- A natureza e a utilização previstas para a instalação;
- O dono da obra, o autor ou autores do projeto e a entidade executante, bem como as respetivas moradas;
- O fiscal ou fiscais da obra, o coordenador de segurança do projeto e o coordenador de segurança em obra;
- O diretor técnico da empreitada e o representante da entidade executante, se for nomeado para permanecer no estaleiro durante a execução da obra;
- O responsável pela direção técnica da obra;
- As datas previstas para início e termo dos trabalhos no estaleiro;
- A estimativa do número máximo de trabalhadores por conta de outrem e independentes que estarão presentes em simultâneo no estaleiro;
- A estimativa do número de empresas e de trabalhadores independentes a operar no estaleiro;
- A identificação dos subempreiteiros já selecionados.

2.4.5.2. PLANO DE SEGURANÇA E SAÚDE

O plano de segurança e saúde (PSS) é definido como um documento destinado à definição das medidas preventivas que têm como o objetivo de minimizar os riscos de acidentes durante a execução do projeto. O PSS é elaborado pelo técnico de higiene e segurança antes do início do projeto e é um documento de referência para a elaboração das fichas de procedimentos de segurança e autorizações de trabalho que terão que ser deliberadas durante a execução.

Este documento deve sofrer diversas iterações ao longo de toda a empreitada conseguindo assim cobrir e avaliar todos os riscos associados a cada uma das tarefas.

2.4.5.3. COMPILAÇÃO TÉCNICA

A compilação técnica (CT) da obra é um documento de extrema importância pois este agrega todos os elementos que devem ser tomados em conta nas intervenções posteriores à conclusão da obra.

A compilação técnica da obra deve incluir os seguintes elementos:

- Identificação completa de todos os intervenientes da obra tais como o dono da obra, o autor do projeto, os técnicos de higiene e segurança, entre outros;
- Peças escritas e desenhadas de todos os projetos de diversas especialidades assim como as telas finais;
- Informações técnicas relativamente aos equipamentos instalados e que possam ter associados à sua utilização, conservação e manutenção;
- Informações úteis para a planificação da segurança e saúde na realização de trabalhos em locais da obra.

2.4.6. QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO

O não cumprimento do planejamento, a derrapagem do orçamento ou a existência de acidentes são indicadores que podem afetar a qualidade de um projeto pelo que nos dias de hoje o dono de obra exige cada vez mais que estes fatores tenham um acompanhamento rigoroso de modo a que não se desviem dos parâmetros expectáveis.

Posto isto cabe ao diretor de obra definir o plano de controlo de qualidade e submeter ao dono de obra os ensaios previstos evidenciando o uso de equipamento adequado e o pessoal tecnicamente capaz de verificar a conformidade das instalações.

Infelizmente é frequente que durante a execução dos processos, por diversos fatores, não se consiga cumprir todo o plano de qualidade criado pelo diretor de obra sendo as principais causas as seguintes:

- Falta de rigor nos projetos de especialidades;
- Fraca e lenta comunicação entre todos os intervenientes;
- Falta de mão de obra qualificada;
- Pressão constante relativamente a prazos e orçamentos;
- Uso de materiais e processos inadequados.

O diretor de obra deve estudar todos os pontos acima descritos e arranjar alternativa de modo a obter a melhor solução final possível. Uma comunicação simples, eficaz e assertiva com todas as equipas, inclusive o dono de obra, é um dos pontos chave para o desenvolvimento do projeto e atingir o sucesso do mesmo.

2.4.7. COMISSIONAMENTO

Ainda dentro do plano de qualidade da obra deve estar o plano de comissionamento em que consiste na avaliação, inspeção e realização de testes sendo esta a atividade que deve acontecer em fase posterior à instalação e em fase anterior à entrada ao serviço sendo por isso um procedimento de extrema importância para o perfeito desempenho dos equipamentos.

O comissionamento contempla diversos ensaios adequados aos mais diversos equipamentos tais como:

- Disjuntores Média Tensão:
 - Inspeção visual;
 - Verificação de encravamentos;
 - Verificação do funcionamento do comando local/remoto;
 - Verificação do funcionamento do motor de carregar as molas;
 - Verificação da pressão do SF6 – disparos associados;
- Transformadores de medida:
 - Inspeção visual;
 - Verificação da relação de transformação;
 - Verificação da polaridade, curva de magnetização, classe e erro de medida através de ensaios primários e secundários;
- Rede de terras:
 - Medição da resistência de terra;

- Quadro de média tensão:
 - Inspeção visual;
 - Verificação da equipotencialização do equipamento;
 - Ensaio de isolamento e rigidez dielétrica;
 - Verificação de encravamentos;
 - Verificação dos circuitos de comando e controle;
 - Verificação da existência dos esquemas atualizados;

- Cabos de potência:
 - Ensaio de isolamento entre cada uma das fases e entre cada fase e a massa;

- Quadros de baixa tensão:
 - Inspeção visual;
 - Verificação da equipotencialização do equipamento;
 - Ensaio de isolamento e rigidez dielétrica;
 - Verificação de apertos.

3. PROJETO E GESTÃO DE OBRA: FÁBRICA DE CERVEJA (MOÇAMBIQUE)

3.1. GENERALIDADES

O desenvolvimento de projetos, a execução e fiscalização de obras, na área eletrotécnica, para um país terceiro exige, por um lado, um conhecimento completo acerca do seu corpo legislativo, regulamentar e normativos, assim como de materiais e equipamentos mas, por outro lado, exige também o conhecimento da disponibilidade e fiabilidade da sua rede elétrica, da capacidade de fornecimento de materiais e equipamentos e, obriga ainda, a que se tenha o conhecimento da realidade social, em termos de capacidade de contratação de mão-de-obra local para a execução das obras.

Neste capítulo do relatório apresenta-se o trabalho realizado relativo ao desenvolvimento de projeto e gestão de obra na área eletrotécnica, no âmbito de um contrato de Empreitada EPC (*Engineering – Procurement – Construction*) [40] de uma unidade industrial para produção de cerveja em Moçambique, promovida pela ABinBev, subsidiária em Moçambique da maior cervejeira do mundo, a ABinBev, detentora de mais de 30% [41] da

cota de venda de cerveja mundial, num investimento total de aproximadamente 200 milhões de euros.

O contrato EPC, cujo acrónimo significa *Engineering* (projeto, design), *Procurement* (compras, aquisições) e *Construction* (construção), em que após um concurso, é selecionada uma empresa que será responsável por todas estas etapas.

Para a instalação objeto do presente trabalho de dissertação, a empresa selecionada para o fornecimento da solução de engenharia e da execução de todo o sistema de distribuição de energia em média e baixa tensão, foi a SIEMENS SA.

Numa primeira fase do trabalho foi desenvolvida a solução de engenharia eletrotécnica relativa ao sistema de distribuição de energia em média e baixa tensão e, numa segunda fase do trabalho, foi realizada a gestão de obra da execução do projeto desenvolvido.

Embora tratando-se de um projeto para uma obra em Moçambique, o desenvolvimento da solução técnica foi, de uma forma geral, realizado em Portugal, sendo o contacto com o cliente, ou seu representante legal, realizado, sempre que necessário, à distância, telefonicamente e por videoconferência, mas dada a dimensão e complexidade da instalação, também obrigou a deslocações pontuais ao local da obra, para reuniões de coordenação de projeto

A gestão de obra, nas suas diversas vertentes: técnica, logística, financeira, contratual, exigiu uma presença efetiva e quase permanente em obra, pois há determinados aspetos que devido à sua complexidade de execução e necessidade de supervisão exigem a presença no local de obra.

3.2. DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

O trabalho de engenharia desenvolvido no âmbito da presente dissertação, teve por base uma instalação industrial de produção de cerveja, situada no distrito de Marracuene, em Moçambique, promovida pela CDM, Cervejas de Moçambique, como subsidiária da AbinBev.

Trata-se de uma instalação industrial de grande dimensão, com uma capacidade de produção anual de 200 milhões de litros de cerveja [42], instalada num lote de aproximadamente 714 232 m² e com uma área de construção de aproximadamente 419 326 m².

A unidade industrial é constituída pelas seguintes instalações principais:

- Estação de tratamento de água;
- Zona produção;
- Subestação;
- Zona de caleiras;
- Entrada de camiões;
- Zona de fermentação;
- Zona de furos de água;
- Oficina;
- Zona de carga e descarga;
- Zona de embalamento;
- Área de suporte (clínicas, receção, cantina, vestiários).

A Figura 44 mostra uma vista geral de implantação da instalação, com a identificação da localização das diversas instalações da unidade industrial.



Figura 44: Identificação e localização das diversas instalações da unidade industrial

A Figura 45 mostra uma vista geral da execução da unidade industrial, à data de junho de 2020.



Figura 45: Vista geral da unidade industrial, junho de 2020

3.3. PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

A realização de um projeto para uma unidade industrial de produção de cerveja, é um desafio extremamente exigente para a engenharia em geral e para a engenharia eletrotécnica em particular, quer pela sua dimensão, quer pela quantidade e complexidade de sistemas que estão presentes neste tipo de instalação.

Nos parágrafos seguintes será apresentado o trabalho de projeto de instalações elétricas desenvolvido no âmbito desta instalação, assim como a apresentação e justificação das soluções de engenharia adotadas ao longo do mesmo.

3.3.1. DESCRIÇÃO GERAL DA SOLUÇÃO DE ENGENHARIA

Um projeto EPC incorpora o desenvolvimento da solução, o fornecimento de equipamento, e também a execução da instalação.

A primeira fase, de projeto, é onde ocorre a realização do trabalho de engenharia com o desenvolvimento da solução técnica, tendo por base as condições especificadas pelo dono de obra no caderno de encargos da empreitada.

Em termos de solução geral de engenharia, destaca-se o facto da instalação, devido à falta de capacidade e à baixa fiabilidade da rede pública de transporte e distribuição de energia elétrica Moçambicana, no geral e, em particular, no local de implantação da instalação, ser dotada de uma central local de produção de energia, que assegura a alimentação em regime normal de funcionamento da instalação.

Dada a dimensão física da instalação, assim como a elevada potência necessária para assegurar o esperado funcionamento da instalação, a distribuição de energia dentro do complexo industrial é realizada através de dois (2) anéis de média tensão.

É prevista uma subestação que fará a interligação entre a central geradora e os anéis de distribuição em média tensão, e permitirá também a futura interligação da instalação com a rede pública de distribuição, quando esta for desenvolvida e assegurar os níveis de fiabilidade necessários.

A distribuição de energia em média tensão é realizada por intermédio das duas linhas em anel que irá permitir alimentar doze Postos de Transformação (PT) localizados no interior da unidade industrial.

Os Quadros Gerais de Baixa Tensão (QGBT) dos Postos de Transformação alimentam a rede de distribuição em baixa tensão dentro das instalações de utilização.

Por forma a assegurar a ininterruptão da alimentação das cargas críticas existentes na instalação, esta será dotada de unidades de alimentação ininterrupta (UPS).

3.3.2. ESTIMATIVA DE POTÊNCIA

A estimativa de potência a alimentar para a instalação é de extrema dificuldade e importância, porque se esta não for realizada de forma adequada poderá condicionar o correto funcionamento da instalação ou impor custos desnecessários para a obra.

A estimativa de potência foi realizada tendo por base a definição de cargas definidas numa fase de anteprojecto, sendo especificada no caderno de encargos do cliente, bem como as principais *guidelines* que devem ser seguidas no projecto e dimensionamento das diversas instalações e infraestruturas.

Atendendo à definição de cargas para a instalação, foram instalados dois (2) anéis de média tensão, nos quais serão instalados doze (12) postos de transformação, conforme definido no parágrafo 3.3.4 do presente relatório. A potência instalada nos postos de transformação do anel um (1) é de 12 MVA e a potência instalada no anel dois (2) é de 4,75 MVA, num total 16,75 MVA.

Atendendo à experiência adquirida pela empresa em projectos de instalações similares à informação obtida junto do dono de obra, na estimativa da potência global para a instalação, foi considerado um coeficiente de simultaneidade de 50% face à potência instalada nos postos de transformação, resultante do projecto de detalhe para as cargas, isto é aproximadamente 8,38 MVA.

Atendendo à normalização da potência dos grupos geradores, a central de autoprodução será assim prevista para uma potência de 8,85 MVA.

3.3.3. ALIMENTAÇÃO DA INSTALAÇÃO

3.3.3.1. REDE PÚBLICA

Por um lado, dada a não existência de rede pública no local de implantação deste tipo de unidades industriais ou, se esta existir, a falta de capacidade da mesma para assegurar alimentação das instalações e, por outro lado, os reduzidos índices de fiabilidade da rede pública, seja em termos de continuidade da alimentação, seja em termos de qualidade da onda de tensão, projetos com as características, dimensão e importância do desenvolvido no âmbito da presente dissertação, são em regra, dotados de instalações locais de produção de energia, com capacidade para assegurar o funcionamento normal da instalação.

No local de implantação da unidade industrial, não existe possibilidade de alimentação da mesma através da rede pública de transporte e distribuição de Moçambique.

Atendendo à perspectiva futura de expansão e reforço da potência da rede elétrica de Moçambique, foram previstas infraestruturas na Subestação da instalação, para interligação futura, entre outras, à rede pública de média tensão, a uma tensão de serviço de 33 kV, sendo que é este o nível de tensão utilizado na zona de implementação da unidade industrial, conforme descrito no parágrafo 3.3.3.4 do presente trabalho.

3.3.3.2. CENTRAL DE AUTOPRODUÇÃO

Como não será realizada a interligação da instalação com a rede pública de transporte e distribuição de Moçambique, a instalação será dotada de uma central geradora de produção local de energia elétrica, com recurso a grupos eletrogéneos.

Serão instalados cinco (5) grupos geradores, quatro (4) de 2,2 MVA e um (1) de 0,5 MVA, num total de 8,85 MVA, com tensão de produção de 11 kV, permitindo a interligação direta com a rede de distribuição interna em média tensão, não havendo necessidade de instalação de transformadores elevadores na subestação.

A Figura 46 mostra o local previsto para a instalação da central de produção de energia com recurso a grupos eletrogéneos.



Figura 46: Área prevista para a instalação da central de Autoprodução

A central de produção local de energia elétrica não será desenvolvida no presente trabalho, pois não é um objetivo do mesmo.

3.3.3.3. CENTRAL DE PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA

Atendendo à elevada radiação solar a que o continente africano está exposto e, ao cada vez menor custo dos sistemas de produção solar fotovoltaica, foi previsto, na subestação, um (1) painel para futura interligação do parque de produção de energia solar fotovoltaica, que de acordo com informação disponibilizada pelo dono de obra, tendo por base um estudo prévio realizado, será de 9 MVA.

A Figura 47 mostra o local previsto para a futura instalação da central fotovoltaica.



Figura 47: Área prevista para instalação da futura central fotovoltaica

A central de produção fotovoltaica não será desenvolvida no presente trabalho, pois não é um objetivo do mesmo.

3.3.3.4. SUBESTAÇÃO

3.3.3.4.1. GENERALIDADES

A subestação de uma instalação sendo um elemento de controlo do fluxo de energético entre a produção e as cargas deverá ser alvo de um complexo estudo de forma a poder suprimir todas as necessidades atuais e estar preparada para as possíveis expansões que a instalação possa vir a sofrer.

Se a possibilidade de expansão de uma instalação não for acautelada no seu dimensionamento uma futura expansão poderá revelar-se uma solução bastante mais dispendiosa.

A instalação será dota de uma subestação com a função de, por um lado, permitir a interligação da central de produção local (grupos eletrogéneos), a rede pública de transporte e distribuição e a futura central fotovoltaica e, por outro lado, a distribuição de energia em média tensão na instalação.

A subestação será do tipo interior, equipada com um (1) quadro modular de média tensão, QMMT – denominado pelo cliente de *Main Switchgear* com o nível de tensão de 11 kV, e um (1) sistema de serviços auxiliares de corrente contínua.

O *Main Switchgear* será do tipo “*Metal Enclosed*” constituído por celas modulares de seccionadores e disjuntores que desempenham a função de proteção e corte. Esta solução é caracterizada por ser a solução mais económica uma vez que tem uma operação bastante mais simples da que existe quando estamos perante um equipamento extraível.

A Figura 48 mostra o local previsto para a instalação da subestação.



Figura 48: Área prevista para a instalação da subestação

3.3.3.4.2. ESQUEMA UNIFILAR

A subestação tem um (1) barramento simples interruptível, de forma permitir uma maior flexibilidade na instalação visto que assim é possível realizar uma melhor distribuição de cargas (painéis). Além do equilíbrio de cargas esta solução permite aumentar o nível de fiabilidade da instalação uma vez que assegura a mudança de barramento de alimentação sem que haja corte de energia nas cargas.

A subestação será dotada de dezassete (17) painéis distribuídos pelos dois (2) semi-barramentos: painéis destinados à distribuição de energia, painéis destinados à interligação das fontes locais de produção de energia, painéis de interligação futura com a rede de transporte e distribuição pública, painéis de contagem e consignação e painel de interligação de barramentos. Atendendo à possibilidade de expansão futura da instalação e, por solicitação do dono de obra, foram ainda previstos dois (2) painéis de reserva para a instalação de grupos geradores e outras centrais de produção.

Os painéis constituintes da subestação são:

- Painel 1 – Anel 1;
- Painel 2 – Anel 2;
- Painel 3 – Grupo Gerador 1 de 2.2 MVA;
- Painel 4 – Grupo Gerador 2 de 2.2 MVA;
- Painel 5 – Grupo Gerador 3 de 0.5 MVA;
- Painel 6 – Grupo Gerador 6 de 2.2 MVA (futura possível expansão);
- Painel 7 – Ligação 1 à rede EDM (futura possível expansão);
- Painel 8 – Cella de medida;
- Painel 9 – Inter-Barras;
- Painel 10 – Subida de barras e medida;
- Painel 11 – Ligação 2 à rede pública de distribuição da EDM (futura possível expansão);
- Painel 12 – Central de produção fotovoltaica 9 MVA (futura possível expansão);
- Painel 13 – Gerador 7 de 2.2 MVA (futura possível expansão);
- Painel 14 – Gerador 5 de 2.2 MVA;
- Painel 15 – Gerador 4 de 2.2 MVA;
- Painel 16 – Anel 2;
- Painel 17 – Anel 1.

A Figura 49 mostra o esquema simplificado da subestação.

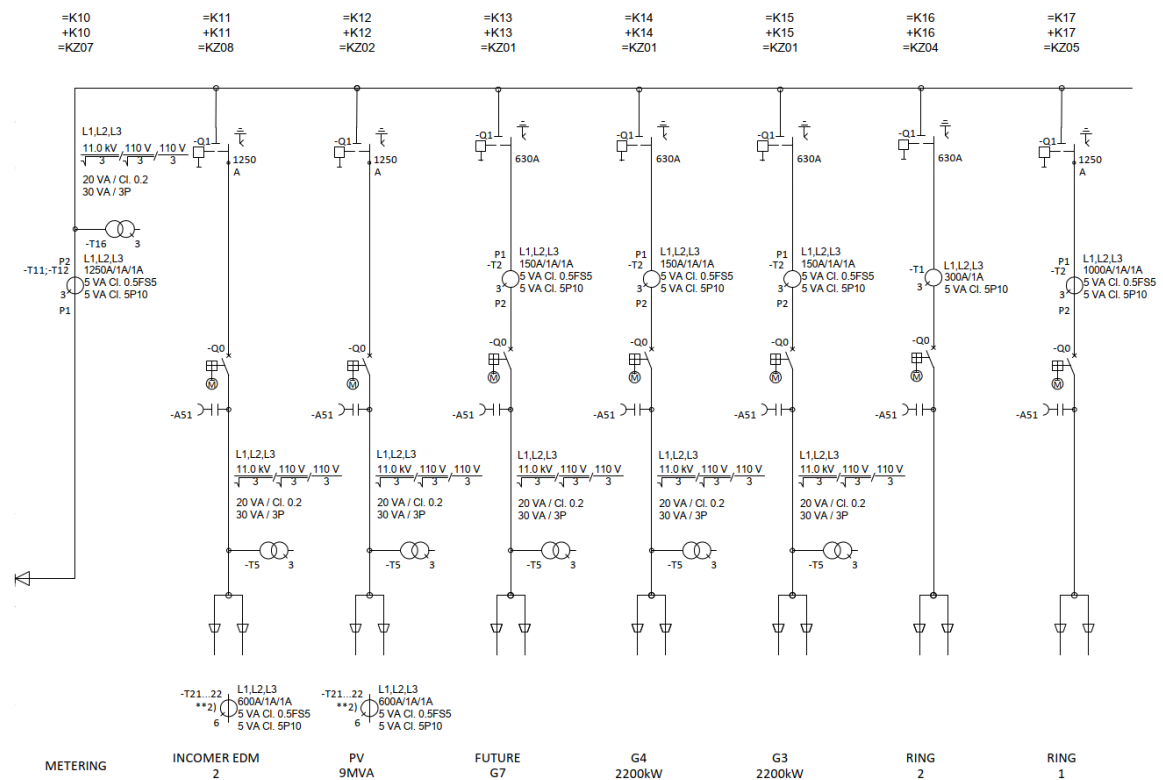
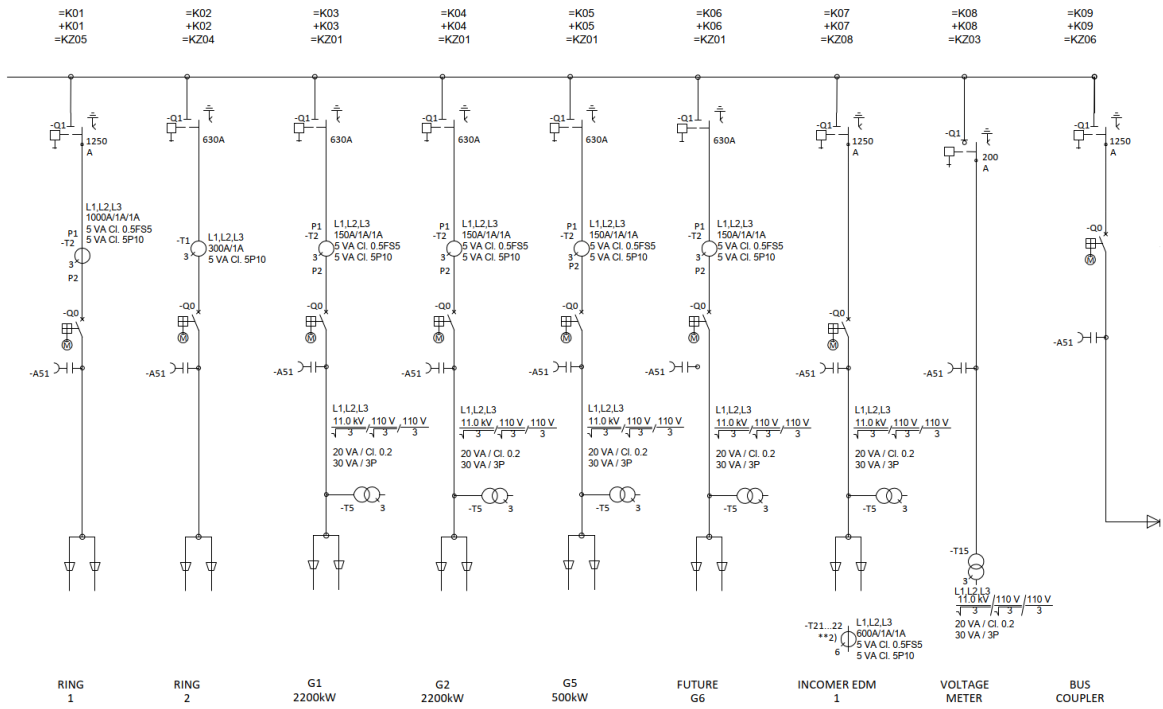


Figura 49: Esquema unifilar simplificado da subestação (Semi-barramento I em cima e Semi-barramento II em baixo)

3.3.3.4.3. BARRAMENTO

O barramento de média tensão é um condutor de baixa impedância ao qual são ligados vários circuitos elétricos, de tipologia barramento simples interruptível.

Foi definida esta tipologia para o barramento de modo a garantir que as cargas nunca fiquem sem energia quando um (1) dos painéis de qualquer semi-barramento tivesse de ser intervencionado.

O barramento será dimensionado para a potência máxima estimada para a instalação que é de 16.75 MVA.

A corrente de serviço no barramento será assim de:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{16\,750\,000}{11\,000 * \sqrt{3}} = 879\,A \quad (16)$$

Foi ainda considerado um fator de expansão futura da instalação de 30% face à potência atual, totalizando assim uma corrente máxima de 1142 A sendo normalizado um barramento com a corrente nominal de 1250 A.

3.3.3.4.4. PAINEL DE ACOPLAMENTO E MEDIÇÃO

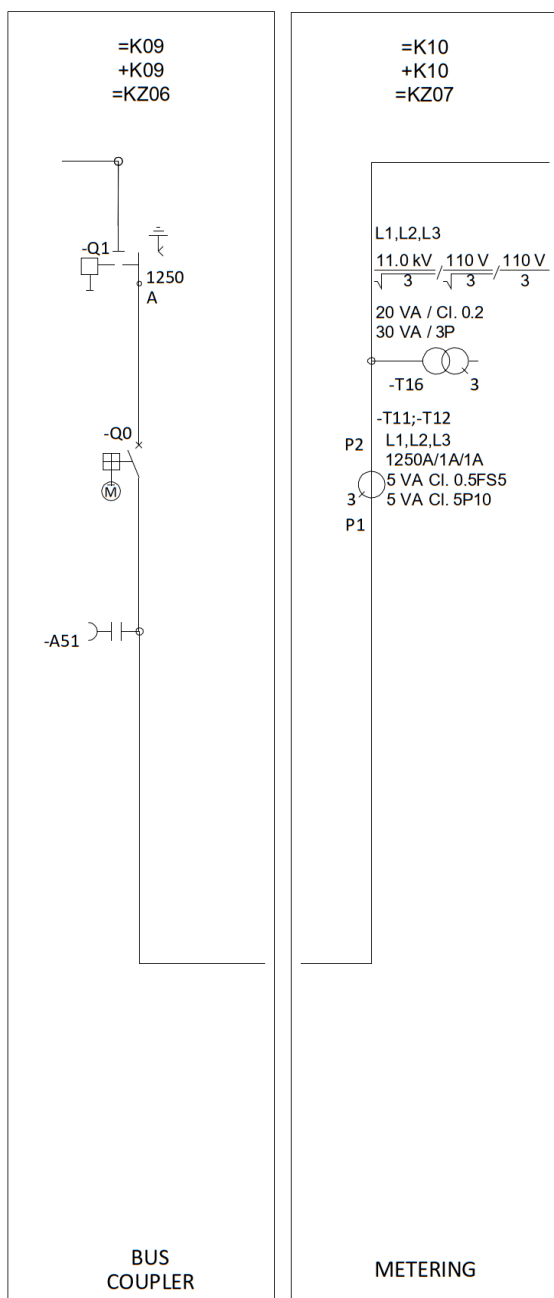


Figura 50: Esquema unifilar do painel Inter-Barras.

O painel de inter-barras tem por função interligar os dois (2) semi-barramentos em caso de necessidade de comutação do fluxo de energia.

O painel de Inter-barras é constituído fisicamente por dois (2) painéis.

Na Figura 50 é possível observar que o primeiro painel é responsável pelo corte e proteção e o segundo painel é destinado à medida e contagem e à subida de barras.

Trata-se de um (1) painel constituído pelos seguintes equipamentos principais:

- Disjuntor

Trata-se do equipamento com a função de proteção com uma corrente nominal de 1250 A, valor correspondente ao máximo suportado pelo barramento.

Este equipamento desempenhará a sua função com o auxílio de um (1) relé de proteção que permitirá a parametrização dos níveis de seletividade pretendidos.

O disjuntor foi ainda definido como motorizado de forma a poder ser operado remotamente.

- **Seccionador - Interruptor**

Trata-se do equipamento de corte, destinado ao isolamento de cada um (1) dos semi-barramentos. Não tendo este equipamento poder de corte geralmente não pode ser manobrado em carga, no entanto, neste caso específico do inter-barras isto não é aplicável uma vez que os dois (2) semi-barramentos têm de estar ao mesmo potencial, logo não há circulação de corrente.

Este equipamento é constituído por um (1) Three Position Switch (TPS) que permite a operação em três (3) modos distintos:

- Seccionador OFF

Este modo tem o seccionador de terras aberto e o seccionador de linha aberto;

- Seccionador ON

O seccionador estará fechado e o seccionador de terra deverá estar aberto – Modo normal de exploração;

- Terras ON

Este modo tem o seccionador de linhas aberto enquanto o seccionador de terras está fechado. Esta manobra acarreta uma atenção extra uma vez que estaremos a aterrar o cabo tendo por isso ter de garantir que a outra extremidade não está em tensão.

- **Transformador de intensidade**

O transformador de medida é o responsável por fornecer ao relé de proteção todas as informações necessárias para a contagem e para a proteção do QMMT.

No caso do painel do inter-barras foi considerado um (1) transformador de corrente com 1250 A no primário, uma vez que é este o valor máximo do quadro. No secundário do TI foram dimensionados dois (2) enrolamentos. Um (1) enrolamento para a medida e um (1) enrolamento para a proteção ambos de 1A. Este valor do secundário foi dimensionado em detrimento do de 5A uma vez que:

- Resulta num menor aquecimento, principalmente em grandes distâncias dado que a potência para 5A tem de ser maior;
- Melhores medidas por causa do corrente arranque necessária para os transformadores de 5A;
- As correntes são menores com 1A e por isso as perdas são necessárias menores nos condutores com 1A, permitindo assim equipamentos com uma menor potência;

- **Transformador de tensão**

O transformador de tensão (TT) é responsável por permitir medir o valor da tensão elétrica, neste caso, no Semi-Barramento II. Esta informação deverá ser enviada para os aparelhos de medida e contagem e para as unidades de proteção, comando e controlo, sendo para isso ligado em paralelo com o barramento.

O TT dimensionado tem o enrolamento primário a 11 kV e dois (2) enrolamentos secundários.

O primeiro enrolamento secundário é destinado à contagem, medida, registo, sincronização e regulação do valor da tensão e este apresenta o valor de $110/\sqrt{3}$ V com uma classe de precisão de 0.2, valor este que permite uma elevada fiabilidade na medida da tensão.

O segundo enrolamento secundário é dimensionado com o objetivo principal de proteção tendo para isso o valor de $110/3$ V com uma classe normalizada de 3P.

3.3.3.4.5. PAINEL DE LINHA – ANÉIS INTERNOS

A subestação integra quatro (4) painéis de linha de média tensão, para alimentação aos dois (2) anéis internos de média tensão.

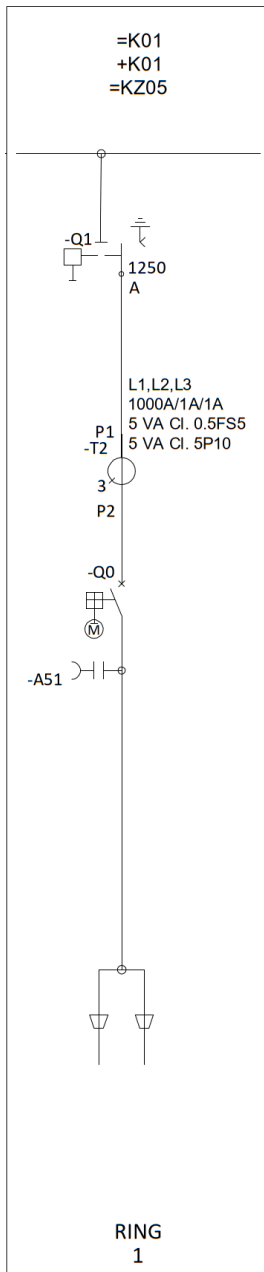


Figura 51: Esquema unifilar de um painel de linha de média tensão

Este painel é destinado à alimentação das duas redes internas de média tensão.

Na Figura 51 é possível observar o esquema unifilar dos painéis de linha de média tensão.

Trata-se de um painel constituído pelos seguintes equipamentos principais:

- Disjuntor

Trata-se do equipamento com a função de proteção com uma corrente nominal de 1250 A, no caso do primeiro anel e 630 A no caso do segundo anel, auxiliado com um relé de proteção parametrizado para efetuar o corte aquando do valor parametrizado fruto do estudo de seletividade da instalação.

$$I = \frac{S}{U} = \frac{12\,000\,000}{11\,000 * \sqrt{3}} = 629\,A \quad (17)$$

$$I = \frac{S}{U} = \frac{4\,750\,000}{11\,000 * \sqrt{3}} = 249\,A \quad (18)$$

Foi aplicado um fator de uniformização ao projeto em que apenas foram dimensionados equipamentos na subestação de 1250 A e 630 A ficando assim salvaguardadas futuras alterações na instalação.

O disjuntor foi ainda dimensionado como motorizado de forma a poder ser operado remotamente.

- **Seccionador - Interruptor**

Trata-se do equipamento de corte, destinado ao isolamento das alimentações de cada um (1) dos ramais das redes internas de média tensão. Este equipamento, por não ter poder de corte, nunca deverá ser manobrado em carga e é constituído por um (1) *Three Position Switch* (TPS) que permite a operação em três (3) modos distintos:

– Seccionador OFF

Este modo tem o seccionador de terras aberto e o seccionador de linha aberto;

– Seccionador ON

O seccionador estará fechado e o seccionador de terra deverá estar aberto – Modo normal de exploração;

– Terras ON

Este modo tem o seccionador de linhas aberto enquanto o seccionador de terras está fechado. Esta manobra acarreta uma atenção extra uma vez que estaremos a aterrar o cabo tendo por isso ter de garantir que a outra extremidade não está em tensão.

- **Transformador de intensidade**

Para medição da corrente no painel de linha das redes internas de média tensão foram considerados TIs de 1000 A e 300 A, conforme o painel (anel um (1) ou anel dois (2)) em que estes seriam instalados.

A Tabela 11 indica as características dos transformadores de intensidade existentes nos diversos painéis de linha da subestação.

Tabela 11: Dimensionamento dos Transformadores de Correntes nos painéis de Linha

| Painel | Alimentação | Potência Máxima Prevista (MVA) | Corrente Máxima Admissível (A) | In Primário (A) | In Secundário (A) |
|---------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| +K01 | Anel 1 | 12 | 630 | 1000 | 1 |
| +K02 | Anel 2 | 4,75 | 249 | 300 | 1 |
| +K16 | Anel 2 | 4,75 | 249 | 300 | 1 |
| +K17 | Anel 1 | 12 | 630 | 1000 | 1 |

Neste equipamento, os TIs, foram considerados enrolamentos secundários duplos de 1 A. Um (1) enrolamento deverá ser usado para a medida e outro enrolamento deverá ser usado para a proteção. A opção do dimensionamento deste valor do secundário em detrimento do de 5 A acontece uma vez que:

- Resulta num menor aquecimento, principalmente em grandes distâncias dado que a potência para 5 A tem de ser maior;
- Melhores medidas por causa do corrente arranque necessária para os transformadores de 5 A;
- A correntes são menores com 1 A e por isso as perdas são necessárias menores nos condutores com 1 A, permitindo assim equipamentos com uma menor potência;

3.3.3.4.6. PAINEL DE ENTRADA – GRUPO GERADOR

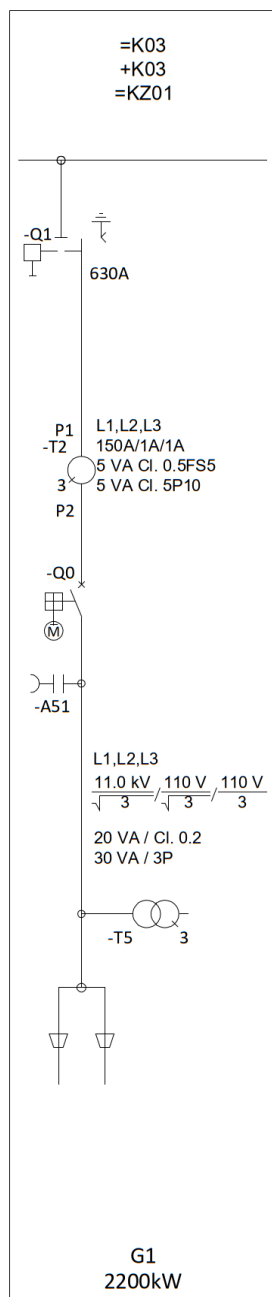


Figura 52: Esquema unifilar dos painéis de grupo geradores

A subestação integra cinco (5) painéis de grupos geradores, quatro (4) de 2,2 MVA e um (1) de 0,5 MVA.

Trata-se de um painel cuja função é interligação dos geradores com os semi-barramentos que por sua vez irão alimentar as cargas da instalação.

A Figura 52 mostra o esquema unifilar dos painéis relativos aos grupos geradores de 2,2 MVA, sendo semelhante para o gerador de 0,5 MVA.

- Disjuntor

O disjuntor tem por função fazer a proteção do equipamento em caso de curto circuito. Apesar da corrente injetada pelos dois (2) geradores ser diferente foi considerado o mesmo equipamento sendo que a seletividade é feita por intermédio do relé de proteção.

$$I = \frac{S}{U} = \frac{2\,200\,000}{11\,000 * \sqrt{3}} = 116\,A \quad (19)$$

$$I = \frac{S}{U} = \frac{500\,000}{11\,000 * \sqrt{3}} = 26\,A \quad (20)$$

Nestes painéis foram considerados equipamentos de 630 A uma vez que é possível ajustar o calibre do mesmo através do Sistema de Proteção de Controlo e Comando (SPCC) utilizado.

- **Seccionador - Interruptor**

O seccionador destina-se ao isolamento deste painel não tendo qualquer poder de corte sendo que apenas deverá ser manobrado em vazio. Este equipamento é, constituído por um *Three Position Switch (TPS)* que permite a operação em três (3) modos distintos:

– Seccionador OFF

Este modo tem o seccionador de terras aberto e o seccionador de linha aberto;

– Seccionador ON

O seccionador estará fechado e o seccionador de terra deverá estar aberto – Modo normal de exploração;

– Terras ON

Este modo tem o seccionador de linhas aberto enquanto o seccionador de terras está fechado. Esta manobra acarreta uma atenção extra uma vez que estaremos a aterrar o cabo tendo por isso ter de garantir que a outra extremidade não está em tensão.

- **Transformador de intensidade**

Por forma a ser possível medir com exatidão a corrente injetada por cada um dos geradores e a garantir a proteção das cablagens foram considerados TIs adequados aos geradores nestes painéis.

Na Tabela 12 está representado o dimensionamento dos transformadores de corrente nos painéis de entrada.

Tabela 12; Dimensionamento dos Transformadores de Corrente nos painéis de entrada

| Painel | Alimentação | Potência Máxima Prevista (MVA) | Corrente Máxima Admissível (A) | In Primário (A) | In Secundário (A) |
|---------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| +K03 | Gerador 1 | 2,2 | 115,5 | 150 | 1 |
| +K04 | Gerador 2 | 2,2 | 115,5 | 150 | 1 |
| +K05 | Gerador 3 | 0,5 | 26,2 | 150 | 1 |
| +K14 | Gerador 5 | 2,2 | 115,5 | 150 | 1 |
| +K15 | Gerador 4 | 2,2 | 115,5 | 150 | 1 |

A corrente nominal do primário foi uniformizada de acordo com a corrente injetada pelo equipamento de maior potência, gerador de 2,2 MVA, sendo por isso dimensionado um equipamento de 150 A com dois (2) enrolamentos de secundários de 1 A.

A escolha dos enrolamentos secundários de 1 A em vez de 5 A deve-se aos seguintes fatores:

- Resulta num menor aquecimento, principalmente em grandes distâncias dado que a potência para 5 A tem de ser maior;
- Melhores medidas por causa do corrente arranque necessária para os transformadores de 5 A;
- A correntes são menores com 1 A e por isso as perdas são necessárias menores nos condutores com 1 A, permitindo assim equipamentos com uma menor potência;

- **Transformador de tensão**

No caso dos painéis destinados a receber a alimentação de energia proveniente dos geradores antes destes serem interligados com o barramento é necessário garantir que os mesmos se encontram ao mesmo potencial tendo sido por isso equipados com TTs que permitem garantir o sincronismo entre as unidades de geração.

O TT dimensionado tem o enrolamento primário a 11 kV e dois (2) enrolamentos secundários.

O primeiro enrolamento secundário é destinado à contagem, medida, registo, sincronização e regulação do valor da tensão e este apresenta o valor de $110/\sqrt{3}$ V com uma classe de precisão de 0.2, valor este que permite uma elevada fiabilidade na medida da tensão.

O segundo enrolamento secundário é dimensionado com o objetivo principal de proteção tendo para isso o valor de 110/3V com uma classe normalizada de 3P.

3.3.3.4.7. PAINEL DE LINHA – REDE PÚBLICA

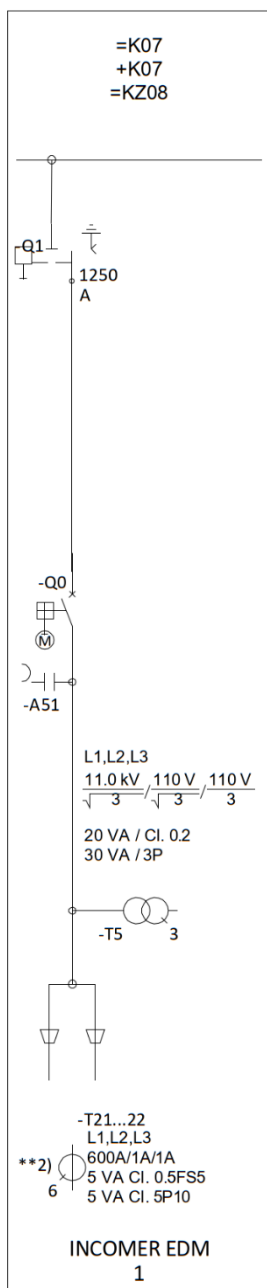


Figura 53: Esquema unifilar dos painéis de linha da rede pública

A subestação integra dois (2) painéis destinados à integração da rede pública.

Trata-se de um painel cuja função é garantir o corte e seccionamento da energia proveniente do distribuidor local de energia.

A Figura 53 mostra o esquema unifilar dos painéis de linha da rede pública. Estes painéis são equipados com:

- Disjuntor

O aparelho de corte presente, destinado à proteção da canalização proveniente da rede pública, foi dimensionado de acordo com a corrente máxima permitida no quadro uma vez que não existiu uma indicação atempada e clara, por parte do distribuidor local de energia, de qual o calibre que deveria ter sido considerado.

O disjuntor foi ainda definido como motorizado de forma a poder ser operado remotamente.

- Seccionador - Interruptor

O seccionador destina-se ao isolamento da alimentação externa à instalação, rede pública, sendo que este não possui qualquer poder de corte podendo apenas ser manobrado em vazio. Este equipamento é, constituído por um (1) Three Position Switch (TPS) que permite a operação em três (3) modos distintos:

- Seccionador OFF

Este modo tem o seccionador de terras aberto e o seccionador de linha aberto;

- Seccionador ON

O seccionador estará fechado e o seccionador de terra deverá estar aberto – Modo normal de exploração;

- Terras ON

Este modo tem o seccionador de linhas aberto enquanto o seccionador de terras está fechado. Esta manobra acarreta uma atenção extra uma vez que estaremos a aterrar o cabo tendo por isso ter de garantir que a outra extremidade não está em tensão.

- **Transformador de intensidade**

No caso dos transformadores de corrente, os TIs, não havendo uma informação clara de qual a potência da rede que iria alimentar a instalação foram considerados equipamentos com um fator de simultaneidade de 50% da capacidade do barramento. Esta decisão foi tomada tendo em conta o conhecimento da empresa na realização de projetos similares no mesmo mercado.

O TI tem o enrolamento primário de 600 A com dois (2) núcleos secundários de 1 A. O primeiro núcleo é destinado à contagem, medida e leitura de valores enquanto o segundo é destinado à proteção contra sobreintensidades e sobrecargas.

A opção pelo enrolamento secundário de 1 A foi tomada devido às seguintes vantagens em relação aos secundários de 5 A:

- Resulta num menor aquecimento, principalmente em grandes distâncias dado que a potência para 5 A tem de ser maior;
- Melhores medidas por causa do corrente arranque necessária para os transformadores de 5 A;
- A correntes são menores com 1 A e por isso as perdas são necessárias menores nos condutores com 1 A, permitindo assim equipamentos com uma menor potência;

- **Transformador de tensão**

O transformador de tensão integrado neste painel tem como principal função garantir que no caso de haver um fluxo de energia proveniente da rede pública esta se encontra ao mesmo potencial antes de ser interligada com o barramento da subestação.

O TT dimensionado tem o enrolamento primário a 11 kV e dois (2) enrolamentos secundários.

O primeiro enrolamento secundário é destinado à contagem, medida, registo, sincronização e regulação do valor da tensão e este apresenta o valor de $110/\sqrt{3}$ V com uma classe de precisão de 0.2, valor este que permite uma elevada fiabilidade na medida da tensão.

O segundo enrolamento secundário é dimensionado com o objetivo principal de proteção tendo para isso o valor de 110/3V com uma classe normalizada de 3P.

3.3.3.4.8. PAINEL TRANSFORMADOR DE TENSÃO

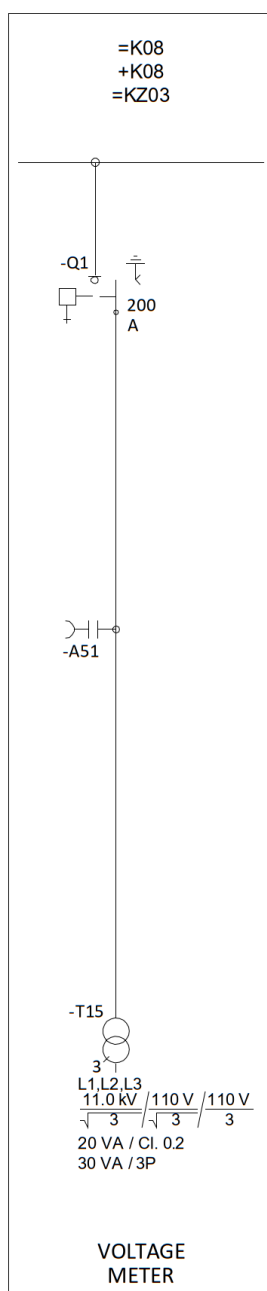


Figura 54: Esquema unifilar do painel de medida

Trata-se de um painel cuja função é fornecer o valor da tensão a que o barramento está a ser sujeito para os aparelhos de medida e contagem e também para o sistema de proteção, controlo e comando.

A Figura 54 representa o esquema unifilar do painel de medida.

No caso do primeiro semi-barramento teve que ser dimensionado um painel específico para esta função uma vez que o equipamento não permite a colocação de transformadores de tensão diretamente no barramento.

Trata-se de um painel constituído por:

- Seccionador - Interruptor

O interruptor destina-se ao isolamento da ligação aos transformadores de tensão. Este equipamento não necessita de ser articulado com equipamento com poder de corte uma vez que a corrente que por ele irá circular terá um valor residual. O interruptor é, constituído por um Three Position Switch (TPS) que permite a operação em três (3) modos distintos:

- Seccionador OFF

Este modo tem o interruptor de terras aberto e o interruptor de linha aberto;

- Seccionador ON

O interruptor estará fechado e o interruptor de terra deverá estar aberto – Modo normal de exploração;

– Terras ON

Este modo tem o interruptor de linhas aberto enquanto o interruptor de terras está fechado. Esta manobra acarreta uma atenção extra uma vez que estaremos a aterrar o cabo tendo por isso ter que garantir que a outra extremidade não está em tensão.

- **Transformador de tensão**

Será o TT o responsável por medir o valor da tensão elétrica, neste caso, no semi-barramento I. Esta informação deverá ser enviada para os aparelhos de medida e contagem e para as unidades de proteção, comando e controlo, sendo para isso ligado em paralelo com o barramento.

O cruzamento da informação recebida por este equipamento no semi-barramento I e o recebido no semi-barramento II irá permitir fazer o sincronismo entre ambos os barramentos garantindo que no momento de fecho do mesmo este se encontra ao mesmo potencial.

O TT dimensionado tem o enrolamento primário a 11 kV e dois (2) enrolamentos secundários.

O primeiro enrolamento secundário é destinado à contagem, medida, registo, sincronização e regulação do valor da tensão e este apresenta o valor de $110/\sqrt{3}$ V com uma classe de precisão de 0.2, valor este que permite uma elevada fiabilidade na medida da tensão.

O segundo enrolamento secundário é dimensionado com o objetivo principal de proteção tendo para isso o valor de $110/3$ V com uma classe normalizada de 3P.

3.3.3.4.9. SERVIÇOS AUXILIARES

Este quadro foi dimensionado para ter os seus serviços auxiliares, responsáveis por alimentar os compartimentos de baixa tensão, as motorizações dos disjuntores, os relés de proteção e os indicadores luminosos que indicam o estado de cada painel, a funcionar a 110 VDC.

Para corresponder ao caderno de encargos a solução desenvolvida/instalada foi um armário de Serviços Auxiliares de Corrente Contínua (SACC) com um retificador 230 VAC / 110VDC com a incorporação de baterias que permitem uma autonomia de cinquenta (50) minutos.

Como medida de segurança foram ainda dimensionados os painéis com bobines de mínima tensão para que no caso de falhar a alimentação à instalação por mais de cinquenta (50) minutos a bobine irá ser responsável pela abertura dos painéis.

Cinquenta (50) minutos de autonomia do SACC permitem ao explorador da instalação ter tempo para analisar o defeito e repor a energia sem interferir com o normal funcionamento do quadro.

3.3.3.4.10. OUTRAS PARTICULARIDADES

Devido ao facto de esta ser uma instalação localizada no continente africano onde nem sempre os técnicos têm qualificações adequadas para a exploração deste equipamento foi desenvolvido uma solução que permite desligar/ligar o painel de quadro localmente a uma distância segura de pelo menos 20 metros.

Para isso foi projetada uma (1) “Caixa de comando à distância”, ilustrada na Figura 55 que depois de conectada ao painel, permite abrir ou fechar o painel a uma distância superior a vinte (20) metros.



Figura 55: Caixa de comando à distância

No que toca ao funcionamento interno da ficha de comando esta apresenta uma filosofia de funcionamento bastante simples. É composta por dois (2) contactos normalmente abertos – NO que quando pressionados fecham e permitem passar a polaridade para a bobine de abertura e/ou de disparo, ou no caso desta instalação para a proteção.

Usando um conector macho de uma ficha trifásica ligada à ficha de comando, assim que clicamos no botão ON o contacto L3 – PE será fechado e sua vez irá ativar a BI, Binary Input, do relé de proteção que através da parametrização irá fazer atracar a bobine de fecho do disjuntor. Uma engenharia semelhante acontece para a abertura do disjuntor L1 – L2, terá de ser fechada através do botão OFF da ficha e uma outra BI é ativada que faz ativar novamente ativar uma bobina, mas tratando-se desta vez de uma bobine de abertura.

Na Figura 56 está representado o esquema elétrico da Caixa de Comando à distância.

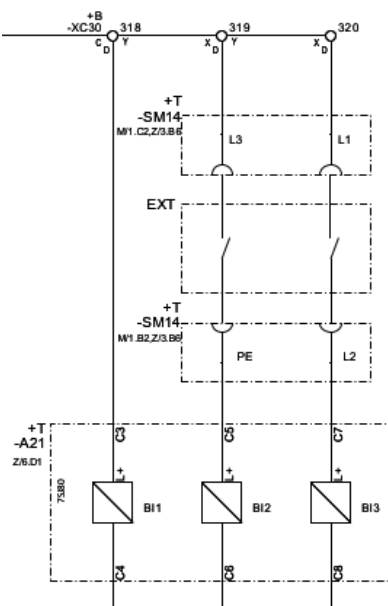


Figura 56: Esquema elétrico da caixa de comando à distância

3.3.4. REDE INTERNA DE MÉDIA TENSÃO

3.3.4.1. GENERALIDADES

Dado o elevado valor da potência especificada para a instalação, assim como a elevada distância entre cargas/áreas a alimentar, foi necessário realizar uma rede de distribuição interna de média tensão.

A distribuição interna em média tensão será realizada através de duas redes em anel.

Um anel, dimensionado para uma potência de 12 MVA, que integrará seis (6) postos de transformação de 2000 kVA cada e, um outro anel, dimensionado para uma potência de 4,75 MVA, que integrará seis (6) postos de transformação, mas, neste caso, de menor potência: um (1) transformador de 1500 kVA, três (3) transformadores de 800 kVA, um (1) transformador de 500 kVA e um (1) transformador de 350 kVA.

A opção pela construção de dois (2) anéis justifica-se pelo facto de termos dois (2) objetivos distintos na alimentação. O anel de 12 MVA é totalmente dedicado à alimentação do equipamento essencial na produção, enquanto o segundo anel, é um anel exterior que

percorrerá toda a periferia da unidade industrial e é responsável por alimentar aquilo que serão considerados os serviços auxiliares para o funcionamento da instalação.

A Figura 57 mostra o diagrama unifilar da rede de distribuição de energia elétrica em média tensão da instalação.

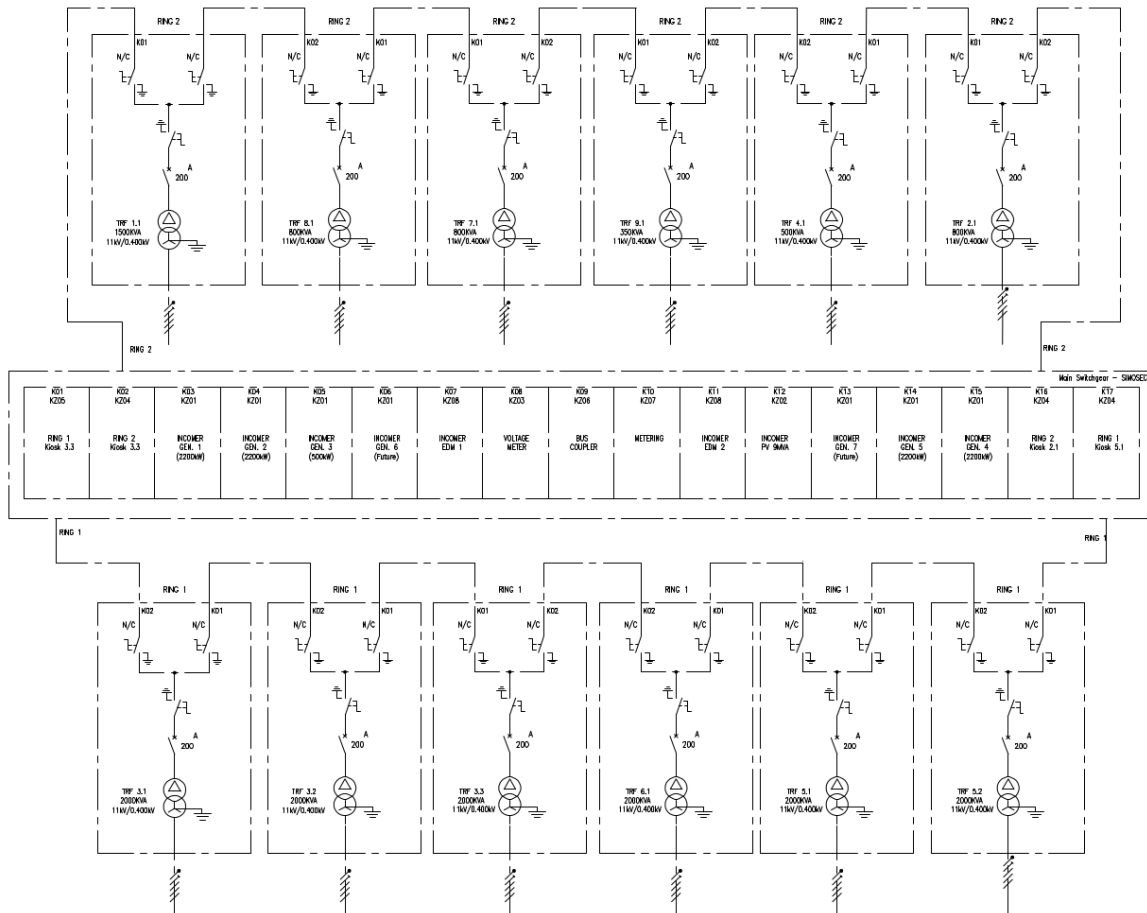


Figura 57: Diagrama unifilar de média tensão da instalação

3.3.4.2. ANEL 1

3.3.4.2.1. CONSTITUIÇÃO

A alimentação a este anel é realizada por intermédio do painel +K01 e +K17 do quadro SIMOSEC, quadro modular de média tensão (QMMT) da subestação, alimentando seis (6) postos de transformação (PT) de 2000 kVA cada um.

Por requisito do cliente, os troços de cabos da rede interna de média tensão deverão ser dimensionados para permitir no futuro a ligação de mais dois (2) transformadores de 2 MVA e dois (2) de 1,5 MVA.

A Tabela 13 indica os postos de transformação alimentados pelo anel um (1) de média tensão.

Tabela 13: Postos de transformação alimentados pelo Anel 1

| Postos de Transformação | Alimentação | Potência Transformadores (kVA) |
|--------------------------------|----------------------------------|---|
| 3.1 | Área de produção 1 | 2000 |
| 3.2 | Área de produção 2 | 2000 |
| 3.3 | Área de produção 3 | 2000 |
| 3.4 (futura instalação) | Área de produção 4 | 2000 |
| 5.1 | Cervejaria | 2000 |
| 5.2 | Área de processamento de cerveja | 2000 |
| 5.3 (futura instalação) | Área de fermentação | 2000 |
| 6.1 | Linha de embalagem 1 | 2000 |
| 6.2 (futura instalação) | Linha de embalagem 3 & 4 | 1500 |
| 6.3 (futura instalação) | Linha de embalagem 5 & 6 | 1500 |

3.3.4.2. TIPO DE CANALIZAÇÃO

A rede de média tensão terá métodos de instalação diferentes consoante o anel a que se refere.

No anel um (1) esta será realizada enterrada diretamente no solo. Esta solução apesar de levar à diminuição da capacidade de condução dos cabos foi a selecionada com o objetivo de diminuir o custo da instalação, nomeadamente da tubagem e a otimização do tempo de instalação uma vez que o tempo necessário para instalar o troço de cabo enterrado ser significativamente menor do que se o mesmo fosse entubado.

Contudo, em caso de defeito no cabo, o custo para a reparação/substituição é consideravelmente maior mesmo que estejamos a falar de troços relativamente pequenos.

A Figura 58 é um exemplo de uma vala usada para a instalação do cabo.

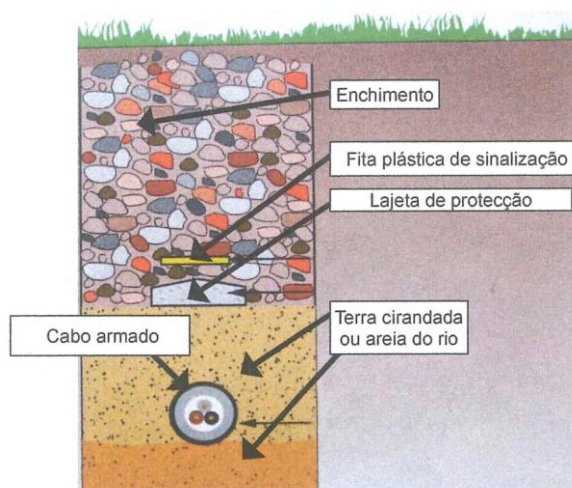


Figura 58: Exemplo de uma vala usada para a instalação do cabo

3.3.4.2.3. DIMENSIONAMENTO DA CANALIZAÇÃO

- Corrente de serviço

A potência total instalada no anel um (1) é de 12 MVA. No entanto, para fins de dimensionamento, a potência de serviço será igual à potência instalada mais o somatório da potência que se prevê que possa vir a ser instalada neste anel, totalizando o valor de 19 MVA.

O cenário de expansão foi tido em consideração uma vez que este anel é considerado o anel principal da instalação, responsável por alimentar as áreas de produções em que se prevê a necessidade de expansão devido ao crescimento da unidade industrial.

Tendo em conta a experiência da empresa em projetos anteriores e a informação adquirida junto do cliente foi selecionado um coeficiente de simultaneidade para este anel de 70%.

Assim, a corrente de serviço no anel um (1) é de:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{19\ 000\ 000}{11\ 000 * \sqrt{3}} * 70\% = 699\ A \quad (21)$$

A Figura 59 mostra as correntes de serviços nos diversos troços do anel, em função do ponto de abertura do mesmo.

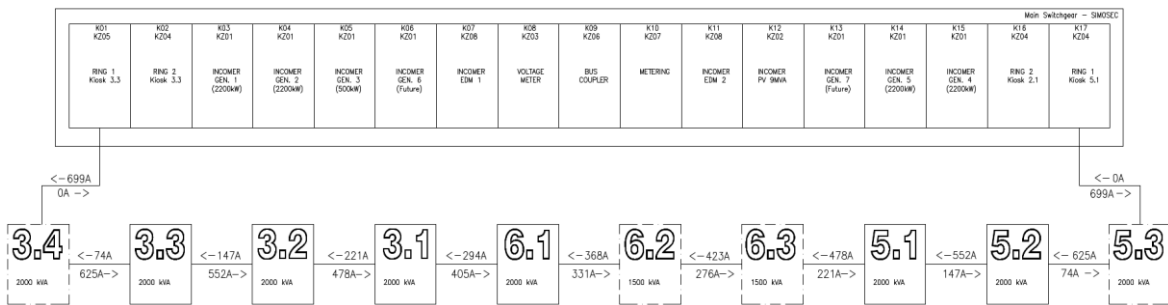


Figura 59: Corrente de serviço nos diversos troços do Anel 1

- **Seleção do cabo**

Um dos primeiros fatores a ter em conta foi o tipo de cabo a ser considerado.

A “portabilidade” do cabo é um fator de grande importância uma vez que a realização de projetos em Moçambique obriga a processos logísticos bastante complexos pois os grandes distribuidores encontram-se maioritariamente na Europa ou no continente asiático.

Pelo motivo anteriormente descrito foi selecionado um cabo tripolar de forma a poder simplificar esses mesmos processos. A vantagem desta escolha cifra-se na redução dos volumes de transporte pois com uma menor quantidade de bobines estamos a fornecer cabo para três (3) fases.

Sendo este cabo instalado diretamente no solo o mesmo foi também dimensionado com proteção mecânica, armado, uma vez que esta opção permite ter uma maior resistência mecânica a que este estará sujeito uma vez que não existirá nenhuma tubagem de proteção.

Para a seleção do cabo foi necessário recorrer a um catálogo de fabricante onde é possível ter acesso às características técnicas do mesmo conforme a Tabela 14.

Tabela 14: Características do cabo de média tensão do Anel 1

| Tensão (kV) | Secção (mm ²) | Corrente Máxima Admissível – Iz | Reatância Capacitiva (Ω*Km) | Resistência em Corrente Alternada (Ω/Km) |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|
| | | Enterrado Diretamente no Solo (A) | | |
| 8.7/15 | 25 | 168 | 10,067 | 0,970 |
| | 35 | 200 | 8,993 | 0,700 |
| | 50 | 237 | 7,991 | 0,517 |
| | 70 | 288 | 7,139 | 0,358 |
| | 95 | 343 | 6,366 | 0,259 |
| | 120 | 388 | 5,816 | 0,206 |
| | 150 | 435 | 5,355 | 0,168 |
| | 185 | 489 | 4,936 | 0,135 |
| | 240 | 565 | 5,061 | 0,104 |
| | 300 | 634 | 4,636 | 0,085 |

Pela análise da tabela acima podemos concluir que de forma rápida para uma corrente de serviço de 699 A as opções possíveis são dois (2) condutores por fase de 240 mm² ou 300 mm².

Como ponto de partida é necessário calcular as perdas por efeito de Joule para estas duas seções:

$$W_{jtotal} = R_{ca} * I_n^2 \quad (22)$$

Onde:

- R_{ca} → Resistência em corrente alternada (Ω/Km);
- I_n → Corrente Nominal (A).

Posto isto obtém-se os valores presentes na Tabela 15.

Tabela 15: Perdas por efeito de Joule nos cabos do Anel 1

| Corrente Nominal (A) | Secção (mm²) | Resistência em Corrente Alternada (Ω/Km) | Perdas por Efeito de Joule (W/Km) |
|-----------------------------|--------------------------------|--|--|
| 699 | 240 | 0,104 | 50 815 |
| | 300 | 0,085 | 41 531 |

Para calcular as perdas totais do cabo é necessário ainda calcular as perdas por efeito capacitivo presentes na Tabela 16.

$$W_{dtot} = \frac{U_0^2 * \tan \delta}{X_c} \quad (23)$$

Onde:

- U_0 → Tensão fase-terra do sistema = $11000/\sqrt{3} = 6351$ V;
- $\tan \delta$ → fator de perdas no dielétrico - Para cabos isolados a XLPE considerar 0.008;
- X_c → Reatância capacitiva.

Tabela 16: Cálculo das perdas por efeito capacitivo no Anel 1

| Tensão Fase-Terra (V) | Secção (mm ²) | Fator de Perdas no Dielétrico | Reatância Capacitiva (Ω*Km) | Perdas por Efeito Capacitivo (W/Km) |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 6351 | 240 | 0,008 | 5,061 | 63 758 |
| | 300 | 0,008 | 4,636 | 69 603 |

O valor total das perdas é o somatório das perdas por efeito de Joule e das perdas por efeito capacitivo, resultando assim no valor representado na Tabela 17.

$$W_{totalis} = R_{ca} * I_n^2 + \frac{U_0^2 * \tan \delta}{X_c} \quad (24)$$

Tabela 17: Perdas totais dos cabos no Anel 1

| Secção (mm ²) | Perdas por Efeito de Joule (W/Km) | Perdas por Efeito Capacitivo (W/Km) | Perdas Totais (W/Km) |
|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 240 | 50 815 | 63 758 | 114 573 |
| 300 | 41 531 | 69 603 | 111 135 |

As perdas nos cabos calculadas anteriormente levam a que a temperatura no interior das valas, com uma profundidade de cento e cinquenta centímetros (150cm) e uma largura de cem (100) centímetros, aumente sendo para isso necessário calcular o acréscimo de temperatura de acordo com a fórmula seguinte e o resultado presente na Tabela 18.

$$\Delta T = \frac{W_{\text{totais}} * 10^{-4}}{3_p} \quad (25)$$

Onde:

- P → perímetro da vala considerada.

Tabela 18: Acréscimo de temperatura no interior da vala do Anel 1

| Secção (mm ²) | Perdas Totais (W/Km) | Perímetro da Vala (m) | Acréscimo de Temperatura (°C) |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 240 | 114 573 | 4 | 15,3 |
| 300 | 111 135 | 4 | 9,3 |

Considerando todas as informações apresentadas acima é possível calcular o fator de correção que deverá ser aplicado ao cabo através da seguinte formula:

$$f_c = \sqrt{\frac{T_c - T_a - \Delta T}{T_c - T_a}} \quad (26)$$

Onde:

- T_c → Temperatura máxima admissível em regime normal de operação (°C);
- T_a → Temperatura ambiente do local de instalação do cabo (°C).

Resultando no fator de correção presente na Tabela 19:

Tabela 19: Fator de correção no cabo do Anel 1

| Secção (mm²) | Temperatura de Operação (°C) | Temperatura Ambiente (°C) | Acréscimo de Temperatura (°C) | Fator de Correção |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 240 | 90 | 25 | 15,3 | 0,9 |
| 300 | 90 | 25 | 9,3 | 0,9 |

Tendo em conta que serão cabos em paralelo deverá ser considerado um fator de agrupamento consoante o nível de condutores e um fator de temperatura tendo em conta a temperatura ambiente média do local da instalação. No caso de Moçambique foi considerado 25°C.

Estando os três (3) fatores considerados, fator de correção, fator de temperatura e fator de agrupamento, estes terão de ser multiplicados pela corrente máxima admissível para ser possível analisar quais os cabos que conseguem suportar a corrente nominal do circuito conforme Tabela 20.

Tabela 20: Definição da secção de cabo a ser usada no Anel 1

| Secção (mm ²) | Corrente Máxima Admissível – Iz | Fator de Correção | Cabos em Paralelo | Fator de Agrupamento - fa | Fator de Temperatura (25°C) - ft | Corrente corrigida (A) | Corrente Final (A) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------|
| 240 | 565 | 0,87 | 1 | 1,00 | 0,97 | 479,34 | 479,34 |
| | | | 2 | 0,83 | | 397,85 | 795,71 |
| | | | 3 | 0,76 | | 364,30 | 1092,90 |
| | | | 4 | 0,67 | | 321,16 | 1284,63 |
| 300 | 634 | 0,93 | 1 | 1,00 | 0,97 | 569,49 | 569,49 |
| | | | 2 | 0,83 | | 472,67 | 945,35 |
| | | | 3 | 0,76 | | 432,81 | 1298,43 |
| | | | 4 | 0,67 | | 381,56 | 1526,22 |

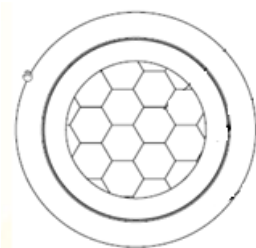
Tendo em conta os dados acima a escolha recaiu num cabo tripolar de 240 mm² com dois (2) condutores por fase. Esta escolha foi baseada no preço de aquisição do cabo, no peso do transporte e na facilidade da instalação do mesmo.

Para o condutor de terra do anel, responsável por toda a equipotencialização, optou-se por instalar um cabo monopolar de 120 mm², metade da secção do condutor ativo.

Posto isto na Figura 60 estão representados um dos cabos que poderão ser instalados no anel um (1).



8.7/15 kV 3CX240 mm^2 CU C2XLPE/CTS/SWA/PVC BK



1 kV, 1 C x 120 Cu (Cl2)/PVC-70°/PVC

Figura 60: Cabo de média tensão do anel 1

3.3.4.3. ANEL 2

3.3.4.3.1. CONSTITUIÇÃO

O segundo anel da instalação, conforme já descrito, tem uma potência de 4.75 MVA. Apesar de ter uma potência menor quando comparado com o anel um (1), tem uma distância significativamente maior.

Este será o anel que irá fazer todo o perímetro exterior da fábrica e alimentar aquilo que podem ser considerados como os serviços auxiliares da instalação como cantina, entradas, gabinetes administrativos, oficinas, ETAR etc.

Ao contrário do que aconteceu no anel principal, anel um (1), este anel tem postos de transformação com diferentes potências, naturalmente de acordo com a área que alimentam. Estas diferenças variam entre os 350 kVA e os 1500 kVA, de acordo com a Tabela 21 e com a particularidade de não se prever expansão neste anel.

Tabela 21: Descrição de áreas alimentadas pelo Anel 2

| Posto de Transformação | Alimentação | Potência Transformador (kVA) |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 2.1 | ETAR | 800 |
| 4.1 | Furos de água | 500 |
| 9.1 | Oficina de trabalho | 350 |
| 7.1 | Central de incêndio | 800 |
| 8.1 | Cantina | 800 |
| 1.1 | Portão | 1500 |

3.3.4.3.2. TIPO DE CANALIZAÇÃO

Este anel, por ser uma alimentação secundária e que faz toda a periferia da instalação tem uma distância significativamente maior (cerca de três (3) km) sendo que por esse motivo foi instalado dentro de tubagens construídas especificamente para a linha de média tensão.

Esta alteração do método de instalação em relação ao anel um (1) aconteceu devido ao facto de que em caso de defeito onde fosse necessário proceder à reparação/substituição do cabo a complexidade de rasgar o pavimento implicava transtornos na produção da fábrica, nomeadamente nas vias de circulação internas.

A Figura 61 representa o esquema de uma instalação de cabos instalados dentro de tubagens enterradas no solo.

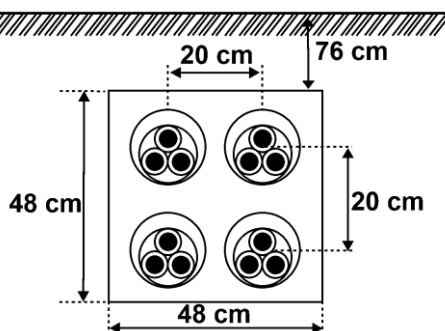


Figura 61: Exemplo de um cabo instalado dentro de tubagens enterradas no solo

3.3.4.3.3. DIMENSIONAMENTO DA CANALIZAÇÃO

Sendo que a potência deste anel é de 4.75 MVA, para fins de dimensionamento e conforme o usado no anel anterior foi considerado um valor de fator de simultaneidade de 70%. Este valor foi uma vez mais definido tendo em conta a informação recolhida junto do cliente e a experiência da empresa em projetos similares.

A corrente de serviço no anel dois (2) é de:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{4\,750\,000}{11\,000 * \sqrt{3}} * 70\% = 175\,A \quad (27)$$

A Figura 62 mostra as correntes de serviços nos diversos troços do anel dois (2), em função do ponto de abertura do mesmo.

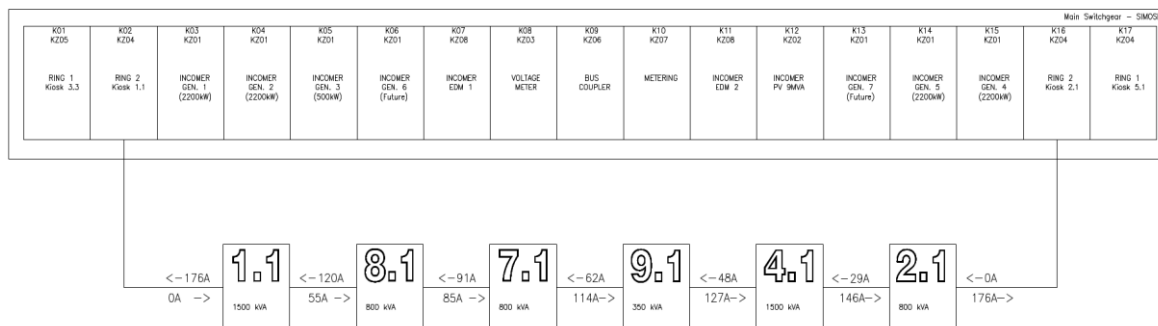


Figura 62: Corrente de serviço nos diversos troços do Anel 2

- **Seleção do cabo**

Para a seleção do cabo a ser instalado no anel dois (2) a característica da “portabilidade” foi igualmente importante pelo que foi novamente selecionado, e pelo mesmo motivo, um cabo tripolar.

Apesar deste cabo ser instalado maioritariamente dentro de tubagens foi novamente dimensionado um cabo armado por forma a manter o padrão do cabo selecionado no anel anterior e oferecer uma maior resistência mecânica ao mesmo.

Tendo as características principais do cabo definidas recorreu-se à tabela de características técnicas para começar o dimensionamento da seção a utilizar. Estas características estão resumidas na Tabela 22.

Tabela 22: Características do cabo de média tensão do anel 2

| Tensão (kV) | Secção (mm ²) | Corrente Máxima Admissível – Iz | Reatância Capacitiva (Ω*Km) | Resistência em Corrente Alternada (Ω/Km) |
|-------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--|
| | | Entubado Diretamente no Solo (A) | | |
| 8.7/15 | 25 | 98 | 10,067 | 0,970 |
| | 35 | 117 | 8,993 | 0,700 |
| | 50 | 138 | 7,991 | 0,517 |
| | 70 | 168 | 7,139 | 0,358 |
| | 95 | 200 | 6,366 | 0,259 |
| | 120 | 227 | 5,816 | 0,206 |
| | 150 | 254 | 5,355 | 0,168 |
| | 185 | 286 | 4,936 | 0,135 |
| | 240 | 330 | 5,061 | 0,104 |
| | 300 | 369 | 4,636 | 0,085 |

Pelas informações constantes na tabela acima pode-se concluir que para a corrente de serviço de 175 A as opções válidas são os condutores com 95 mm^2 ou 120 mm^2 . Neste caso não iremos necessitar de instalar cabos em paralelo pelo que apenas um (1) condutor por fase será suficiente.

O dimensionamento é em tudo semelhante ao realizado no anel anterior onde começamos por calcular as perdas por efeito de Joule para as duas secções seleccionadas conforme ilustrado Tabela 23.

Tabela 23: Perdas por efeito de Joule no cabo do Anel 2

| Corrente Nominal (A) | Secção (mm²) | Resistência em Corrente Alternada (Ω/Km) | Perdas por Efeito de Joule (W/Km) |
|-----------------------------|--------------------------------|---|--|
| 175 | 95 | 0,259 | 7 888 |
| | 120 | 0,206 | 6 274 |

Posto isto, deve-se calcular de seguida as perdas por efeito capacitivo de acordo com a Tabela 24.

Tabela 24: Perdas por efeito capacitivo no cabo do Anel 2

| Tensão Fase-Terra (V) | Secção (mm²) | Fator de Perdas no Dielétrico | Reatância Capacitiva (Ω*Km) | Perdas por Efeito Capacitivo (W/Km) |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|
| 6351 | 95 | 0,008 | 6,366 | 50 686 |
| | 120 | 0,008 | 5,816 | 55 479 |

Tendo já calculado o valor de ambas as perdas, o valor total das perdas do cabo será o somatório das perdas por efeito de Joule e das perdas por efeito capacitivo conforme Tabela 25.

Tabela 25: Perdas totais do cabo no Anel 2

| Secção (mm²) | Perdas por Efeito de Joule (W/Km) | Perdas por Efeito Capacitivo (W/Km) | Perdas Totais (W/Km) |
|--------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 95 | 7 888 | 50 686 | 58 574 |
| 120 | 6 274 | 55 479 | 61 753 |

Uma vez mais com o valor das perdas totais é possível determinar o acréscimo de temperatura que os cabos irão provocar no interior das tubagens.

À semelhança do que acontece com o anel um (1) as valas projetadas com cento e cinquenta (150) centímetros de profundidade e uma largura de cem (100) centímetros obteve-se o valor de acréscimo de temperatura presente na Tabela 26.

Tabela 26: Acréscimo de temperatura no interior da vala do Anel 2

| Secção (mm²) | Perdas Totais (W/Km) | Perímetro da Vala (m) | Acréscimo de Temperatura (°C) |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 95 | 58 574 | 4 | 7,8 |
| 120 | 61 753 | 4 | 5,1 |

Estando o valor do acréscimo de temperatura definido é possível determinar o fator de correção que deverá ser aplicado, sendo este o presente na Tabela 27.

Tabela 27: Fator de correção no cabo do Anel 2

| Secção (mm ²) | Temperatura de Operação (°C) | Temperatura Ambiente (°C) | Acréscimo de Temperatura (°C) | Fator de Correção |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 95 | 90 | 25 | 7,8 | 0,94 |
| 120 | 90 | 25 | 5,1 | 0,96 |

Estando este último fator calculado temos todas as condições para que seja possível determinar qual a secção a ser usada em função da Tabela 28.

Tabela 28: Definição da secção a ser usada no Anel 2

| Secção (mm ²) | Corrente Máxima Admissível – Iz | Fator de Correção | Cabos em Paralelo | Fator de Agrupamento - fa | Fator de Temperatura (25°C) - ft | Corrente Corrigida (A) | Corrente final (A) |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------|
| 95 | 200 | 0,94 | 1 | 1,00 | 0,97 | 181,97 | 181,97 |
| 120 | 227 | 0,96 | 1 | 1,00 | 0,97 | 211,29 | 211,29 |

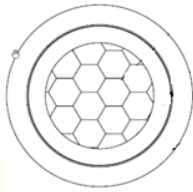
Pelos dados da tabela acima ambas as secções poderiam ser utilizadas, contudo, por forma a salvaguardar a instalação a equipa considerou que a redução para o cabo de 95 mm² poderia comprometer uma futura expansão, ainda não prevista, pelo que foi selecionado o cabo com uma secção de 120 mm².

Para o condutor de terra foi dimensionado um cabo de 70 mm².

Todas as especificações acima referidas culminaram na seleção dos cabos presentes na Figura 63.



6,35/11 kV 3CX120 mm² mm² CU C2XLPE/CTS/SWA/PVC BK



1 kV, 1 C x 70 Cu (Cl2)/PVC-70°/PVC

Figura 63: Cabo de média tensão do anel 2

3.3.5. POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

3.3.5.1. GENERALIDADES

Os Postos de Transformação (PT) são os responsáveis por fazer a interligação entre a rede interna de média tensão, composta por dois (2) anéis, abordada anteriormente e a rede de distribuição de baixa tensão que irá ser abordada posteriormente. Sendo este um equipamento que tem um papel fundamental na instalação existe o interesse que seja descrito e analisado com detalhe.

No âmbito do presente trabalho foram projetados doze (12) postos de transformação, cada um destinado à alimentação de uma área e instalações de utilização específicas.

A **Tabela 29** mostra as áreas a serem alimentadas por cada um dos postos de transformação.

Tabela 29: Áreas a serem alimentadas por cada um dos postos de transformação

| Anel | Posto de Transformação | Alimentação | Potência Transformador (kVA) |
|-------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 1.1 | Portão | 1500 |
| 1 | 2.1 | ETAR | 800 |
| 2 | 3.1 | Área de produção 1 | 2000 |
| 2 | 3.2 | Área de produção 2 | 2000 |
| 2 | 3.3 | Área de produção 3 | 2000 |
| 2 | 3.4 (futura instalação) | Área de produção 4 | 2000 |
| 1 | 4.1 | Furos de água | 500 |
| 2 | 5.1 | Cervejaria | 2000 |
| 2 | 5.2 | Área de processamento de cerveja | 2000 |
| 2 | 5.3 (futura instalação) | Área de fermentação | 2000 |
| 2 | 6.1 | Linha de embalagem 1 | 2000 |
| 2 | 6.2 (futura instalação) | Linha de embalagem 3 & 4 | 1500 |
| 2 | 6.3 (futura instalação) | Linha de embalagem 5 & 6 | 1500 |
| 1 | 7.1 | Central de incêndio | 800 |
| 1 | 8.1 | Cantina | 800 |
| 1 | 9.1 | Oficina de trabalho | 350 |

3.3.5.2. TIPO DE POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

Neste projeto foram especificados postos de transformação pré-fabricados compactos, instalados em cabine própria, no exterior.

Optou-se por este tipo de PT porque deste modo foi possível reduzir a área ocupada pelo mesmo e diminuir também os encargos com a empreitada de construção civil uma vez que para a solução dimensionada é apenas necessário construir uma base de assentamento e não um edifício inteiro simplificando a execução do projeto.

A cabine conterá a parte de média tensão e o transformador de potência, sendo que o Quadro Geral de Baixa Tensão estará instalado dentro dos edifícios de comando e controlo pois será necessário um acesso mais frequente aos mesmos de forma a ser possível gerir as cargas da instalação.

3.3.5.3. APARELHAGEM DE MÉDIA TENSÃO

Nos postos de transformação serão usados quadros de média tensão (QMMT), de isolamento integral a SF6, vulgarmente denominados de Blocos Rede Anel (Ring Main Unit - RMU), constituídos por dupla entrada/saída de média tensão, uma saída de alimentação e proteção ao transformador.

A utilização dos blocos rede anel deveu-se ao facto de esta ser uma solução compacta e que permite economizar o espaço necessário para a instalação do mesmo.

Atendendo à existência de postos de transformação equipados com transformadores de diversas potências e com o propósito procurar normalizar as soluções, de forma a que os custos de aquisição, instalação e exploração pudessem ser minimizados, foram definidos dois (2) modelos de Blocos Rede Anel, idênticos em termos de função desempenhada, mas diferentes em termos da corrente estipulada dos seccionadores de entrada/saída e barramento de média tensão: Um bloco rede anel de 1250 A e um bloco rede anel de 630 A.

O bloco rede anel com aparelhagem de 1250 A a instalar nos postos de transformação integrantes do anel um (1) e o bloco rede anel, com aparelhagem de 630 A, a instalar nos postos de transformação integrantes do anel dois (2).

A função de corte e proteção ao transformador será sempre realizada com aparelhagem com corrente estipulada de 630 A, pois apenas depende da potência do transformador que alimenta.

A proteção ao transformador será realizada através de disjuntor, em vez do tradicional fusível, devido ao facto de ser necessário assegurar a seletividade de funcionamento das proteções, de forma a garantir a máxima continuidade de serviço da instalação.

A Figura 64 mostra o esquema unifilar do bloco rede anel, equipado com aparelhagem com uma corrente estipulada de 1250 A.

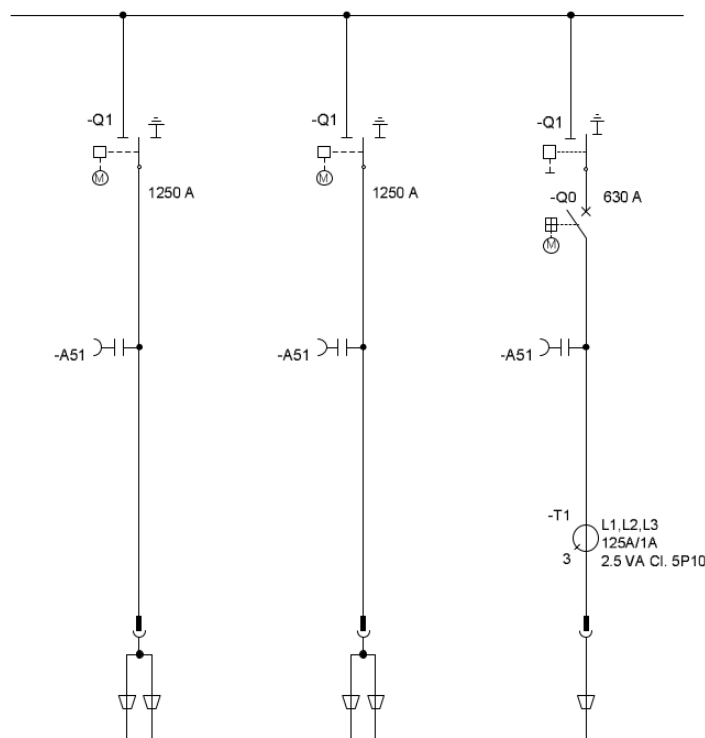


Figura 64: Diagrama unifilar do Bloco Rede Anel equipado com aparelhagem de 1250 A

A Figura 65 mostra o esquema unifilar do bloco rede anel, equipado com aparelhagem com uma corrente estipulada de 630 A.

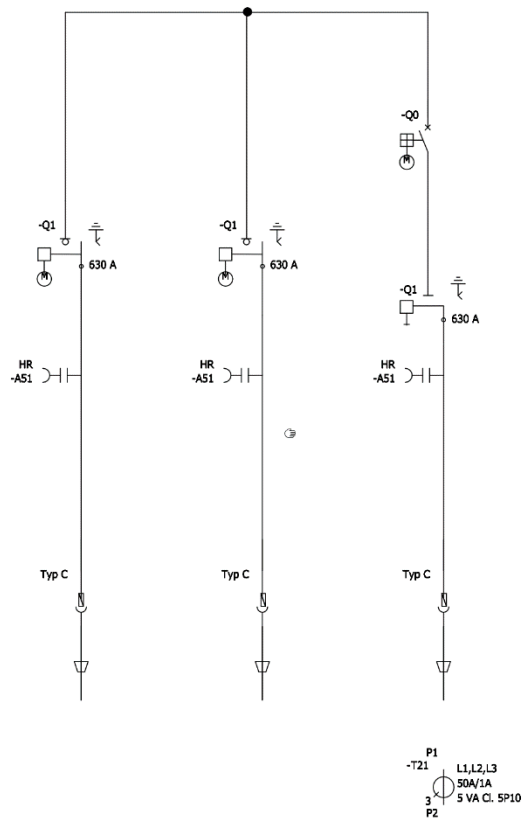


Figura 65: Diagrama unifilar do Bloco Rede Anel equipado com aparelhagem de 630 A

Os blocos rede anel são motorizados para permitir o comando à distância das celas dos seus diversos equipamentos.

Os seccionadores especificados foram do tipo Three Position Switch (TPS) que permitem a operação em três (3) modos distintos:

- Seccionador OFF

Este modo tem o seccionador de terras aberto e o seccionador de linha aberto;

- Seccionador ON

O seccionador estará fechado e o seccionador de terra deverá estar aberto – Modo normal de exploração com o anel;

- Terras ON

Este modo tem o seccionador de linhas aberto enquanto o seccionador de terras está fechado. Esta manobra acarreta uma atenção extra uma vez que estaremos a aterrar o cabo tendo por isso ter que garantir que a outra extremidade não está em tensão.

Recorrendo ao portfólio da SIEMENS SA o equipamento que permite dar resposta aos requisitos para os postos de transformação equipados com transformadores de 1500 e 2000 kVA e, que apresentam as dimensões mais reduzidas, visto ser para instalar no interior de uma cabine, é a família do NxPlus C, tendo este quadro 1754 mm por 2250 mm, como se pode observar na Figura 66.

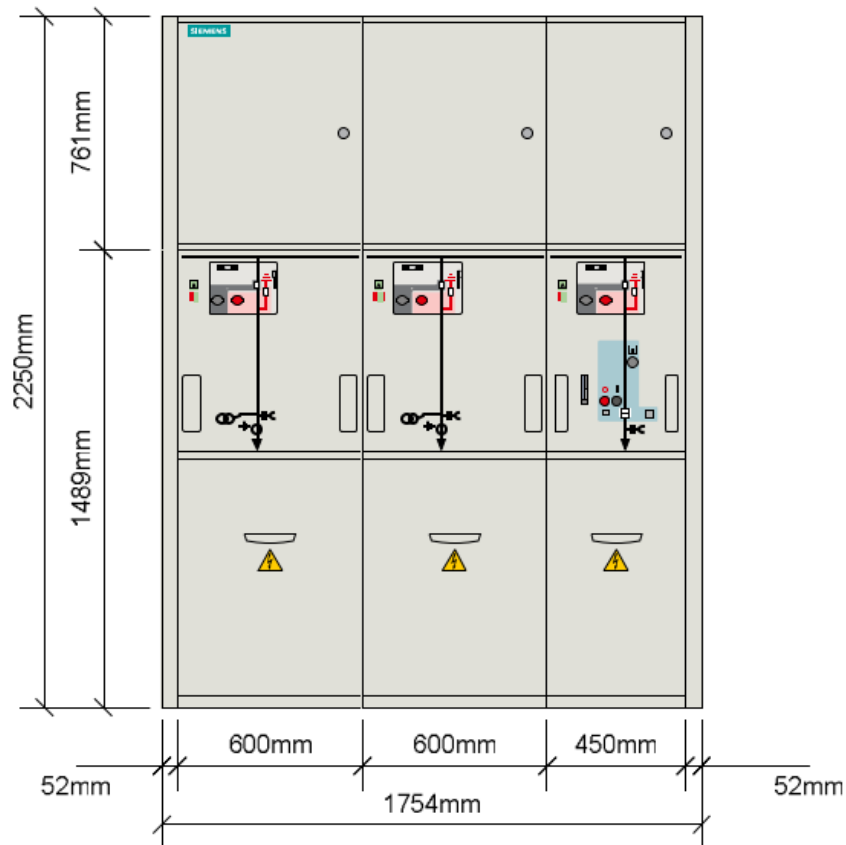


Figura 66: Vista frontal do Bloco Rede Anel equipado com aparelhagem de 1250 A

Recorrendo ao portfólio da SIEMENS SA o equipamento que permitia dar resposta aos requisitos para os postos de transformação equipados com transformadores de 350 kW e, que apresentam as dimensões mais reduzidas, visto ser para instalar no interior de uma cabine, é a família do 8DJH, tendo este quadro 1050 mm por 2250 mm, como se pode observar na Figura 67.

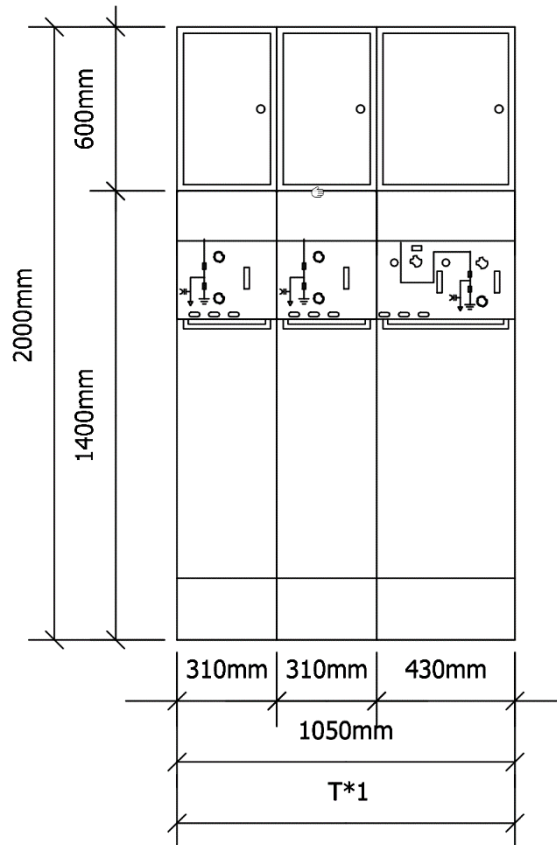


Figura 67: Vista frontal do Bloco Rede Anel equipado com aparelhagem de 630 A

Apesar de no diagrama anterior os compartimentos de baixa tensão não estarem devidamente detalhados, por se tratar de uma representação standard, os mesmos foram dimensionados, na função +K01 e na função +K02, para equipar a “Caixa de comando à distância” que deverá controlar a operação do seccionador. Este equipamento foi instalado por imposição do cliente como medida de acréscimo de segurança no quadro.

Na função +K03, painel de alimentação ao transformador, o compartimento de baixa tensão (CBT) foi dimensionado com mais equipamento, nomeadamente: um relé de proteção, uma “Caixa de comando à distância”, um analisador de rede e ainda sinalizadores luminosos que indicam o estado do painel. O relé de proteção, depois de parametrizado, deverá dar o disparo em caso de sobreintensidades e curto circuito neste troço (RMU – Transformador).

O analisador de rede é utilizado para o controlo/visualização dos parâmetros da rede instantaneamente (e não só) como a tensão, a corrente, a potência, o desfasamento, etc.

Abaixo, na Figura 68, é possível ver todos os equipamentos que foram posteriormente instalados nos compartimentos de baixa tensão:



Figura 68: Compartimento de baixa tensão dos RMUs

Apesar do seccionador não ter poder de corte e com isto não possibilitar ser manobrado em carga a instalação da “caixa de comando à distância” em todos os painéis é um acréscimo de segurança na manobra do quadro uma vez que permite ao operador se distanciar do equipamento durante a realização das manobras.

Este QMMT foi projetado para ser equipado com encravamentos do tipo P1 para evitar o fecho do seccionador de terra enquanto o interruptor do painel que o alimenta não estiver encravado na posição de aberto, nos painéis de entrada e saída e encravamentos do tipo C1 de forma a impedir o acesso ao compartimento do transformador enquanto o seccionador de terra do painel de proteção ao transformador não estiver encravado na posição de fechado.

3.3.5.4. TRANSFORMADOR

Foram usados transformadores com isolamento a óleo porque estes serão instalados no interior de um compartimento específico pelo que não existe a necessidade de serem usados transformadores secos podendo assim otimizar o custo da solução.

Outro dos fatores que levou à utilização de transformadores a óleo é que apesar destes equipamentos serem instalados no interior da cabine metálica estas serão colocados no exterior das salas pelo que irão estar expostos a temperaturas elevadas.

O transformador tem uma relação de transformação 11 000 V / 415 V.

A potência dos transformadores foi definida tendo em consideração as cargas que cada quadro geral de baixa tensão (QGBT) deveria alimentar.

Para a definição da potência do transformador a utilizar em cada um dos postos de transformação, foi aplicado um fator de simultaneidade de 80% em relação à carga total instalada em cada QGBT. O valor do coeficiente de simultaneidade foi selecionado tendo em conta as informações recebidas por parte do dono de obra sobre a forma como este iria operar a instalação.

A Tabela 30 mostra as potências totais instaladas em cada QGBT e a respectiva potência definida para cada um dos transformadores da instalação.

Tabela 30: Dimensionamento de transformadores

| Carga | Potência (kVA) | Potência Corrigida (80%) | Potência Transformadores (kVA) |
|--------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| MDB 1.1 | 1794 | 1435 | 1500 |
| MDB 2.1 | 967 | 774 | 800 |
| MDB 3.1 | 2368 | 1894 | 2000 |
| MDB 3.2 | 2314 | 1851 | 2000 |
| MDB 3.3 | 2443 | 1954 | 2000 |
| MDB 4.1 | 614 | 491 | 500 |
| MDB 5.1 | 2182 | 1746 | 2000 |
| MDB 5.2 | 2418 | 1934 | 2000 |
| MDB 6.1 | 1945 | 1556 | 2000 |
| MDB 7.1 | 965 | 772 | 800 |
| MDB 8.1 | 947 | 758 | 800 |
| MDB 9.1 | 379 | 303 | 350 |

O tipo de refrigeração foi definido tendo em consideração o local de instalação do equipamento. Os transformadores iram estar no interior das cabines metálicas que por sua vez estão instalados no exterior. Por essas razões foram considerados equipamentos do tipo ONAN, transformadores de distribuição de banho de óleo com circulação natural do óleo e do ar.

3.3.5.5. CABINE

3.3.5.5.1. ASPETOS GERAIS

Os postos de transformação foram dimensionados em estrutura metálica de modo a ser possível reduzir a área ocupada pelo mesmo e diminuir os encargos com a estrutura de construção civil uma vez que apenas é necessário construir uma base de assentamento e não uma sala inteira.

Outra das vantagens e um dos motivos que levaram a que fosse considerada esta solução é o peso da estrutura final, uma vez que teriam de ser transportadas até ao país da instalação.

Em relação à cabine metálica existe também a vantagem que a estrutura metálica permite trocas térmicas muito mais rápidas do que se a mesma construção fosse feita em betão. Apesar de a chapa metálica exterior aquecer mais rapidamente a mesma irá também arrefecer com bastante mais rapidez enquanto que no caso do betão existe uma maior inércia no aquecimento e consequentemente no arrefecimento.

A Figura 69 mostra uma vista geral de uma cabine com duas portas com lamelas no acesso ao compartimento do transformador.



Figura 69: vista geral de uma cabine metálica

3.3.5.5.2. DIMENSÕES E COMPARTIMENTAÇÃO

Com a potências dos transformadores e dos QMMT a variarem o seu tamanho o espaço necessário para albergar o equipamento também varia o que resulta na possibilidade de otimização das dimensões de construção das cabines metálicas.

Posto isto foram dimensionados dois (2) tipos de estruturas metálicas, com diferentes tamanhos, adaptadas às necessidades de cada área.

As cabines metálicas do tipo um (1), usados anel um (1), onde são instalados os transformadores de maior potência, têm as dimensões representadas na Figura 70:

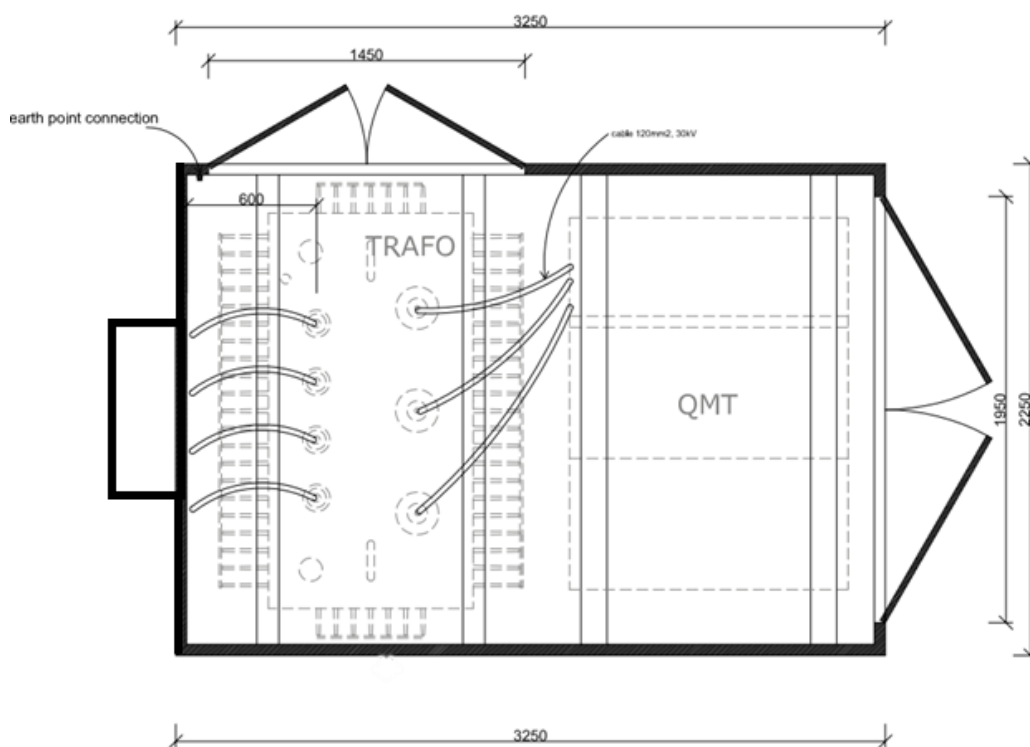


Figura 70: Dimensões das cabines metálicas do tipo 1

Relativamente às cabines metálicas do tipo dois (2), instalados no segundo anel estes são bastante idênticos aos anteriores, diferindo apenas no tamanho uma vez que os equipamentos neles instalados têm menos potência e são conseqüentemente mais pequenos. Esta redução de dimensões pode ser verificada na Figura 71.

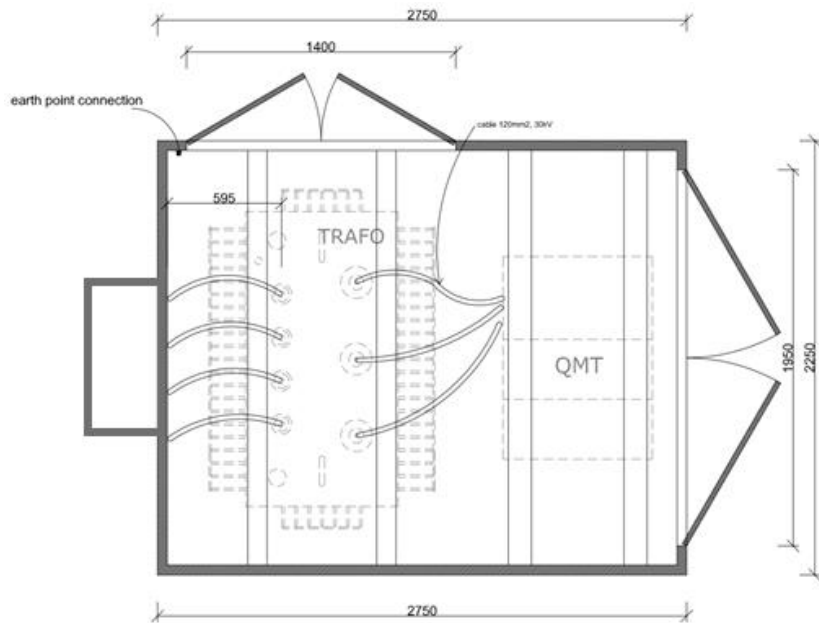


Figura 71: Dimensões das cabines metálicas do tipo 2

As cabines estão compartimentadas em duas áreas, uma parte destinada à instalação da aparelhagem de média tensão e uma outra parte destinada à instalação do transformador conforme se pode ver na Figura 72.

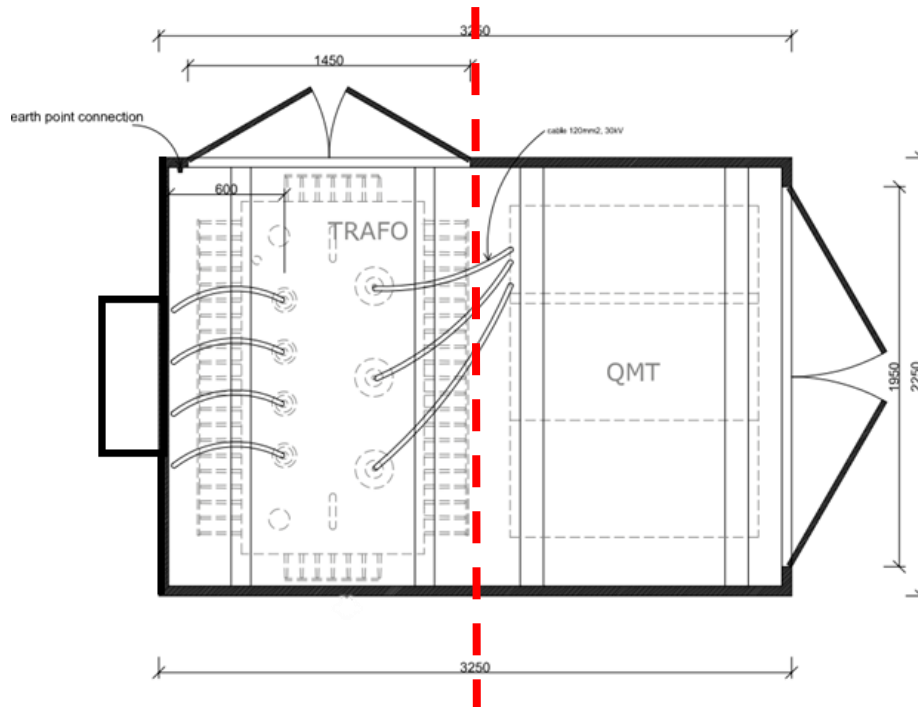


Figura 72: Compartimentação das cabines de média tensão

A parte destinada à instalação da aparelhagem de média tensão tem, no caso das estruturas do tipo um (1), 1800 mm por 1950 mm e no caso das estruturas do tipo dois (2) este compartimento tem 1350 mm por 1950 mm. Esta redução no compartimento destinado ao equipamento de média tensão foi a principal razão para a redução de tamanho entre os dois (2) tipos de estruturas metálicas.

A parte destinada à instalação do transformador tem, no caso das estruturas do tipo um (1), 1450 mm por 1950 mm. No caso das estruturas do tipo dois (2) este compartimento tem 1400 mm por 1950 mm.

3.3.5.5.3. VENTILAÇÃO

A estrutura metálica que irá albergar o equipamento de média tensão terá de garantir a proteção contra a entrada de poeiras/humidades de modo a salvaguardar toda a integridade do QMMT e restantes equipamentos.

Um dos aspetos fundamentais deste tipo de solução é a capacidade de dissipação do calor uma vez que os transformadores em funcionamento, libertam calor.

Tendo em conta que este equipamento está instalado num ambiente tão adverso como é o continente africano com temperaturas elevadíssimas, um SUB dimensionamento na capacidade de dissipação poderia levar a disparos intempestivos do equipamento, o que poderia acarretar custos extra para o cliente.

A Tabela 31 mostra a potência dissipada nos diversos tipos de transformadores que vão equipar os postos de transformação a instalar na unidade industrial.

Tabela 31: Potência dissipada pelos transformadores

| Potência Transformador (kVA) | Potência Dissipada (W) |
|---|-----------------------------------|
| 2000 | 30 000 |
| 1500 | 21 500 |
| 800 | 11 900 |
| 500 | 9000 |
| 350 | 6700 |

Segundo as informações disponibilizadas pelo fabricante as cabines de produção standard estão preparadas para a dissipação de uma potência de 6,8 kW.

Verifica-se, assim, a necessidade de desenvolver alterações nas cabines, por forma a que as mesmas tenham capacidade de dissipação das potências indicadas na Tabela 31.

Um primeiro aspeto considerado, foi a especificação de portas com ventilação, através da colocação de lamelas, conforme mostra a Figura 73.

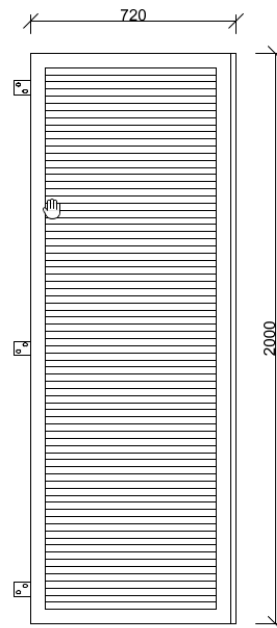


Figura 73. Portas ventiladas a serem instaladas nas cabines metálicas

Esta solução, segundo dados do fabricante, permitiu um aumento de dissipação de 8,5 kW, por parte da porta, face à solução de cabine *standard*.

A porta de acesso ao transformador do PT será sempre constituída por duas partes, sendo que de acordo com as necessidades de dissipação poderão ser as duas partes equipadas com lamelas ou apenas uma delas.

Contudo, a colocação de lamelas nas portas ainda não permite dar resposta às necessidades de dissipação dos transformadores de 1500 kVA e de 2000 kVA.

Devido às pequenas dimensões da cabina e ao elevado atravancamento existente nos equipamentos instalados na mesa, os cabos de interligação entre o transformador e o QGBT não poderiam circular no interior da cabine. Houve assim, a necessidade de criação de um compartimento exterior de passagem de cabos entre o transformador e o quadro geral de baixa tensão, conforme mostra a Figura 74.

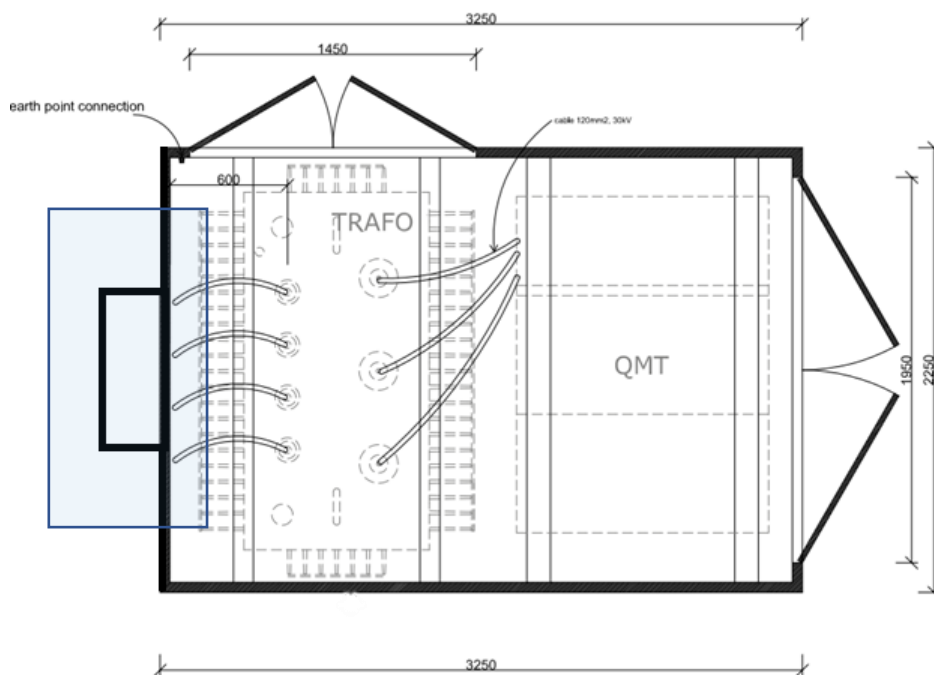


Figura 74: Compartimento exterior de passagem de cabos

A criação deste compartimento externo e a criação de uma abertura suplementar na cabina permitiu aumentar a capacidade de dissipação de calor pela mesma em 6,5 kW (informação disponibilizada pelo fabricante da cabina).

A Figura 75 mostra um pormenor do compartimento exterior de passagem de cabos para acoplamento à cabine.

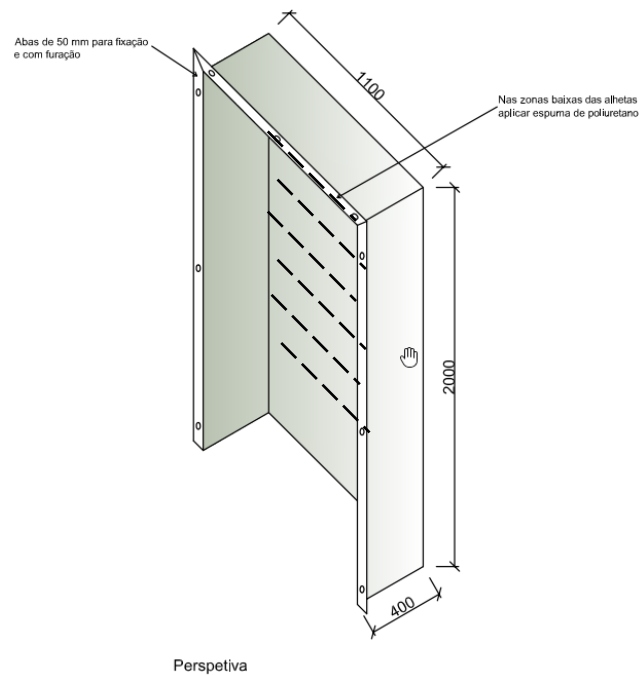


Figura 75: Compartimento exterior de passagem de cabos

A Figura 76 mostra a abertura na cabine de comunicação entre a mesma e o compartimento exterior de passagem de cabos.



Figura 76: Compartimento exterior de passagem de cabos

Com esta conjugação de soluções é possível assegurar as necessidades de calor para os diversos postos de transformação.

A Tabela 32 mostra as configurações a considerar para as diversas cabines em função da potência do transformador que equipa o posto de transformação.

Tabela 32: Mapa dissipação de calor nas cabines metálicas

| Potência do Transformador (kVA) | Potência a Dissipar (kW) | Cabine Standard 6,8 kW | Porta Direita 8,5 kW | Porta Esquerda 8,5 kW | Canópia 6,5 kW | Dissipação Total (kW) | Cabine | |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|--------|------------------------|
| | | | | | | | Tipo | Dimensões |
| 2000 | 30 | x | x | x | x | 30,3 | 1 | 3250x2250 |
| 1500 | 21,5 | x | x | | x | 21,8 | 1 e 2 | 3250x2250 2750x2250 |
| 800 | 11,9 | x | | | x | 13,2 | 2 | 2750x2250 |
| 500 | 9 | x | x | | | 15,8 | 2 | 2750x2250 |
| 350 | 6,7 | x | | | | 6,8 | 2 | 2750x2250 |

3.3.5.6. QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO

3.3.5.6.1. ASPETOS GERAIS

A definição da potência a considerar para dimensionamento dos Quadros Gerais de Baixa Tensão (QGBT) não foi objeto do presente trabalho, tendo sido definida pelo projetista de especialidade das instalações de utilização e indicado pelo dono de obra no caderno de encargos.

O projetista de especialidade definiu os valores de potência instalada nos QGBT indicados na Tabela 33 do presente trabalho.

Tabela 33: Potência instalada nos QGBT

| Carga | Potência Instalada (kVA) |
|--------------|-------------------------------------|
| MDB 1.1 | 1500 |
| MDB 2.1 | 800 |
| MDB 3.1 | 2000 |
| MDB 3.2 | 2000 |
| MDB 3.3 | 2000 |
| MDB 4.1 | 500 |
| MDB 5.1 | 2000 |
| MDB 5.2 | 2000 |
| MDB 6.1 | 2000 |
| MDB 7.1 | 800 |
| MDB 8.1 | 800 |
| MDB 9.1 | 350 |

Atendendo às características da instalação, nomeadamente ao facto de no futuro o quadro necessitar de ser expandido, foi definido que os quadros a instalar seriam do tipo modulares, sem gavetas extraíveis e agrupados por painéis com as várias saídas compartimentadas.

3.3.5.6.2. DIMENSIONAMENTO E PROJETO

Dado o princípio de dimensionamento e o projeto dos Quadros Gerais de Baixa Tensão ser o mesmo para todos eles, apenas será apresentado um estudo de caso, o do QGBT 1.1, representativo da metodologia empregue e das soluções de projeto desenvolvidas.

- Potência instalada

No caderno de encargos da empreitada encontrava-se definido que o QGBT 1.1, alimentaria seis (6) circuitos e, para cada um dos desses circuitos, a respetiva potência e fator de simultaneidade.

Na **Tabela 34** mostra os circuitos alimentados pelo QGBT1.1 e suas as respetivas características.

Tabela 34: Lista de cargas de baixa tensão do QGBT 1.1

| QGBT 1.1 | | | | | | Tensão | 400 |
|-----------------------------------|---|-------------------|----------|------|-------------------------|--------------------|------|
| Carga | Calibre Disjuntor | Fator de Potência | Potência | | Fator de Simultaneidade | Potência Corrigida | |
| | | | kW | kVA | | | |
| 1 | Correção do fator de potência (futura instalação) | 1000 | 0,85 | 500 | 588 | 0,00 | 0 |
| 2 | Controlo principal das caldeiras | 400 | 0,85 | 200 | 235 | 0,80 | 188 |
| 3 | Quadro de distribuição - Entrada | 100 | 0,85 | 50 | 59 | 0,70 | 41 |
| 4 | Reserva | 160 | 0,85 | 80 | 94 | 0,70 | 66 |
| 5 | Quadro de distribuição – Caldeira e Gerador | 160 | 0,85 | 80 | 94 | 0,70 | 66 |
| 6 | Serviços auxiliares média tensão | 100 | 0,85 | 50 | 59 | 1,00 | 59 |
| 7 | Quadro de distribuição - Aux 1 | 400 | 0,85 | 200 | 235 | 0,70 | 165 |
| 8 | Reserva | 400 | 0,85 | 200 | 235 | 0,80 | 188 |
| 9 | Reserva | 630 | 0,85 | 300 | 353 | 0,80 | 282 |
| 10 | Reserva | 400 | 0,85 | 200 | 235 | 0,80 | 188 |
| 11 | Reserva | 250 | 0,85 | 125 | 147 | 0,80 | 118 |
| 12 | Reserva | 200 | 0,85 | 100 | 118 | 0,80 | 94 |
| 13 | Reserva | 200 | 0,85 | 100 | 118 | 0,80 | 94 |
| 14 | Reserva | 160 | 0,85 | 80 | 94 | 0,80 | 75 |
| 15 | Reserva | 160 | 0,85 | 80 | 94 | 0,80 | 75 |
| 16 | Reserva | 100 | 0,85 | 50 | 59 | 0,80 | 47 |
| 17 | Reserva | 100 | 0,85 | 50 | 59 | 0,80 | 47 |
| TOTAL | | | | 2445 | 2876 | | 1794 |
| Fator de simultaneidade do quadro | | | | | | 0,80 | 1435 |
| Potência normalizada | | | | | | | 1500 |

Atendendo aos valores e coeficientes de simultaneidade definidos, a potência estimada para o QGBT1.1 era de 1794 kVA.

Por se entender que não irá haver uma utilização simultânea da potência nominal em todos os circuitos, foi definido ainda um fator de simultaneidade global para o quadro de 80%, obtendo-se uma potência de 1 435 kVA.

Para fins de normalização, foi atribuída uma potência para fins de dimensionamento e projeto do quadro elétrico de 1500 kVA.

- **Corrente de serviço**

A corrente de serviço do quadro elétrico será:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{1500000}{400 * \sqrt{3}} = 2165 A \quad (27)$$

- **Dimensionamento de barramento e de disjuntor de corte geral**

Atendendo ao valor da corrente de serviço e das correntes estipuladas dos disjuntores do tipo industrial, foi selecionado um disjuntor de 2500 A.

Após a definição do disjuntor de corte geral, foi definido o barramento, tendo o mesmo uma corrente admissível de 2500 A

- **Dimensionamento dos circuitos de saída do QGBT**

Tendo por base as potências e fatores de simultaneidade definidos para cada um dos circuitos, foram dimensionadas as canalizações e respectivas proteções desses mesmos circuitos.

O procedimento de dimensionamento das canalizações está descrito no parágrafo 3.3.6 do presente relatório.

A Tabela 35 faz um resumo das características dos circuitos de saída do QGBT1.1.

Tabela 35: Dimensionamento de saídas do QGBT 1.1

| Carga | | Potência (kVA) | Corrente Máxima (A) | Corrente Estipulada Disjuntor (A) |
|--------------|---|-----------------------|----------------------------|--|
| 1 | Correção do fator de potência (futura instalação) | 588 | 849 | 1000 |
| 2 | Controlo principal das caldeiras | 235 | 340 | 400 |
| 3 | Quadro de distribuição - Entrada | 59 | 85 | 100 |
| 4 | Reserva | 94 | 136 | 160 |
| 5 | Quadro de distribuição – Caldeira e Gerador | 94 | 136 | 160 |
| 6 | Serviços auxiliares média tensão | 59 | 85 | 100 |
| 7 | Quadro de distribuição - Aux 1 | 235 | 340 | 400 |
| 8 | Reserva | 235 | 340 | 400 |
| 9 | Reserva | 353 | 509 | 630 |
| 10 | Reserva | 235 | 340 | 400 |
| 11 | Reserva | 147 | 212 | 250 |
| 12 | Reserva | 118 | 170 | 200 |
| 13 | Reserva | 118 | 170 | 200 |
| 14 | Reserva | 94 | 136 | 160 |
| 15 | Reserva | 94 | 136 | 160 |
| 16 | Reserva | 59 | 85 | 100 |
| 17 | Reserva | 59 | 85 | 100 |

- **Layout do quadro**

Conforme referido anteriormente, o QGBT será um quadro de gavetas, sendo cada gaveta definida em função da corrente estipulada para o respetivo circuito de saída.

Foram consideradas gavetas do tipo INCOMER para os circuitos de alimentação do quadro e gavetas do tipo FEEDER para os circuitos de alimentação às cargas.

As gavetas do tipo INCOMER são equipadas, além do equipamento de corte e proteção, por um analisador de rede responsável por monitorizar as informações do quadro e permitir o controlo remoto do painel e ainda por indicadores luminosos por forma a ser possível uma visualização rápida do estado do quadro.

As gavetas do tipo FEEDER são equipadas pelos equipamentos de corte e proteção e apenas por um analisador de rede que permite visualizar os parâmetros da carga e o controlo remoto.

Uma particularidade no desenho do layout do quadro foi o facto de todas as entradas/saídas de alimentação serem realizadas pela parte superior do quadro, devido ao facto das cablagens serem instaladas através de caminhos de cabos instalados no teto da instalação.

A Figura 77 mostra o layout do QGBT 1.1.

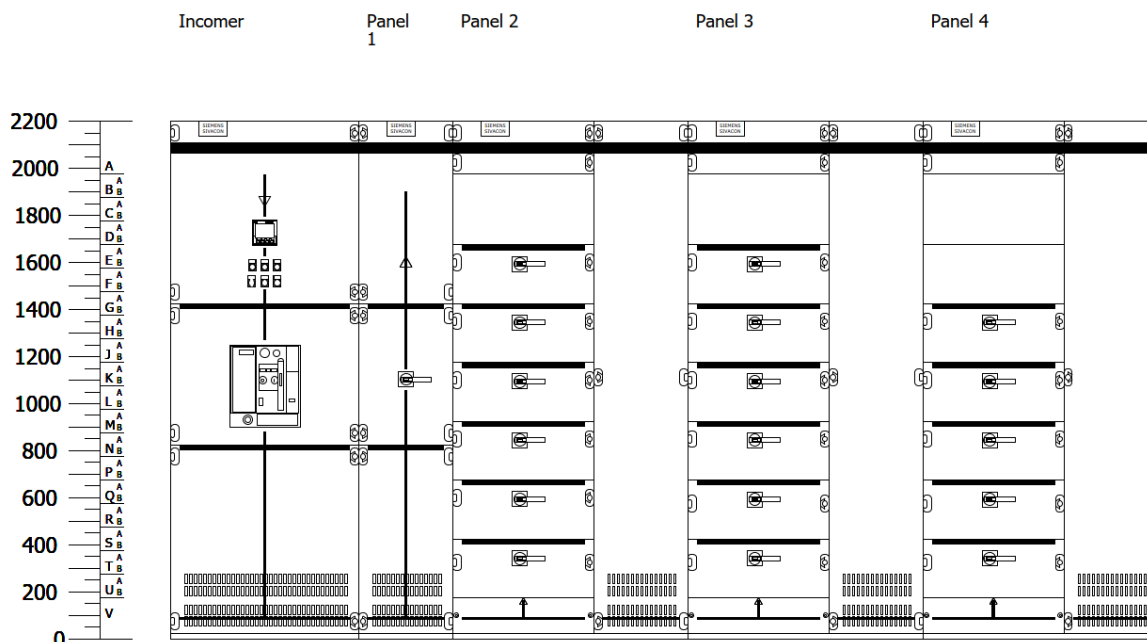


Figura 77: Vista frontal do QGBT 1.1

3.3.6. DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM BAIXA TENSÃO

3.3.6.1. GENERALIDADES

A distribuição de energia elétrica em baixa tensão nas diversas instalações de utilização, desenvolve-se a partir dos Quadros Gerais de baixa Tensão (QGBT) dos Postos de Transformação (PT).

O dimensionamento das canalizações elétricas e dos respetivos dispositivos de proteção é realizado tendo por base os critérios de:

- Aquecimento;
- Sobrecarga;
- Queda de tensão;
- Curto-circuitos.

Dada a quantidade de canalizações a dimensionar e a necessidade de realizar estudos de seletividade, o dimensionamento foi realizado com recurso ao software *Simaris Design* da SIEMENS AG.

O *Simaris Design* é um software que facilita o dimensionamento de uma rede de distribuição de energia, incluindo o cálculo de corrente de curto-circuitos, tendo por base as soluções mais atuais do mercado e com o mínimo imprescindível de informações necessárias. Este cálculo é feito desde a fonte de média tensão até ao consumidor final. O software calcula também a corrente de curto circuito, o fluxo de carga, a queda de tensão e ainda o balanço das potências.

Todos os resultados são baseados nas normas DIN VDE e IEC sendo por isso os resultados apresentados pelo *Simaris Design* altamente confiáveis e representam as soluções mais atuais com uma vasta gama de produtos selecionados anteriormente.

A Figura 78 representa um dos possíveis menus criados no *Simaris Design*.

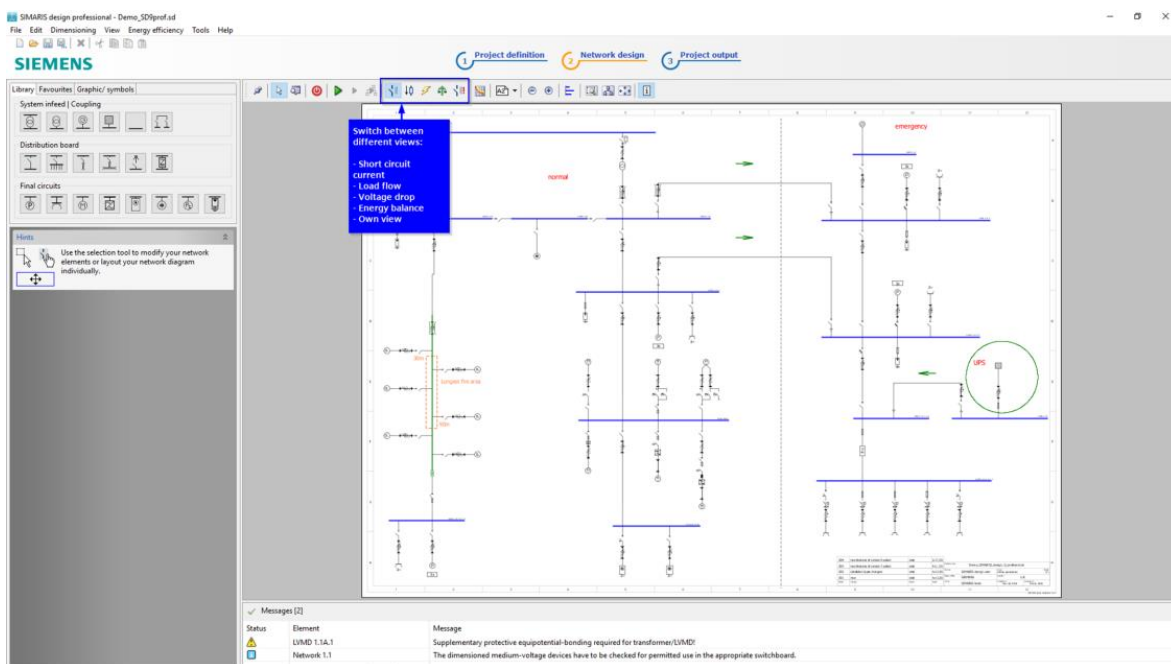


Figura 78: Exemplo de menu representativo do *Simaris Design*

3.3.6.2. METODOLOGIA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

A distribuição de energia em baixa tensão será realizada com recurso a redes radiais, instaladas, de um modo geral, em caminhos de cabos.

A opção pelo caminho de cabos justifica-se devido ao tipo ao facto de a instalação ter cargas com elevadas distâncias entre a alimentação e o consumidor final e ainda por esta ser uma solução flexível e de baixo custo.

No caso do QGBT 1.1 as distâncias a serem consideradas serão as indicadas na Tabela 36.

Tabela 36: Distâncias a considerar no QGBT 1.1

| Carga | Cabo | Distância (m) |
|---|-------------------|---------------|
| Controlo principal das caldeiras | 1x(3x240/240/120) | 42 |
| Quadro de distribuição - Entrada | 1x(3x35/35/16) | 192 |
| Quadro de distribuição – Caldeira e Gerador | 1x(3x70/70/35) | 96 |
| Serviços auxiliares média tensão | 1x(3x35/35/16) | 48 |
| Quadro de distribuição - Aux 1 | 1x(3x240/240/120) | 186 |

Os caminhos de cabos podem ser instalados no interior das diversas salas da unidade industrial, mas também no exterior, com o apoio dos *pipes bridges* que são estruturas metálicas construídas por cima de obstáculos que permitem a instalação de tubagens elétricas e/ou fluidos. A Figura 79 mostra o exemplo de um *pipe bridge*.

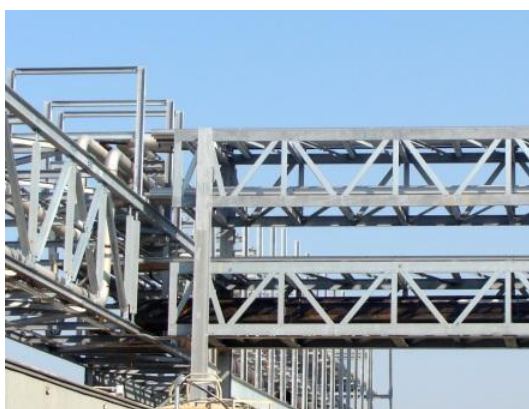


Figura 79: Exemplo de Pipe Bridge

3.3.6.3. DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento das canalizações foi realizado tendo por base a informação disponibilizada no caderno de encargos relativamente às cargas a alimentar, com recurso ao software *SIMARIS Design*.

Foi necessário determinar o comprimento das canalizações, tendo sido disponibilizada uma planta em formato AutoCAD com a localização aproximada das cargas.

Na Figura 80 está ilustrada uma pequena parte da planta em duas (2) dimensões da instalação.

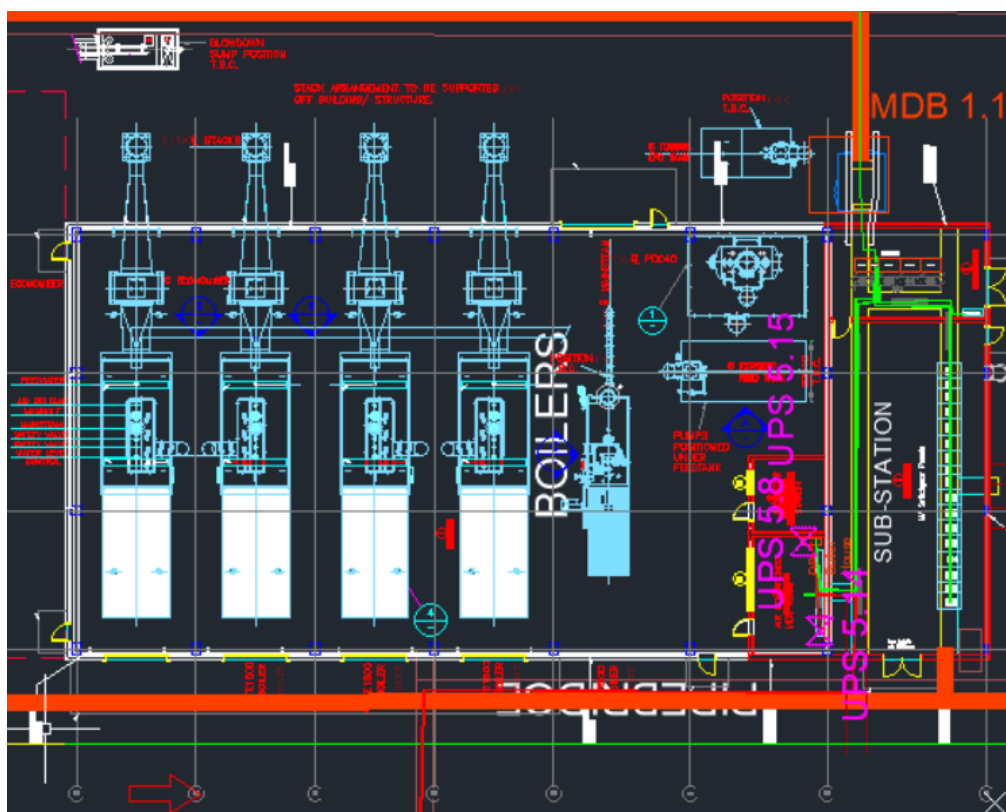


Figura 80: Exemplo da planta da AutoCAD

A informação obtida a partir do *AutoCAD* teve posteriormente de ser cruzada com o mapa de cargas e foi considerada a maior distância, ou seja, o cenário mais desfavorável, para cada uma das cargas com um fator adicional de 20% devido ao desencontro entre as distâncias no caderno de encargos e no *AutoCAD*.

A comparação entre todos os valores obtidos pode ser visualizada na Tabela 37.

Tabela 37: Comparação das distâncias entre AutoCAD e mapa de cargas

| Carga | Distância Lista de cargas (m) | Distância AutoCAD (m) | Distância final (120%) (m) |
|---|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Controlo principal das caldeiras | 35 | 20 | 42 |
| Quadro de distribuição - Entrada | 160 | 140 | 192 |
| Quadro de distribuição – Caldeira e Gerador | 60 | 80 | 96 |
| Serviços auxiliares média tensão | 35 | 40 | 48 |
| Quadro de distribuição - Aux 1 | 150 | 155 | 186 |

A Figura 81 mostra, a título de exemplo, o esquema unifilar do QGBT 1.1 e o respetivo dimensionamento das canalizações e proteções, realizado com recurso ao *Simaris Design*.

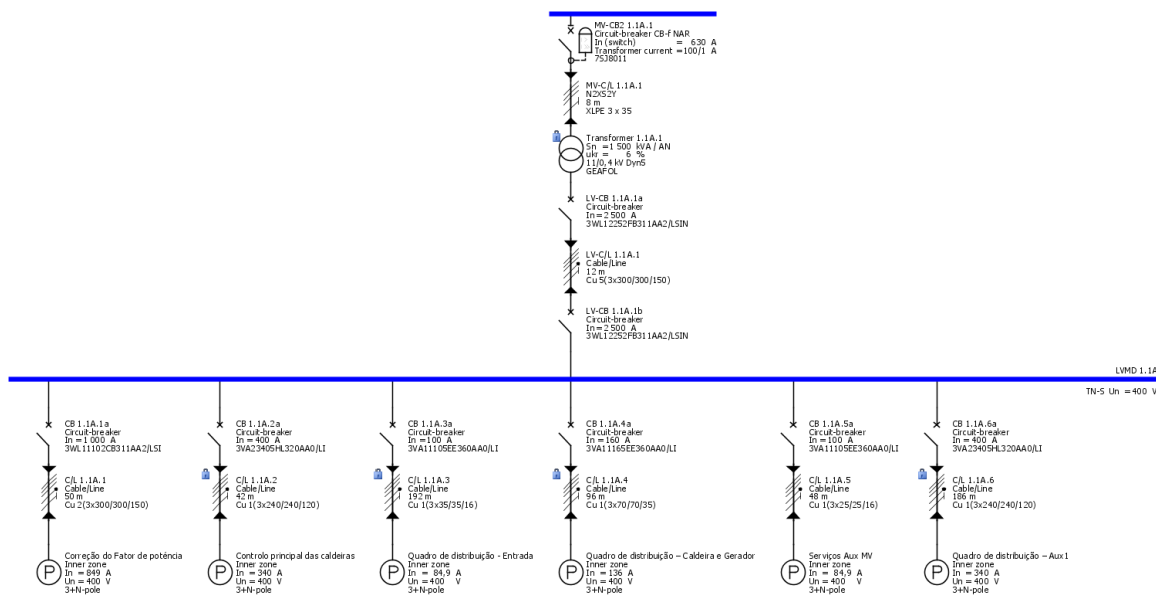


Figura 81: Dimensionamento de canalizações elétricas – QGBT 1.1

Nas canalizações de baixa tensão foram usados cabos não armados pelo facto de estes não estarem sujeitos a esforços mecânicos significativos e colocados em caminho de cabo.

Foram usados os seguintes tipos de cabos:

- Secção $> 120 \text{ mm}^2$ – Cabos monopolares pretos;
- $120 \text{ mm}^2 \geq \text{Secção} \geq 16 \text{ mm}^2$ – Cabos tetrapolares, com terra separada;
- Secção $< 16 \text{ mm}^2$ – Cabos tripolares ou pentapolares, terra incluída no cabo.

Relativamente ao código de cores foi selecionado um código que permitiu uma uniformidade para toda a instalação de acordo com a seguinte correspondência:

- Neutro – Preto;
- Fase 1 – Vermelho;
- Fase 2 – Amarelo;
- Fase 3 – Azul;
- Terra – Amarelo/verde.

Foram definidas as cores indicadas de acordo com a indicação recebida por parte do cliente uma vez que esta é uma codificação standard que o dono de obra tem e utiliza nas suas restantes instalações. Esta característica estava imposta no caderno de encargos pelo que não foi possível alterar.

A Tabela 38 faz um resumo das canalizações do QGBT 1.1.

Tabela 38: Lista de cargas com a informação do cabo a instalar

| QGBT 1.1 | | | | |
|-----------------|---|-----------------------|------------------------------|----------------------|
| Carga | | Cabo | Calibre Disjuntor (A) | Distância (m) |
| 1 | Correção do fator de potência (futura instalação) | Cu 3(3x150/150/70) | 1000 | NA |
| 2 | Controlo principal das caldeiras | Cu 1(3x1x240/240/120) | 400 | 35 |
| 3 | Quadro de distribuição - Entrada | Cu 1(3x35/35/16) | 100 | 160 |
| 4 | Reserva | NA | 160 | NA |
| 5 | Quadro de distribuição – Caldeira e Gerador | Cu 1(3x70/70/35) | 160 | 60 |
| 6 | Serviços auxiliares média tensão | Cu 1(3x6/6/6) | 100 | 35 |
| 7 | Quadro de distribuição - Aux 1 | Cu 1(3x1x240/240/120) | 400 | 150 |
| 8 | Reserva | NA | 400 | NA |
| 9 | Reserva | NA | 630 | NA |
| 10 | Reserva | NA | 400 | NA |
| 11 | Reserva | NA | 250 | NA |
| 12 | Reserva | NA | 200 | NA |
| 13 | Reserva | NA | 200 | NA |
| 14 | Reserva | NA | 160 | NA |
| 15 | Reserva | NA | 160 | NA |
| 16 | Reserva | NA | 100 | NA |
| 17 | Reserva | NA | 100 | NA |

3.3.6.4. QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO

Os principais equipamentos são alimentados diretamente do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) do Posto de Transformação (PT).

Do QGBT são também alimentados os quadros de distribuição, que são objeto do projeto de especialidade das instalações de distribuição, não sendo enquadrados no presente trabalho.

3.3.7. ALIMENTAÇÃO DE SOCORRO

3.3.7.1. ASPETOS GERAIS

Tendo em conta o texto da unidade industrial foi definida uma rede de alimentação de socorro que irá assegurar as cargas que o cliente definiu como prioritárias.

Essa rede de socorro foi dimensionada por intermédio de fontes de alimentação ininterrupta localizadas na área circundante ao centro de cargas.

3.3.7.2. ALIMENTAÇÃO DE SOCORRO A CARGAS CRÍTICAS

Para assegurar que as cargas críticas não são objeto de qualquer corte da alimentação, foram projetadas Unidades de Alimentação Ininterrupta (UPS), capazes de assegurar a continuidade da alimentação no caso de falha da alimentação normal.

O caderno de encargos da empreitada definia cinco (5) zonas de cargas prioritárias, para as quais deveriam ser projetadas UPS.

Para definição da potência a instalar nas UPS, foi definido um fator de simultaneidade de 80% para todas as cargas. Este fator foi atribuído tendo em conta a opinião e percepção do cliente em relação à necessidade das cargas e a importância das mesmas na instalação.

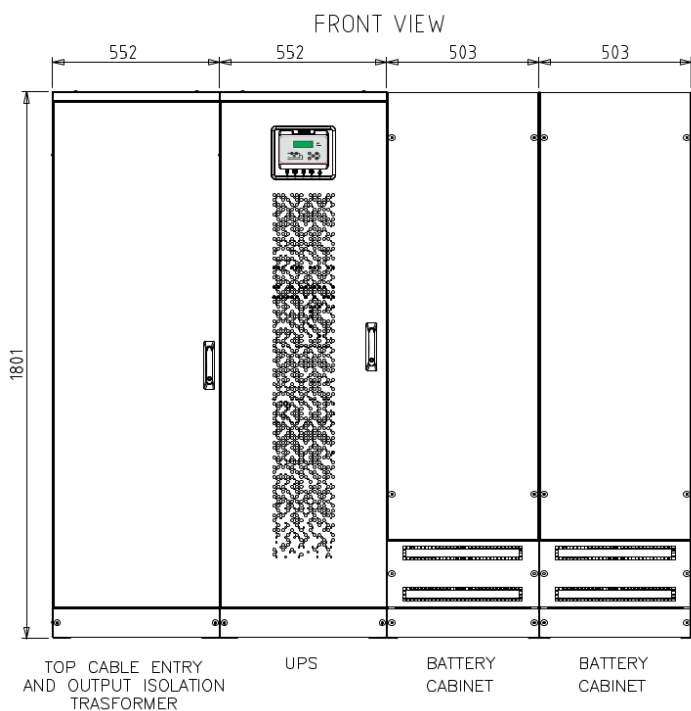
A Tabela 39 mostra as zonas nas quais existiam cargas críticas, a potência total instalada em cada uma das zonas, o fator de simultaneidade definido e a potência corrigida a ser considerada para cada UPS.

Tabela 39: Descrição das alimentações socorridas

| Área | Potência Total (kVA) | Fator de Simultaneidade | Potência Corrigida (kVA) | Potência da UPS (kVA) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Área de produção | 73 | 0.8 | 59 | 60 |
| Área de fermentação | 72 | 0.8 | 58 | 60 |
| Área de embalagem | 72 | 0.8 | 58 | 60 |
| Área de moagem | 48 | 0.8 | 38 | 40 |
| Oficinas e Cantina | 68 | 0.8 | 54 | 60 |

De forma a reduzir os custos de manutenção e a possibilidade de intermutabilidade das UPS, foi realizada normalização da potência das UPS, para 60 kVA. Apenas se usou uma fonte de 40 kVA devido à grande diferença entre o valor necessário e o valor previamente normalizado.

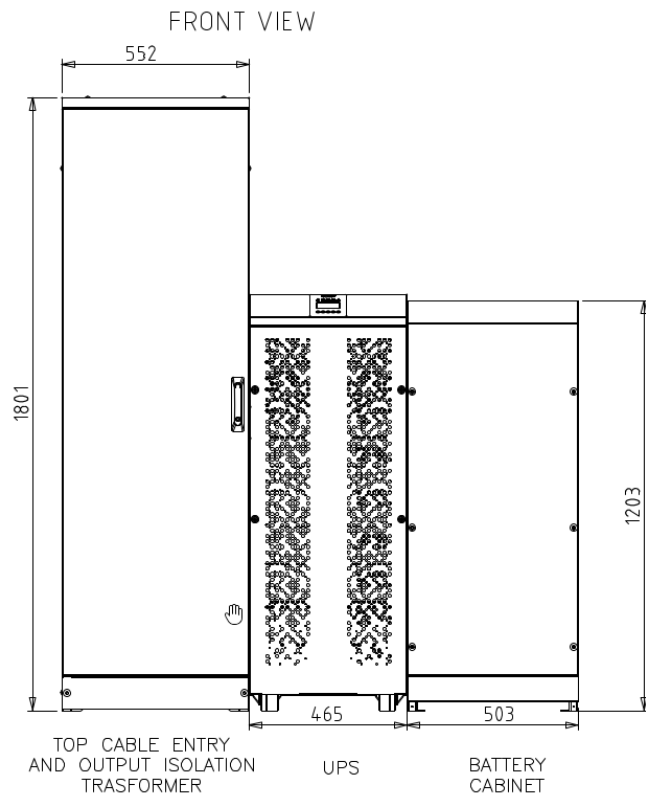
Os dois (2) tipos de potências do equipamento levam a que a envergadura dos mesmos seja diferente e com isso foi possível otimizar o espaço necessário para a sua instalação.



A Figura 82 mostra uma vista frontal da UPS de 60 kVA.

Nestas UPS o painel um (1) é destinado à alimentação do transformador de isolamento e o painel dois (2) será responsável pelo acoplamento do retificador e os últimos dois (2) painéis – painel três (3) e quatro (4) - estão somente destinados ao agrupamento das baterias por forma a totalizar a potência necessária.

Figura 82; Vista frontal da UPS de 60 kVA



A Figura 83 mostra uma vista frontal da UPS de 40 kVA.

Nesta UPS devido ao menor número de baterias que são necessárias, e do retificador, foi possível reduzir as dimensões do armário e consequentemente o custo da UPS.

Figura 83: Vista frontal da UPS de 40 kVA

Relativamente aos quadros de alimentação às cargas críticas, foram apenas considerados quadros de distribuição murais tendo por base a informação proveniente na lista de cargas. Abaixo, na Tabela 40 podemos ver um exemplo da lista de cargas disponível para o quadro de distribuição da área de produção.

Tabela 40: Lista de cargas para o quadro de distribuição da UPS da área de produção

| Carga | | Tipo do disjuntor | Calibre Disjuntor (A) |
|-------|---|-------------------|-----------------------|
| 1 | Chegada | 3-P | 100 |
| 2 | Controlo do sistema de refrigeração | 2-P | 10 |
| 3 | Controlo do sistema de CO2 | 2-P | 10 |
| 4 | Controlo do sistema de Ar comprimido | 2-P | 10 |
| 5 | Controlo do sistema WTP | 2-P | 10 |
| 6 | Reserva | 2-P | 60 |
| 7 | Reserva | 2-P | 20 |
| 8 | Quadro de distribuição - Sala ferramentas NH3/CO2 | 2-P | 10 |
| 9 | Quadro de distribuição - WTP Socorro | 3-P | 32 |
| 10 | Quadro de distribuição - Sala ferramentas Socorrido | 3-P | 20 |
| 11 | Reserva | 3-P | 10 |
| 12 | Reserva | 3-P | 10 |
| 13 | Reserva | 3-P | 10 |
| 14 | Reserva | 2-P | 10 |

Segundo análise deste exemplo, o quadro de distribuição da UPS 3.1 terá quatorze (14) cargas nele ligadas sendo por isso necessário considerar equipamentos para o seu corte e proteção.

Neste exemplo específico foram criados dois (2) barramentos iguais. Um (1) barramento para cargas já identificadas e outro para cargas de reserva, cada um protegido por um (1) interruptor diferencial de média sensibilidade (300 mA) e com uma corrente nominal de 100 A. Estes dois (2) barramentos são alimentados por um disjuntor de entrada tripolar com 160 A.

Relativamente às canalizações com a informação presente na tabela anterior e recorrendo ao método anterior, utilização do *software Simaris Design*. O resultado do dimensionamento pode ser observado na Figura 3.41.

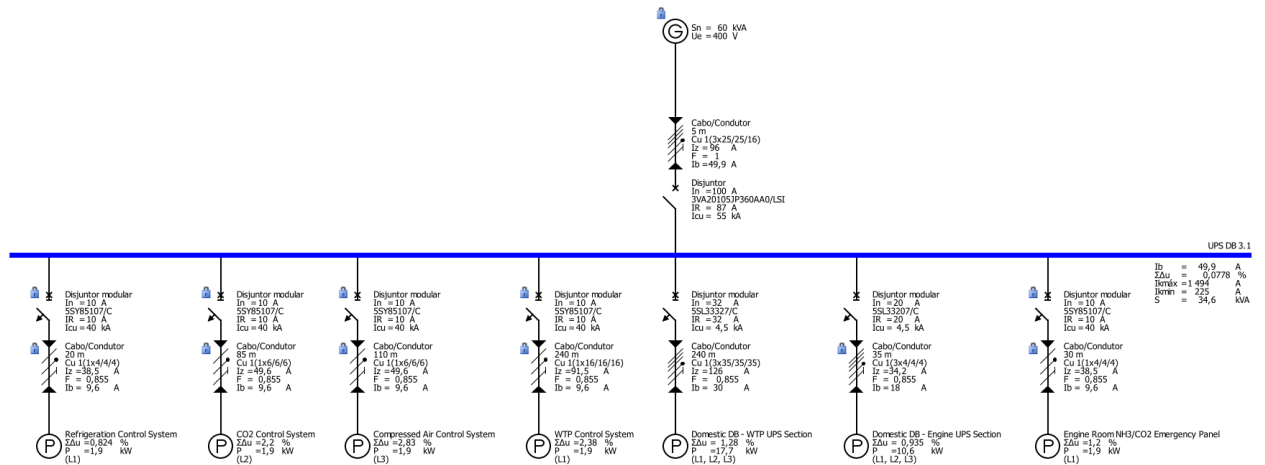


Figura 84: Dimensionamento de canalizações elétricas – Quadro Distribuição UPS 3.1

3.4. DIREÇÃO DE OBRA

No âmbito da direção de obra da empreitada de instalações elétricas de fornecimento e instalação de equipamento de média e baixa tensão, da unidade industrial de produção de cerveja em Moçambique, destacam-se as principais atividades a seguir descritas.

3.4.1. PREPARAÇÃO DE OBRA

Antes de entrar em obra é imperativo ser desenvolvido todo um trabalho de preparação para que o momento de entrada em obra e a execução do projeto aconteça da forma mais organizada e ordeira possível.

3.4.1.1. CONSTITUIÇÃO DAS EQUIPAS DO TRABALHO

A execução de uma obra num país terceiro coloca um conjunto de dificuldades que não se verificam quando a mesma é realizada num país em que o mercado é conhecido da entidade executante.

Posto isto foi necessário iniciar um processo de procurement, negociação e seleção do fornecedor a ser escolhido, para a seleção da empresa subcontratada sob a qual iria recair a responsabilidade de fazer as tarefas de instalação no local.

Nesta fase, procurement, foram disponibilizadas às empresas consultadas todo o conjunto de informações/documentos que permitiam ter uma visão global do projeto tais como caderno de encargos, esquemas unifilares, Technical Data Sheets dos equipamentos, planeamento contratualizado e condições contratuais. Foram também desenvolvidos contactos para esclarecimentos técnicos colocados pelas diversas empresas.

A estratégia adotada com todos os fornecedores em fase de procurement foi realizar Back-to-back, processo esse que consiste em passar a informação/condições contratuais que o cliente final, ABinBev impõe à entidade fornecedora, SIEMENS ficando desta forma contratualmente salvaguardo.

Apesar das vantagens desta estratégia, devido ao menor âmbito de trabalho associado a este fornecedor, apenas a instalação e não qualquer tipo de fornecimento significativo, a maior parte do risco contratual ainda estava sobre a alçada da SIEMENS SA. No entanto o passar, da forma mais fiel possível a condição para a empresa subcontratada coloca pressão e uma atenção maior no projeto que se espera revelar benéfica durante a execução.

Um dos elementos que foi necessário ser entregue juntamente com a proposta foi também uma breve apresentação da empresa onde mostrasse projetos anteriores em que estiveram envolvidos.

Após receber as propostas de todos os parceiros que atuam no mercado Moçambicano seguiu-se a posterior avaliação de preços e competências. Uma obra desta dimensão exige que o parceiro tenha conhecimento suficiente para poder executá-la de forma exímia e por esse motivo a experiência do parceiro selecionado assume também um papel predominante, juntamente com o valor apresentado na proposta.

No que toca à seleção da empresa subcontratada, apesar de não ser a proposta com o valor monetário mais baixo, optou-se por uma empresa local, subsidiária de um instalador Português, que deu todas as seguranças que teria as competências necessárias.

3.4.1.2. PLANO DE APROVISIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

O plano de aprovisionamento de equipamento era da responsabilidade da empresa fornecedora no que toca aos equipamentos principais, conforme a Tabela 41, no entanto pequenos acessórios de instalação, como apoios de fixação de caminhos de cabos, caixas fim de cabo, entre outros ficaram no âmbito de fornecimento da empresa subcontratada.

A estratégia de divisão de fornecimento, foi adotada uma vez que não é possível determinar em fase de projeto/preparação de obra todos os acessórios necessários para a instalação por não ser possível ter uma visão exata de todas as condições da instalação e a completa natureza dos trabalhos.

Relativamente ao aprovisionamento de equipamentos principais um dos primeiros focos da equipa foi a definição da solução técnica e conseguir chegar a um ponto de Design freeze, ponto este em que se obtém a aprovação de todos os equipamentos que deverão ser instalados, de modo a que fosse possível iniciar a produção dos mesmos. Isto aconteceu devido ao extenso tempo de entrega dos mesmos. Neste caso, de modo a otimizar o tempo de entrega o processo de produção foi decorrendo á medida que o equipamento foi estando aprovado pelo cliente.

Tabela 41: Listagem de equipamento fornecido

| Equipamento | Fornecedor | Pais |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| Subestação | SIEMENS SA | Portugal/China |
| Quadros Média tensão | SIEMENS SA | Turquia/Alemanha |
| Transformadores | SIEMENS SA | Hungria |
| Quadros gerais de Baixa tensão | SIEMENS SA | Portugal |
| Quadros distribuição | SIEMENS SA | Portugal |
| UPS | BORRI | Itália |
| Cabos de média tensão | DUCAB | UAE |
| Cabos de baixa tensão | DUCAB / Eland | UAE / Reino unido |
| Quadro tensões auxiliares | BORRI | Itália |

O fornecimento deste equipamento não seguiu uma ordem lógica uma vez que entre eles existiram variados períodos de definição de engenharia/aprovação/produção e transporte. Foi feito, no entanto o esforço para que no momento de entrada em obra todo este equipamento estivesse já entregue no local de modo a permitir uma empreitada continua e sem realocações de frente de obra.

Devido à diversidade de equipamentos tiveram que ser desenvolvidos processos logísticos provenientes de vários países tais como o Dubai, Reino unido, Inglaterra, Turquia, Alemanha, China, Portugal, Hungria, Itália, etc.

Esta dispersão na localização obrigou a um acréscimo de trabalho significativo, nomeadamente com questões burocráticas para conseguir despachar os equipamentos, do que aquele que estava inicialmente previsto. Estes processos tiveram também impactos diretos na duração do projeto uma vez que o tempo de transporte acabou por não ser respeitado e verificaram-se desvios, devido aos processos de grupagem e/ou desalfandegamento, na entrega do equipamento em obra.

Entre os processos logísticos o dos cabos de média e baixa tensão foi aquele que exigiu uma maior atenção.

As bobines do cabo de média tensão, devido ao seu grande tamanho, o seu transporte teve que ser ajustado, tendo que se recorrer a contentores “40’ *Open top*” (ilustrados na Figura 85) que são semelhantes a um contentor de 40 pés, mas sem o topo permitindo assim transportar cargas mais altas.



Figura 85: Transporte de cabo de média tensão do anel 2

Também o transporte dos cabos de baixa tensão foi um processo bastante complexo uma vez que a lista de material necessário contemplava mais de 80km de cabo que seriam necessários para a instalação. A quantidade total de cabos de baixa tensão foi distribuída por mais de 100 bobines obrigando a que fosse feito um controlo dos 6 contentores onde este equipamento iria entre os Emirados Árabes Unidos e a instalação. Na Figura 86 está ilustrado um exemplo dos contentores com cabos de baixa tensão.



Figura 86: Transporte de bobines de cabo de baixa tensão

3.4.1.3. AQUISIÇÃO/ALUGUER DE EQUIPAMENTO

Durante a fase de preparação de obra a definição e aluguer do equipamento necessário para a realização total da empreitada ficou definido que seria da responsabilidade empresa subcontratada uma vez que apenas estes têm uma noção exata e pertinente da realidade.

Após esta análise optou-se por alugar diversos meios mecânicos tais como:

- Camião grua – Alugado durante o momento de chegada dos equipamentos à obra com o objetivo de agilizar a descarga e em momentos de movimentação de grandes cargas como bobines de cabo de média tensão e/ou movimentação de Kiosks metálicos;
- Plataforma elevatória – equipamento essencial para a instalação de caminhos de cabos e cabos de baixa tensão no teto da instalação;

- Manitou –Equipamento essencial durante todo o projeto para a movimentação de todo o tipo de cargas desde bobines de cabos a quadros elétricos e painéis e representado na Figura 87;



Figura 87: Manitou - equipamento usado para movimentação de cargas

Para além dos meios anteriormente referidos houve também outros meios não mecânicos essenciais para a realização das atividades como os andaimes para trabalhos em altura e os macacos hidráulicos para a instalação de cabo.

A Figura 88 mostra um exemplo de um macaco hidráulico para a instalação de cabo.



Figura 88: Macacos hidráulicos para a instalação de cabo

3.4.1.4. DESENVOLVIMENTO E ORGANIZAÇÃO DE ESTALEIRO

O desenvolvimento e organização do estaleiro, é uma atividade extremamente importante pois, quando realizado corretamente, permite otimizar os prazos das empreitadas uma vez que não existe momentos de reorganização ou de movimentação de cargas, equipamentos ou ferramentas que deveriam ser de fácil acesso.

Este projeto, não requeria que fosse apresentado e submetido qualquer tipo de layout de estaleiro para aprovação.

Neste caso, pelo facto de a gestão do projeto estar a ser realizada em Portugal e não a tempo inteiro na obra a responsabilidade de desenvolvimento e organização do estaleiro ficou a cargo do subcontratado de modo a que o estaleiro esteja organizado consoante as suas necessidades. Este processo foi sempre coordenado em conjunto com a entidade responsável pela execução da obra.

Antes de entrar em obra o estaleiro foi preparado para ter todas as condições necessárias e para isso houve a necessidade de alugar um contentor de escritório, um contentor de vestiário e um contentor de ferramentaria, sendo estes três (3) os principais espaços do

estaleiro. Adicionalmente aos espaços destinados à execução dos trabalhos, e por exigência do plano de saúde e higiene no trabalho foi ainda alugado um módulo de casa de banho.

No caso de armazenamento de equipamento houve também a flexibilidade do cliente para este tema e este optou por comprar os contentores em que estes os equipamentos chegavam ao porto de Maputo. Esta opção revelou-se bastante vantajosa uma vez que permitiu armazenar todos os materiais necessários durante o tempo em que este não fosse instalado sem haver a preocupação do custo do aluguer mensal de espaços de armazenamento.

Na Figura 89 está representado o *Layout* do estaleiro em obra.

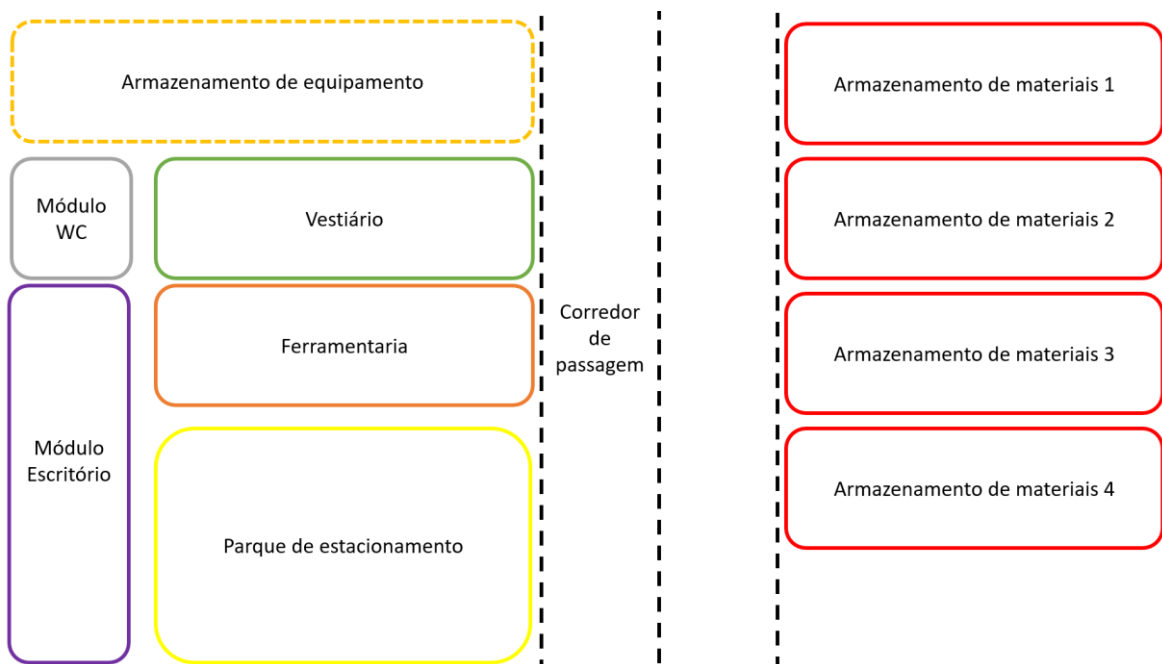


Figura 89: Layout do estaleiro

3.4.1.5. PLANEAMENTO DA OBRA (EM PARCERIA COM O GESTOR DO PROJETO)

O adequado planeamento da obra é também de elevada importância, pois, será sempre esse o documento principal que permitirá perceber em que estado a empreitada se encontra e em que estado era suposto estar.

A elaboração do planeamento foi constituída por diversas fases em que o ponto de partida foi o realizado como anexo à proposta final aquando da adjudicação da empreitada.

No momento de definição de engenharia foi possível perceber que planeamento contratualizado não era suficientemente detalhado e preciso para ser transporto para a execução uma vez que definia que a empreitada iria estar concluída em 3 meses, tempo esse claramente insuficiente para a natureza do projeto.

Durante a fase preparação de projeto o planeamento inicial foi descortinado e foi criado um documento com uma quantidade maior de detalhe de cada tarefa de modo a que o documento fosse o mais fidedigno possível. Para a elaboração desse documento o Gestor de Projeto foi quem assumiu a figura predominante, contudo a informação de fornecedores e parceiros teve um papel relevante uma vez que as datas apresentadas devem ser validadas por terceiros.

Apesar do rigor apresentado este documento durante o desenrolar do projeto teve que ir sendo constantemente atualizado devido a diferentes informações recebidas por parte dos *stakeholders*, conjunto de pessoas e organizações envolvidas no mesmo processo, envolvidos.

3.4.2. EXECUÇÃO DE OBRA

3.4.2.1. ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE GARANTIA DE QUALIDADE

No início do projeto teve que ser definido com o cliente e com a empresa subcontratada quais seriam os processos para a elaboração do plano de qualidade durante o projeto sendo que neste ponto o cliente transferiu toda a responsabilidade para a SIEMENS SA.

Esta responsabilidade, apesar de o risco ser internamente da empresa contratada ficou repartida entre o fornecedor de equipamentos e o subcontratado responsável pelos trabalhos de instalação.

O fornecedor principal foi responsável por apresentar todos os certificados de qualidades e testes que foram sendo realizados aos equipamentos durante a fase de produção. Por opção do cliente, não houve lugar a FAT – *Factory acceptance tests* e por essa razão os equipamentos foram enviados diretamente dos fornecedores para obra.

Ao receber o equipamento em obra ainda sobre a responsabilidade da SIEMENS SA foram tidos em conta diversos aspetos para confirmar que o equipamento estava em condições de ser aceite em obra. Esses aspetos podem ser descritos abaixo:

- Confirmação de que o material entregue condiz com o packing list;
- Realizar uma primeira inspeção visual a fim de detetar eventuais danos durante o transporte;
- Confirmar que as características técnicas do equipamento entregue condizem com a encomenda realizada, baseada na documentação aprovada pelo cliente;
- Confirmar que o manual de instalação e operação, em linguagem adequada, acompanham o equipamento;
- Confirmar que os relatórios dos testes em fábrica são entregues juntamente com o quadro.

Depois de todos os equipamentos aceites e instalados, a empresa subcontratada, que é a responsável pelos trabalhos de IEG perante a empresa contrante, teve de apresentar os relatórios de ensaios e testes feitos durante a instalação e na fase de comissionamento.

No entanto este comissionamento foi feito com total conhecimento e cooperação do cliente. Antes da energização de qualquer equipamento era realizado com o cliente o SAT – *Site Acceptance Tests* em que fundamentalmente consistia em realizar inspeção visual e confirmação de apertos ao equipamento e entregue ao cliente os relatórios dos ensaios realizados.

Sendo este equipamento energizado o equipamento era transferido para propriedade do cliente através da assinatura da receção provisória do mesmo.

3.4.2.2. ELABORAÇÃO E COLABORAÇÃO NA IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA E DE SAÚDE

Uma obra desta envergadura obriga a que seja considerado um, ou vários, técnico de segurança a tempo inteiro e à semelhança do que aconteceu com a empresa responsável pelo trabalho de instalação foi também lançado o processo de procurement para a empresa responsável pela Higiene e Segurança no Trabalho - HST.

Uma vez mais o processo foi semelhante uma vez que tanto a experiência tida em projetos semelhantes e o preço apresentados foram os fatores decisivos na escolha do fornecedor.

Após este processo estar concluído foi selecionada uma empresa local que deslocaram três (3) técnicos para acompanhar o processo a *full-time* e garantir que as normas de higiene e segurança eram cumpridas de forma rigorosas.

O projeto contempla uma panóplia de operações/tarefas que requerem um total conhecimento das mesmas para que possa ser elaborado o plano de segurança e saúde em conformidade.

Por forma a manter o projeto com as melhores ações de forma a não correr riscos e evitar acidentes de trabalho menos agradáveis foi estabelecido entre a empresa escolhida para desempenhar as funções de HST e a entidade contratante o envio de um relatório semanal

onde era feito o registo das atividades desempenhadas e os pontos que necessitariam de ser melhorados.

Existiam também outros pontos que faziam parte deste plano de segurança e saúde e que tinham de ser continuamente aplicados como a elaboração de palestras diárias de sensibilização e programação das atividades, sinalização das atividades, vedação de espaços confinados, verificação do equipamento entre outros. Alguns dos procedimentos descritos acima estão ilustrados na Figura 90.



Figura 90: Implementação do plano de segurança e saúde

Nos projetos de grandes dimensões, muito devido à natureza do trabalho e à pressão constante de prazos, é fácil descuidar este ponto e permitir que sejam feitas ações que ponham em risco o trabalhador e isso, infelizmente, aconteceu, mas sem incidentes.

Na Figura 91 podemos ver a movimentação de carga de forma indevida que podia ter resultado em acidente, felizmente foi abortada pelo Gestor de Projeto em tempo útil.



Figura 91: Movimentação de cargas de forma indevida

Existem 5 regras de ouro que estão aplicadas à execução de projetos elétricos e devem sempre ser executadas com rigor evitando assim situações que podem resultar em acidentes ou incidentes, sendo estas:

1. Desligar – Desligar todos os circuitos elétricos através dos equipamentos de seccionamento com indicação visível do estado do equipamento;
2. Consignar – Bloquear o equipamento desligado anteriormente de modo em que em momento algum seja possível o ligar;
3. Testar – Comprovar a ausência de tensão nos circuitos que se irá intervir. Para este teste devemos agir como se houvesse energia garantindo todos os procedimentos de segurança;
4. Aterrizar – Fazer as ligações à terra sempre que seja possível;
5. Sinalizar – Sinalizar o equipamento, conforme o representado na Figura 92, que se encontra em tensão ou consignado de modo a ser claro para qualquer utilizador que não conheça a natureza dos trabalhos que se estão a desenvolver



Figura 92: Sinalização de quadro em tensão

3.4.2.3. ANÁLISE DE ERROS E OMISSÕES

Devido à elevada pressão existente durante a fase de oferta e preparação de obra é natural que em projetos com um grande nível de complexidade existam pontos que não estejam claros ou especificados o que podem conduzir a erros durante a execução.

- Quantidades de cabos

Um dos pontos que merece destaque durante a execução foi o dimensionamento das quantidades de cablagem elétrica necessárias uma vez que se optou por considerar uma margem de segurança de 25% em todos os troços de média tensão.

O anel um (1) de média tensão tem um comprimento total relativamente curto, perfazendo um total de 626 metros. Na fase de projeto apenas estava pressuposto que o anel teria 530 metros, mas por decisão da equipa de gestão de projeto, e de modo evitar a falta de cabos no momento de execução de obra, estes troços foram sobre dimensionados em 25%. Desta forma, foram comprados na totalidade 1326 metros, resultando então dois cabos de 663 metros para usar em cada uma das fases.

Este sobre dimensionamento, apesar de um custo extra, resultou, em fase de execução na mitigação de risco, pois caso não tivesse sido tomada essa decisão na altura da instalação a execução do projeto estaria comprometida.

Esta análise pode ser feita através da Tabela 42 em que é possível perceber que entre a fase de projeto e a fase de execução houve um aumento de 18% entre o que estava definido no projeto e o que foi utilizado na realidade.

Tabela 42: Diferenças de metragem entre fase de projeto e fase de execução no anel 1

| | Distância fase de Projeto (m) | Margem de Segurança (m) | Distância fase de Execução (m) |
|---------------|--|------------------------------------|---|
| SIMOSEC – 3.3 | 75 | 94 | 123 |
| 3.3 – 3.2 | 15 | 19 | 20 |
| 3.2 – 3.1 | 15 | 19 | 19 |
| 3.1 – 6.1 | 135 | 169 | 149 |
| 6.1 – 5.1 | 145 | 181 | 168 |
| 5.1 – 5.2 | 10 | 13 | 20 |
| 5.2 – SIMOSEC | 135 | 169 | 127 |
| Total | 530 | 663 | 626 |

A situação repetiu-se no anel dois (2) que tendo este anel uma distância bastante superior ao anel principal.

Na fase de projeto estava previsto ser necessário 2861 metros de cabo, no entanto, e uma vez mais por precaução, foi adicionada uma margem de 25% para não correr o risco de com as alterações normais no terreno não haver a necessidade de comprar cabo de urgência e com isso comprometer o projeto quer a nível financeiro quer a nível de planeamento.

Na Tabela 43 é possível ver a diferença de metragens entre a fase de projeto e a fase de execução.

Tabela 43: Diferenças de metragem entre fase de projeto e fase de execução no anel 2

| | Distância fase de Projeto (m) | Margem de Segurança (m) | Distância fase de Execução (m) |
|---------------|--|--|---|
| SIMOSEC – 1.1 | 16 | 20 | 45 |
| 1.1 – 8.1 | 465 | 581 | 470 |
| 8.1 – 7.1 | 235 | 294 | 221 |
| 7.1 – 9.1 | 330 | 413 | 312 |
| 9.1 – 4.1 | 310 | 388 | 526 |
| 4.1 – 2.1 | 1015 | 1269 | 1168 |
| 2.1 – SIMOSEC | 490 | 613 | 495 |
| Total | 2861 | 3578 | 3237 |

Neste anel existiu uma diferença entre a fase de projeto e a fase de execução sendo que neste caso a diferença ultrapassou os 13%.

Um valor inferior quando comparado com o primeiro anel, no entanto, a compra de material com uma margem de segurança teve um papel de extrema importância para o comprimento destas tarefas sem contratempos e no prazo previsto.

- Caminhos de cabo

Outros dos aspetos que em durante a fase de projeto não foi tida em conta foi o dimensionamento dos caminhos de cabo devido ao facto de não haver rigor suficiente para ser feito este levantamento. Por essa razão foi apenas contratualizado 500 metros lineares.

Esta distância foi definida por estimativa sendo em caso de necessidade de incrementar a distância teria de ser negociado um valor adicional para este equipamento.

Ao longo de todo o projeto foram instalados mais de 4 km de caminhos de cabos para albergar todas as cablagens de média e baixa tensão.

- **Telas de aviso de cabo em tensão**

Outra das omissões presentes no contrato foi referente à instalação do cabo de média tensão nas valas, instalação essa que conforme já foi referido é da responsabilidade da entidade responsável pela empreitada, no entanto nunca foi claro de quem era a responsabilidade do fornecimento das telas de aviso de cabo em tensão, semelhantes à Figura 93.



Figura 93: Telas de aviso de cabo em tensão [43]

Estas telas devem ser instaladas 20 centímetros acima do cabo evitando deste modo que quando ocorram escavações com o uso de maquinaria pesada o cabo instalado abaixo não seja atingido pelo equipamento de escavação.

Apesar de não ser discriminado de forma clara de quem seria a responsabilidade o cliente exigiu que fosse instalado sem ser apresentado qualquer maior valia para este serviço pois foi considerado como “boa prática da instalação”.

Sendo este um equipamento que não estava considerado inicialmente no âmbito de fornecimento, e de prejudicar o plano financeiro devido ao elevado custo de o fornecedor localmente – única solução possível para não comprometer o prazo de entrega – o Gestor de Projeto decidiu que este custo teria que ser comportado.

- **Canalizações danificadas**

Durante o processo de instalação foi impossível para o dono de obra ter o controlo total sobre a mesma e ocorreram vários episódios de cabos danificados por outras empresas subcontratadas.

Houve troços de cabo de média tensão em que se verificou a necessidade de reparar os troços usando os equipamentos vulgarmente denominados por “submarinos” com o fim de reparar o isolamento ou realizar a junção de novos troços de cabo.

Abaixo, na Figura 94, é possível visualizar algumas fotografias tiradas no local da obra onde se observam alguns exemplos das reparações realizadas nestes troços.



Figura 94. Processo de reparação de cabo de média tensão

3.4.2.4. ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS DA EVOLUÇÃO DOS TRABALHOS

Conforme já foi sendo referido ao longo do documento existiu sempre uma grande pressão ao longo de toda a execução no que toca ao prazo de instalação, muitas vezes em detrimento da qualidade, pois o existia a meta por parte do cliente do arranque da instalação antes do final do ano 2020.

Esta meta temporal colocou na entidade instaladora uma pressão para que os trabalhos fossem desenvolvidos de forma expedita.

Para que fosse possível monitorizar o avanço dos trabalhos foi criado o compromisso de envio de um relatório semanal com a atualização dos progressos da obra.

Esta pressão não foi sempre constante uma vez que existiram períodos da execução do projeto que o cliente exigiu a apresentação de relatórios diários, em detrimento dos anteriores relatórios semanais, colocando assim uma pressão acrescida no Gestor de Projeto.

Apesar da gestão de projeto ter sido totalmente realizada em Portugal a equipa de Gestão de Projeto esteve em obra por mais de 6 meses de modo a que fosse feito um acompanhamento de perto da execução da mesma.

Independentemente de a equipa de gestão portuguesa estar ou não em obra todos os trabalhos realizados em obra foram reportados de forma regular para que todas as comunicações necessárias para o cliente fossem efetuadas para entidade responsável, neste caso a equipa de gestão de projetos.

3.4.2.5. COMISSONAMENTO DE EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES

3.4.2.5.1. GENERALIDADES

O comissionamento do equipamento instalado é talvez um dos momentos mais importantes do projeto pois é nesta altura que é possível certificar que todo o tempo investido na instalação teve o resultado esperado.

Este é um ato de elevada responsabilidade para a equipa de instalação sendo também esta uma momento chave que a equipa de gestão de projetos escolheu para acompanhar de perto os ensaios.

Os ensaios realizados foram sempre os necessários para garantir que a instalação tinha ocorrido da melhor maneira e adequados aos equipamentos.

3.4.2.5.2. ENSAIOS REALIZADOS NA INSTALAÇÃO

Abaixo estão descritos em detalhe alguns, dos mais importantes, ensaios realizados em obra.

- Medição da resistência de terra

O valor de resistência de terra assume um papel de extrema importância nas instalações elétricas sendo ele essencial para o cumprimento da proteção numa instalação elétrica.

Este teste, devido à sua importância, deve ser realizado periodicamente e na época em que o terreno se encontre mais seco uma vez que a humidade poderá conduzir a valores de resistência falsos.

Este ensaio obriga a que o cabo de terra seja desligado da restante instalação e devido ao facto de a instalação deixar de ter momentaneamente terras das massas esta também deverá ser desligada.

O ensaio foi realizado com recurso ao Método Volt Amperimétrico que consiste em fazer circular uma corrente alternada com valor constante entre o elétrodo de terra a medir e um outro elétrodo de terra auxiliar de corrente colocado a uma distância suficientemente grande em que as superfícies de influência não se intercetam.

Um terceiro elétrodo, o elétrodo de terra auxiliar de tensão deve ser instalado a meio da distância entre os outros dois permitindo assim medir a tensão entre o elétrodo de terra a medir e o elétrodo de terra auxiliar de tensão.

Este procedimento está ilustrado na Figura 95.

MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO : QUEDA DE POTENCIAL

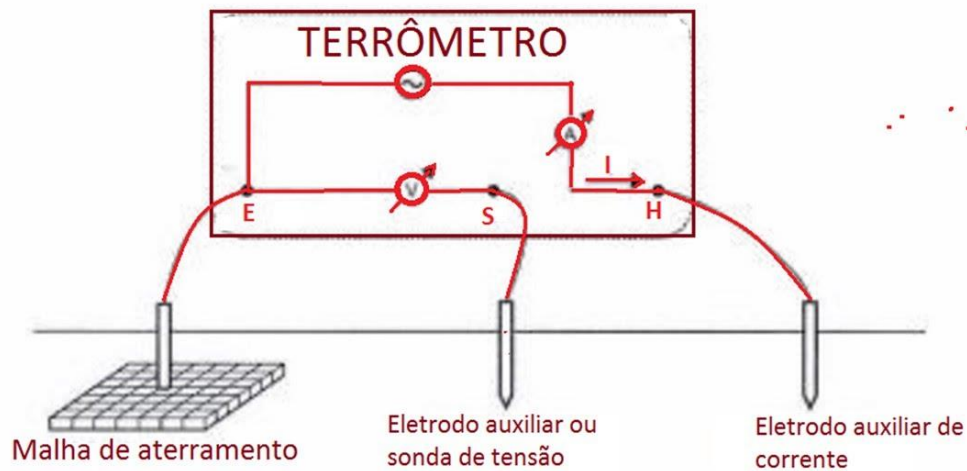


Figura 95. Método Volt-Amperimétrico

Para que seja garantido que não existe influência entre os elétrodos de terra, os elétrodos auxiliares quer de corrente quer de tensão devem ser colocados o mais longe possível do elétrodo de terra a medir e sem canalizações de água, vedações metálicas, tubagens etc.

Como regra pode ser considerada uma distância de 10 metros para o elétrodo de terra mais próximo, o de tensão e 20 metros para o elétrodo de terra de corrente, o mais corrente.

Por regra de boa prática, e com o objetivo de confirmar o valor obtido devem ser realizados diversas medições deslocando os elétrodos lateralmente cerca de 6 metros. Se os 3 resultados obtidos se encontrarem dentro da mesma ordem de grandeza pode ser considerado a média destes.

- **Teste de isolamento a barramento e cabos**

O isolamento das instalações elétricas é um requisito fundamental para a proteção das pessoas contra os contactos diretos e indiretos e a forma de assegurar o cumprimento destes requisitos é com a realização dos ensaios de enrolamentos.

Este ensaio deve ser realizado antes da instalação entrar ao serviço, sem tensão ou com o aparelho de corte geral desligado e permite verificar que não existem curto circuitos e que os valores mínimos regulamentares estão a ser cumpridos. Por forma a garantir que é verificador todo o circuito os fusíveis/disjuntores intermédios devem estar fechados assim como o disjuntor da carga final.

Estas medições devem sempre ser feitas em corrente continua devendo o equipamento de teste ser capaz de fornecer as tensões de ensaios conforme presente na Tabela 44 e corrente de 1 mA.

Tabela 44: Resultados esperados no ensaio de isolamento

| Tensão Nominal do Circuito (V) | Tensão de Ensaio em Corrente Continua (V) | Resistência de Isolamento (MΩ) |
|---------------------------------------|--|---|
| TRS e TRP | 250 | ≥ 0.25 |
| Tensão ≤ 500 V | 500 | ≥ 0.5 |
| Tensão > 500 V | 1 000 | ≥ 1 |

- **Teste de rotação de fases**

Em sistemas trifásicos e com equipamentos como motores ou variadores a sequência de fases é imprescindível para o bom funcionamento da instalação. Se por lapso, durante a execução do projeto, forem conectados os cabos com as fases trocas isto pode fazer com que os motores rodem no sentido inverso podendo provocar danos no equipamento e/ou na instalação.

Este teste deve ser realizado com recurso a um equipamento próprio em que irá determinar e mostrar no display se o sentido das fases é o correto, conforme visível na Figura 3.53.



Figura 96: Equipamento de análise do sentido de rotação [44]

4. APLICAÇÃO INFORMÁTICA PARA ESTIMAÇÃO DO VALOR DA RESISTÊNCIA DE TERRA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

4.1. GENERALIDADES

A estimativa do valor da resistência de terra é de extrema importância numa fase de projeto pois será o seu correto funcionamento que permitirá proteger os utilizados e os equipamentos de tensões diferenciais perigosas.

Da pesquisa realizada não foi possível verificar a existência de aplicações informáticas que de uma forma intuitiva e rápida permitissem a determinação de qual o valor estimado para a rede de terra que se irá obter caso se escolha determinada solução/configuração de eletrodo de terra.

Assim, com o propósito de auxiliar na elaboração do projeto, nomeadamente peças escritas e desenhadas, foi desenvolvida a aplicação informática que tem como objetivo ser um primeiro elemento de aproximação à solução final.

4.1.1. RESISTÊNCIA DE TERRA

A resistência de contacto de um eléctrodo de terra depende das suas dimensões, da sua forma e da resistividade do terreno no qual ele for implantado. Essa resistividade, que pode variar superficialmente (de um ponto para outro) ou em profundidade, é expressa em ohm x metro (refira-se que a resistividade do terreno é numericamente igual à resistência, em ohm, de um cilindro de terreno com 1 m² de secção e 1 m de comprimento).

O aspecto superficial do solo e da sua vegetação podem dar indicações sobre o carácter mais ou menos favorável do terreno para a instalação de eléctrodos de terra, constituindo as medições em eléctrodos de terra realizadas em terrenos análogos um meio mais exato para fazer essa avaliação.

A resistividade de um terreno depende do seu teor de humidade e da temperatura, as quais variam sazonalmente, sendo o teor de humidade influenciado pelas dimensões dos grãos do terreno e pela sua porosidade. Pode dizer-se que, na prática, a resistividade aumenta quando o teor de humidade diminui.

Os eléctrodos de terra não devem, em caso algum, ser constituídos por uma peça metálica simplesmente mergulhada na água nem devem ser estabelecidos em poças de água ou em rios. Esta proibição justifica-se não apenas pela medíocre condutibilidade da água, mas principalmente pelo risco de secagem e pelo perigo a que poderiam ficar sujeitas as pessoas que entrassem em contacto com a água no momento em que se produzisse um defeito.

As camadas do subsolo percorridas por cursos de água subterrâneos, como é o caso das proximidades dos rios, só raramente devem ser usadas, para instalação de eléctrodos de terra pois são, em regra, formadas por terrenos pedregosos, muito permeáveis, lavados por uma água purificada pela filtragem natural, apresentando elevados valores de resistividade. Para tal, seria necessário atravessá-los por meio de varetas profundas para encontrar, em camadas mais profundas terrenos, melhores condutores, caso existam.

O gelo aumenta consideravelmente a resistividade dos terrenos, que pode atingir vários milhares de ohm x metros na camada gelada, podendo essa camada, em certas regiões atingir 1 m de profundidade.

A secagem do terreno aumenta igualmente a sua resistividade, podendo os seus efeitos fazerem-se sentir, em certos casos, até a uma profundidade superior de 2 m (os valores da resistividade, nesses casos, são da ordem de grandeza dos encontrados para o gelo).

4.1.2. RESISTIVIDADE DOS TERRENOS

Na Tabela 45 estão indicados todos os valores da resistividade para os diferentes tipos de terrenos onde é possível ver que para um mesmo tipo de terreno a resistividade pode variar entre diferentes limites.

Tabela 45: Resistividade dos terrenos de acordo com a sua natureza [36]

| Natureza dos Terrenos | Resistividade (Ωm) |
|---|------------------------------------|
| Terreno pantanoso | 1 a 30 |
| Lama | 20 a 100 |
| Húmus | 10 a 150 |
| Turfa húmida | 5 a 100 |
| Argila plástica | 50 |
| Mármore e argilas compactas | 100 a 200 |
| Mármore do Jurássico | 30 a 40 |
| Areia argilosa | 50 a 500 |
| Areia silicosa | 200 a 3 000 |
| Solo pedregoso nu | 1 500 a 3 000 |
| Solo pedregoso recoberto de relva ou erva curta | 300 a 500 |
| calcários macios | 100 a 300 |
| calcários compactos | 1 000 a 5 000 |
| calcários fissurados | 500 a 1 000 |
| xistos | 50 a 300 |
| Micaxistos | 800 |
| Granito e grés | 1 500 a 10 000 |
| Granito muito alterado | 100 a 600 |
| Betão com 1 de cimento e 3 de inertes | 150 |
| Betão com 1 de cimento e 5 de inertes | 400 |
| Betão com 1 de cimento e 7 de inertes | 500 |

Pode ainda ser feita uma aproximação grosseira de acordo com os valores presentes na Tabela 46.

Tabela 46: Resistividade média dos terrenos de acordo com a sua natureza [36]

| Natureza dos Terrenos | Resistividade (Ωxm) |
|--|---|
| Terrenos aráveis gordos e aterros compactos húmidos | 50 |
| Terrenos magros, cascalho e aterros grosseiros | 500 |
| Solos pedregosos nus, areia seca e rochas impermeáveis | 3 000 |

4.1.3. ELÉTODOS DE TERRA

Os elétrodos de terra são elementos físicos enterrados no solo em que estes podem ser do tipo:

- Elétrodos horizontais – elétrodos enterrados geralmente até a uma profundidade de um (1) metro, constituídos por condutores de cobre ou aço galvanizado. Estes tipos de elétrodos podem ser cabos nus, fitas ou varões;
- Elétrodos verticais – elétrodos enterrados normalmente a uma profundidade superior a um (1) metro sendo que estes podem ser chapas, varetas, tubos ou perfilados de cobre ou aço galvanizado. As varetas podem ainda ser de aço revestido a cobre.

A escolha de qual o elétrodo de terra a utilizar deve estar diretamente relacionado com o tipo de solo onde este irá ser instalado. Esta seleção implica a definição da solução a adotar, horizontal ou vertical, e com isso determinados aspetos devem ser tidos em conta tais como as características presentes na Tabela 47.

Tabela 47: Características dos elétrodos de terra [36]

| Tipos de elétrodos | | Material constituinte | Superfície de contacto com a terra (m ²) | Espessura (mm) | Diâmetro exterior (mm) | Comprimento (m) | Dimensão transversal (mm) | Secção (mm ²) | Diâmetro dos fios constituintes (mm) |
|--------------------|------------|-----------------------|--|----------------|------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Horizontal | Cabos nus | Cobre | 1 | | | | | 25 | 1,8 |
| | | Aço galvanizado | 1 | | | | | 100 | 1,8 |
| | Fitas | Cobre | 1 | 2 | | | | 25 | |
| | | Aço galvanizado | 1 | 3 | | | | 100 | |
| | Varões | Aço galvanizado | 1 | | 10 | | | | |
| Vertical | Chapas | Cobre | 1 | 2 | | | | | |
| | | Aço galvanizado | 1 | 3 | | | | | |
| | Varetas | cobre | | | | 15 | 2 | | |
| | | aço revestido a cobre | | | 0,7 | 15 | 2 | | |
| | | Aço galvanizado | | | | 15 | 2 | | |
| | Tubos | Cobre | | | 2 | 20 | 2 | | |
| | | Aço galvanizado | | | 2,5 | 25 | 2 | | |
| | perfilados | Aço galvanizado | | | 3 | | 2 | 60 | |

4.1.4. INSTALAÇÃO DOS ELÉTODOS TERRA

Aquando da instalação dos elétrodos terra devem ser seguidas várias regras, nomeadamente:

- **Condutores enterrados horizontalmente**

Em relação a este tipo de condutores, estes podem ser:

- Unifilares ou multifilares em cobre revestidos por cobre com uma secção não inferior a vinte e cinco (25) mm^2 ;
- Alumínio revestidos por uma bainha de chumbo e de secção não inferior a trinta e cinco (35) mm^2 ;
- Fitas de cobre de secção superior a vinte e cinco (25) mm^2 e uma espessura superior a dois (2) mm;
- Fitas de aço macio galvanizado com uma secção superior a cem (100) mm^2 e uma espessura superior a três (3) mm;
- Cabos de aço galvanizado de secção superior a cem (100) mm^2 , sendo que os cabos com fios finos não são aconselháveis.

A resistência de um eléctrodo de terra constituído por um condutor deste tipo pode ser prevista, aproximadamente, através do cálculo seguinte:

$$R = 2 * \left(\frac{\rho}{L} \right) \quad (28)$$

Onde:

- R – Resistência do eléctrodo de terra, expressa em ohm;
- ρ – Resistividade do terreno, expressa em ohm x metro;
- L – Comprimento da vala ocupada pelo condutor, expresso em metros.

A resistência sofre interferência caso estes condutores sejam colocados em terrenos com traçados sinuosos. Estes condutores podem ser colocados das seguintes formas:

anéis localizados nas bases das valas dos alicerces dos edifícios, ocupando normalmente todo o seu perímetro (nesse caso, o valor de L a considerar é o desse perímetro);

Valas horizontais, sendo que nestes casos os condutores são enterrados a uma profundidade de cerca de um (1) metro em covas abertas expressamente para este efeito. De salientar que estas valas não devem ser preenchidas com materiais como pedras ou cinzas, mas sim com terra capaz de incorporar a humidade.

- **Chapas finas enterradas**

Quando são utilizadas estas chapas, estas têm normalmente uma forma retangular com 0,5 metros x 1 metros enterrados de forma a que o bordo superior fique a uma profundidade de cerca de oitenta (80) cm. Em relação à espessura dessas chapas esta deve ser superior a dois (2) mm caso sejam constituídas por cobre, ou superior a três (3) mm, se forem de aço galvanizado.

De forma a favorecer o máximo contacto entre as duas faces e solo, as chapas devem ser enterradas verticalmente.

A resistência de um eléctrodo de terra constituído por uma chapa enterrada de forma vertical no solo pode ser calculada, aproximadamente, através do seguinte cálculo:

$$R = 0.8 * \left(\frac{\rho}{L}\right) \quad (28)$$

Onde:

- R – Resistência do eléctrodo de terra, expressa em ohm;
- ρ – Resistividade do terreno, expressa em ohm x metro;
- L – Perímetro da chapa, expresso em metros.

- **Eléttodos verticais (exceto chapas)**

Com exceção dos elétrodos em chapa descritos na alínea anterior, os elétrodos verticais podem ser:

- Varetas de cobre ou de aço com um diâmetro mínimo de quinze (15) mm; no caso de varetas em aço, sendo que estas devem ter uma camada protetora aderente de cobre como revestimento ou serem galvanizadas;
- Tubos de aço galvanizado com um diâmetro exterior superior a vinte e cinco (25) mm;
- Perfis de aço macio galvanizado com sessenta (60) mm de lado.

A resistência de um eléttodo de terra constituído por elementos (varetas, tubos ou perfis) metálico enterrado verticalmente no solo pode ser calculado, aproximadamente, através do seguinte cálculo:

$$R = \left(\frac{\rho}{L} \right) \tag{29}$$

Onde:

- R – Resistência do eléttodo de terra, expressa em ohm;
- ρ – Resistividade do terreno, expressa em ohm x metro;
- L – Comprimento do elemento, expresso em metros.

Caso os elementos verticais sejam ligados em paralelo e afastados com uma distância superior ao comprimento dos elementos, é possível diminuir o valor da resistência do eléttodo terra.

Quando as condições atmosféricas forem extremas com risco de gelo ou seca dos terrenos o comprimento das varetas deve ser maior. No caso de varetas de grande comprimento, como o solo é raramente homogéneo, é possível que sejam atingidas camadas de terreno de resistividade baixa.

4.2. APLICAÇÃO INFORMÁTICA

4.2.1. OBJETIVOS GERAIS

A aplicação informática de Estimação do Valor de Resistência de Terra foi desenvolvida para ser utilizado como primeiro elemento para o estudo da solução a adotar na execução da rede de terras de uma instalação.

A utilização desta ferramenta permitirá de forma expedita e aproximada concluir qual a solução que melhor se irá adequar ao fim pretendido e com isso ser possível executar uma estimativa orçamental e memória descritiva mais completa.

4.2.2. TECNOLOGIAS

A aplicação informática de Estimação do Valor de Resistência de Terra foi realizada com suporte da ferramenta *Microsoft Excel*.

O *Microsoft Excel* é um software de cálculo produzido pela Microsoft que através dos seus recursos é possível realizar diversos cálculos matemáticos, desenvolvimento de tabelas e gráficos e ainda aplicações informáticas com recurso à linguagem Visual Basic.

A opção por esta ferramenta deveu-se a ela permitir desenvolver a ferramenta com todas as funcionalidades que eram exigidas e por ser o *Microsoft Office*, e conseqüentemente o *Microsoft Excel*, um dos aplicativos *standards* em todos os computadores, sendo estes de uso profissional ou pessoal.

4.2.3. FLUXOGRAMA FUNCIONAL

A ferramenta informática para a obtenção do valor estimado para a resistência de terra foi desenvolvida com o intuito de ser bastante simples e intuitiva para o utilizador permitindo assim o estudo de forma rápida otimizando o desenvolvimento da solução.

Neste sentido e procurando uma solução simples e rápida, a arquitetura da ferramenta pode ser resumida ao fluxograma apresentado na Figura 97.

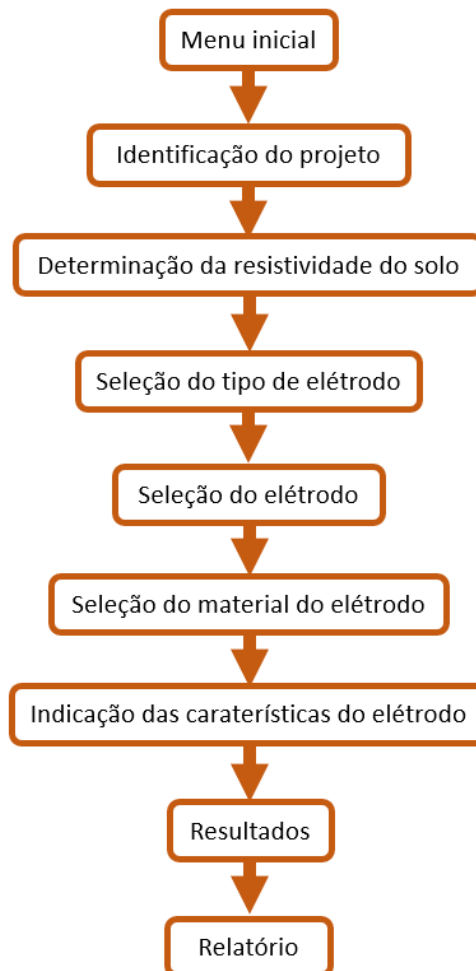


Figura 97: Fluxograma da ferramenta informática desenvolvida

4.2.4. ENTRADA DE DADOS

A aplicação foi desenvolvida de forma a que de uma forma sequencial seja solicitada ao utilizador a informação relativa à solução técnica a ser simulada. Serão solicitados um conjunto de dados técnicos dos eletrodos de terra mas também da instalação onde estes serão instalados.

O menu de entrada na aplicação foi desenvolvido para ser o mais simples e intuitivo possível tendo apenas as informações necessárias para o utilizador.

Na Figura 98 é possível ver o menu inicial da aplicação informática desenvolvida.



Figura 98: Menu inicial da ferramenta informática desenvolvida

Será este o primeiro contacto do utilizador com a ferramenta em que após a seleção da opção para iniciar o aplicativo aparece de que modo é que pretende desenvolver o projeto, se como “Novo projeto” em que se cria uma simulação totalmente nova ou se pretende “Consultar projeto” em que é possível visualizar o históricos dos projetos já simulados.



Figura 99: Definição do modo de simulação

Sendo selecionado um novo projeto é importante começar por caracterizar o mesmo tendo que ser definido o tipo de instalação e a sua localização. Outros dados como o nome do cliente e a data serão importantes para uma definição mais precisa da simulação. Na Figura 100 está representado esse menu.



Dados da instalação

Dados da instalação:

Nome:

Tipo de instalação: (Escolha o tipo de instalação) ▼

Localização: (Escolha a localização do projeto) ▼

Data: / /

Continuar

Figura 100: Caracterização da instalação a simular

Dos quatro (4) campos presentes no menu anterior apenas dois (2) são considerados como obrigatórios, “Tipo de instalação” e “Localização” pois serão estes que irão permitir reunir dados necessários para o cálculo.

No menu seguinte terá que ser selecionado de que modo é que se pretenda que seja feita a obtenção da resistividade do solo, havendo três (3) opções disponíveis: “Medição” – caso tenha sido feita medições no terreno; “Conhecimento do tipo de solo” – onde não foram feitas medições no terreno mas o tipo de solo é conhecido e a ultima opção é “Sem informação” – não foram feitas medições e não se conhece o tipo de solo pelo que recorresse à localização da instalação para se obter um valor da resistividade do solo.

O menu acima descrito está representado na Figura 101.

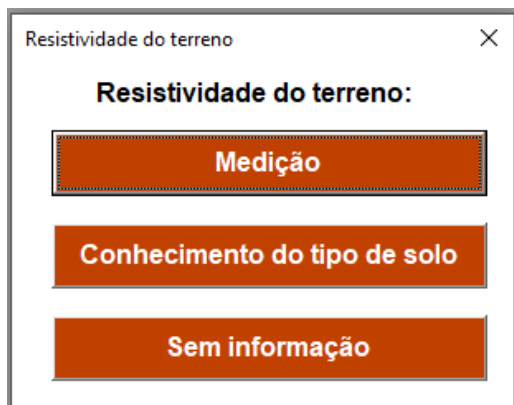


Figura 101: Determinação da resistividade do solo

As seleções de diferentes opções direcionam a ferramenta informática para diferentes menus conforme é possível na Figura 102.

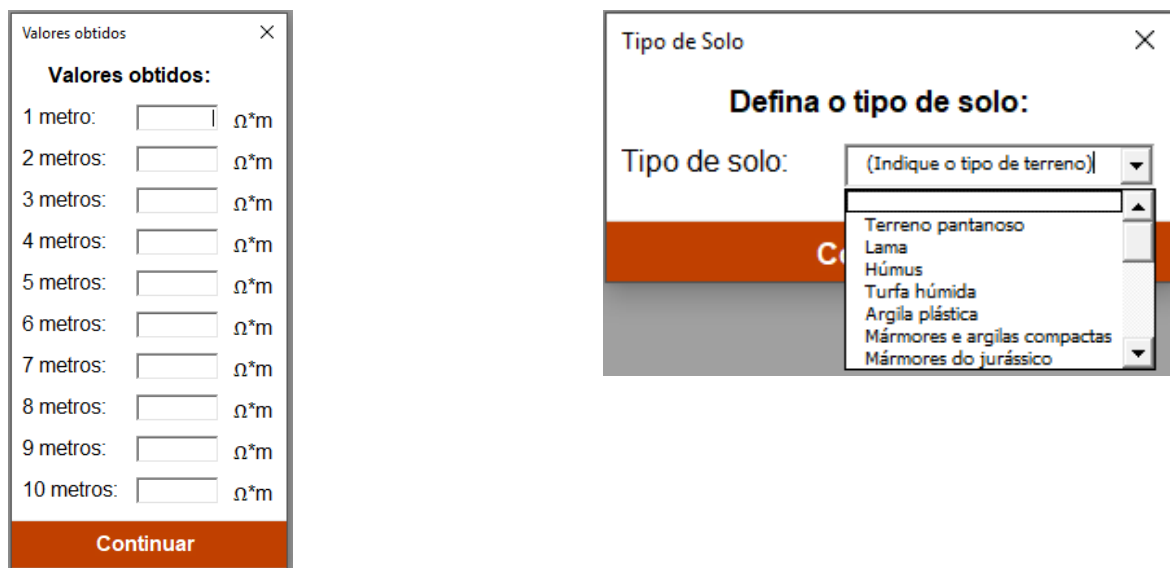


Figura 102: Diferentes opções para se obter a resistividade do solo

Estando a resistividade do solo determinada, seja por que método for, tem de ser definido que tipo de elétrodo se pretende instalar aparecendo deste modo o menu presente na Figura 103 com três (3) opções disponíveis: “Horizontal”; “Vertical” ou “Horizontal c/ piquetas verticais”.

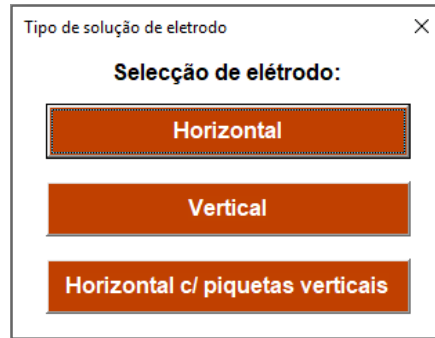


Figura 103: Seleção da solução a adotar

Após a definição da solução segue-se a escolha do tipo de elétrodo a utilizar conforme se pode ver na Figura 104.

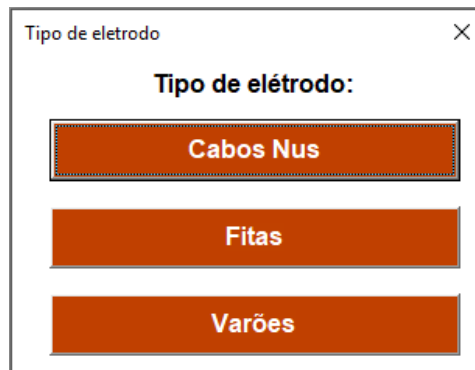


Figura 104: Escolha do tipo de elétrodo a utilizar

Estando este passo concluído é necessário definir as características técnicas dos elétrodos a utilizar desde o seu material, o seu comprimento, a quantidade entre outros sendo para isso apresentados diversos menus tais como os presentes na Figura 105.

The figure displays four separate dialog boxes for configuring electrode characteristics:

- Material do eletrodo:** A dialog box with a close button (X) in the top right. It contains the title "Material do eletrodo:" and two buttons: "Cobre" (highlighted) and "Aço galvanizado".
- Caraterísticas do eletrodo horizontal:** A dialog box with a close button (X) in the top right. It contains the title "Caraterísticas do eletrodo horizontal:", a label "Indique o comprimento da vala:" followed by a text input field and the unit "m", and a "Continuar" button at the bottom.
- Numero de eletrodos verticais:** A dialog box with a close button (X) in the top right. It contains the title "Indique o numero de eletrodos verticais:", two buttons: "Um" (highlighted) and "Vários eletrodos em paralelo".
- Quantidade de eletrodos verticais:** A dialog box with a close button (X) in the top right. It contains the title "Quantidade de eletrodos verticais:", a label "N de eletródos em paralelo:" followed by a text input field, a label "Indique o comprimento do eletrodo:" followed by a text input field, and a "Calcular" button at the bottom.

Figura 105: Caraterísticas técnicas dos elétrodos

4.2.5. RESULTADOS

A apresentação dos resultados será um dos últimos menus da aplicação informática uma vez que para isso o utilizador já teve que introduzir um conjunto de características técnicas que levaram a que fosse possível obter-se o resultado final. Este valor é apresentado através do menu presente na Figura 106.

The figure shows a dialog box titled "Resultados" with a close button (X) in the top right. It contains the title "Resultados:", a label "Valor estimado resistência de terras:" followed by a text input field containing the value "12" and the unit symbol Ω , and a "Gerar relatório" button at the bottom.

Figura 106: Menu de apresentação de resultados

Após ter sido apresentado o resultado da simulação existe a possibilidade de ser gerado um relatório com a estrutura apresentada na Figura 107.


| | | |
|---|---|------------------|
|  Instituto Superior de Engenharia do Porto | | 05/10/2020 |
| Estimação do valor de Resistência de Terra | | |
| Dados da instalação | | |
| Nome do cliente: | | 0 |
| Tipo de instalação: | Edifícios de uso comercial | |
| Localização: | | Beja |
| Informações da resistividade do terreno | | |
| Modo como foi calculado: | | Sem informação |
| Valor da resistividade: | 300 | $\Omega \cdot m$ |
| Caraterísticas dos elétrodos selecionados: | | |
| Modo de colocação dos elétrodos: | Horizontal c/ piquetas verticais | |
| Tipo de elétrodo: | Cabos nus e varetas verticais | |
| Material do elétrodo: | Aço galvanizado e Aço revestido a cobre | |
| Valor estimado para a resistência de terra: | 12 | Ω |
| <small>Desenvolvido por Jorge Miguel França</small> | | |

Figura 107: Relatório de resultados da ferramenta informática

5. CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

A realização do presente documento teve como função complementar, da melhor forma possível, o ciclo de estudos do candidato que este tem vindo a desenvolver ao longo dos últimos anos. Por esse mesmo objetivo foram propostos diversos objetivos com o principal âmbito de consolidação e aquisição de novas ferramentas além das instruídas durante o ciclo académico.

Todos os principais objetivos foram cumpridos pois o estágio foi encarado com um objetivo extra de finalizar uma componente letiva e como tal este serviu para o candidato crescer e evoluir como cidadão e como profissional tendo este tido um contacto mais profundo com o mundo empresarial.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu ao candidato conhecer uma nova vertente da que este esteve envolvido anteriormente e que ao qual se tem revelado bastante motivadora e enriquecedora.

O período de estágio foi sempre aproveitado de modo a que fosse possível tirar o máximo partido de toda a envolvente e o facto de ter sido realizado numa empresa como a SIEMENS SA ajudou a que fossem obtidos métodos de trabalho, responsabilidades, mas

principalmente adquirir novas competências que certamente serão valorizadas e reconhecidas no futuro.

Ao longo do período de estágio o candidato teve a oportunidade de contactar com temáticas novas para ele como tópicos de gestão de projetos, temas e decisões financeiras mas também teve a oportunidade de desenvolver novas competências técnicas como estudos de coordenação de média tensão, fazer direção e gestão de obra no terreno da instalação, aprofundar o conhecimento em equipamento de média tensão e muitos outros que se revelaram vantajosos.

5.2. CONTRIBUTOS DO CANDIDATO

No seio do ambiente profissional o candidato desenvolveu um estado da arte sobre as temáticas projeto e gestão obra, áreas essas onde exerce a sua função profissional. Foram apresentadas algumas das características do Sistema Elétrico Moçambicano e algumas diferenças quando comparado com o Português. Posteriormente foram abordados alguns tópicos relativos ao projeto eletrotécnico tais como “Subestações”, “Postos de transformação” e “Redes de distribuição de energia em baixa tensão”. Relativamente à temática de Direção de obra foi apresentado a sua principal função e os principais aspetos a ter em conta no desempenho desta função.

Durante o período de estágio o candidato teve a oportunidade de participar na fase de definição de engenharia e projeto de uma unidade industrial de produção de cerveja localizada em Moçambique. Foi ainda parte integrante da equipa de gestão de projeto durante todo o decorrer do mesmo tendo acompanhado os trabalhos no local da instalação e junto do cliente e das equipas executantes.

Como complemento ao trabalho descrito anteriormente foi ainda desenvolvida uma aplicação de estimação do valor de Resistência de Terra pensada idealizada para auxiliar durante a fase de projeto nomeadamente na elaboração de estimativas orçamentais.

Desde o primeiro dia de estágio que o candidato tentou sempre ser esforçado, responsável e assertivo no desenrolar da atividade profissional e a integração num projeto com a envergadura do aqui apresentado é de facto um motivo de orgulho. O projeto apresentado tem a particularidade de ser demasiado extenso e demasiado complexo para ser fielmente

retratado num documento, mas o ter a oportunidade de estar em obra e ver as decisões que este tomou terem consequências, positivas e negativas vale todos os esforços realizados até esse momento.

5.3. COMPONENTE ACADÉMICA

Sendo este o documento final de um ciclo académico era impossível redigi-lo sem passar por todo o processo de desenvolvimento inerente á participação na Licenciatura em Engenharia eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia e mais recentemente o Mestrado em Sistemas Eléctricos de Energia.

O conhecimento e as metodologias adquiridas nestes dois contextos permitiram ao candidato se sentir preparado para enfrentar os desafios que o mundo empresarial tem inerentes ao seu progresso.

De entre as unidades curriculares integrantes do plano de estudo do Mestrado em Sistemas eléctricos de energia o candidato destaca as seguintes cadeiras como as mais relevantes para o presente documento:

- Gestão de Projetos – Foi a unidade curricular que permitiu ter o primeiro contacto com as técnicas de gestão e conceitos relacionados com esta atividade. A frequência desta unidade curricular permitiu iniciar a atividade profissional com algum conhecimento prévio.
- Aplicações Informáticas em Sistemas Eléctricos – O conhecimento adquirido com a frequência desta unidade curricular permitiu adquirir competências na área de programação essenciais para o desenvolvimento da aplicação informática.
- Instalações Eléctricas Especiais – Esta unidade curricular permitiu continuar a aprofundar os conhecimentos adquiridos na Licenciatura em Engenharia eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia e que se tem revelado indispensáveis no desempenho da profissão.

5.4. PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

Um projeto eletrotécnico desta envergadura não termina com a saída de estaleiro, existe sempre a necessidade de acompanhar a instalação tendo ainda esta a particularidade de desde o início estar a ser pensada uma segunda fase de expansão pelo que é de todo o interesse da empresa poder estar presente nessa expansão e certamente o conhecimento adquirido pelo candidato nesta primeira fase será uma mais valia no desenrolar do projeto.

Referências Bibliográficas

- [1] B. d. Moçambique, “Decreto n.º 66/2011 de 21 de Dezembro,” *Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento*, p. 21, 21 Dezembro 2011.
- [2] E. Eletricidade de Moçambique, “Informação Histórica,” [Online]. Available: <https://www.edm.co.mz/pt/website/page/informa%C3%A7%C3%A3o-hist%C3%B3rica>. [Acedido em 15 Março 2020].
- [3] Get.invest. [Online]. Available: <https://www.get-invest.eu/market-information/mozambique/energy-sector/>. [Acedido em 24 Abril 2020].
- [4] A. Sarmiento, “Cápsula do tempo: Cahora Bassa, o antigo símbolo do império,” *Jornal Económico*, 02 05 2017. [Online]. Available: <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/capsula-do-tempo-cahora-bassa-o-antigo-simbolo-do-imperio-152843>.
- [5] J. N. d. Santos, “COMPENSAÇÃO DO FACTOR DE POTÊNCIA,” FEUP, 2006.
- [6] Grupel, “Gama Industrial,” [Online]. Available: <https://grupel.wordpress.com/produtos/gama-industrial/>. [Acedido em 15 Abril 2020].
- [7] Alberto, “Reparação de Gerador Denyo 1ª parte,” 30 Outubro 2011. [Online]. Available: http://revolucaodasmaquinas.blogspot.com/2011/10/blog-post_30.html. [Acedido em 16 Abril 2020].
- [8] “Diretrizes para Classificação de Energia de Grupos Geradores,” 31 Agosto 2009. [Online]. Available: <http://www.gruposgeradores.info/2009/08/diretrizes-para-classificacao-de.html>. [Acedido em 16 Abril 2020].

- [9] “GRUPOS GERADORES,” 9 Dezembro 2018. [Online]. Available: <https://arriagaservice.com.br/grupos-geradores/>. [Acedido em 16 Abril 2020].
- [10] J. R. V. Fogaça, “Funcionamento do Motor de Combustão Interna,” Mundo Educação, [Online]. Available: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>. [Acedido em 16 Abril 2020].
- [11] “Indução eletromagnética,” [Online]. Available: <https://def.fe.up.pt/eletricidade/inducacao.html>. [Acedido em 26 Abril 2020].
- [12] “CONTROLADORA DE MOTORES (Introdução),” [Online]. Available: <http://leviclawprojetos.no.comunidades.net/index.php?pagina=1907076966>. [Acedido em 20 Abril 2020].
- [13] T. F. O. Vieira, “Soluções técnicas e económicas para a produção de energia elétrica para o abastecimento de centralidade em Angola,” Outubro de 2016.
- [14] José. A. Belez. Carvalho, António Augusto Araújo Gomes, Instalações elétricas de média tensão - Postos de transformação e seccionamento, Porto: Publindústria, Edições técnicas, 2018.
- [15] M. Bolotinha, Subestações - Projeto, Construção, Fiscalização, Porto: Quântica Editora - Conteúdos Especializados, Lda, 2019.
- [16] “TecFuse - Tecnologia por um fio,” [Online]. Available: <http://www.tecfuse.com.br/en/hh.html>. [Acedido em 29 Março 2020].
- [17] “Direct Industry,” [Online]. Available: <https://www.directindustry.com/pt/prod/siemens-medium-voltage-power-distribution/product-32881-1307241.html>. [Acedido em 29 Março 2020].
- [18] “Subestações eletricas,” [Online]. Available: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/130058/mod_resource/content/1/Subestac

- oes-eletricas-1.pdf. [Acedido em 29 Março 2020].
- [19] “Direct Industry,” [Online]. Available: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/130058/mod_resource/content/1/Subestacoes-eletricas-1.pdf. [Acedido em 29 Março 2020].
- [20] S. Electric, “Disjuntor fixo ou extraível: qual é melhor?,” [Online]. Available: <https://blog.se.com/br/gestao-de-energia/eficiencia-energetica/2015/01/16/disjuntor-fixo-ou-extraivel-qual-e-melhor/>. [Acedido em 29 Março 2020].
- [21] SIEMENS, “Gas-insulated medium-voltage switchgear 8DJH - The one that fits all,” [Online]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/systems/8djh.html>. [Acedido em 29 Março 2020].
- [22] SIEMENS. [Online]. Available: <https://new.siemens.com/br/pt/produtos/energia/alta-tensao/transformadores/transformadores-de-distribuicao-imersos-em-liquido.html>. [Acedido em 05 Abril 2020].
- [23] B. P. CUNHA, “Paralelismo de transformadores trifásicos,” 7 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://eletrotecnicaatual.blogspot.com/2015/02/paralelismo-de-transformadores.html>. [Acedido em 05 Abril 2020].
- [24] M. Bolotinha, Distribuição de Energia Elétrica em Média e Baixa Tensão - Manual, Quântica Editora - Conteúdos Especializados, Lda, Janeiro, 2019.
- [25] “High Quality Transformer Solutions,” [Online]. Available: <https://www.preisgroup.com/electrical-components/>. [Acedido em 21 Abril 2020].
- [26] M. Bolotinha, REFRIGERAÇÃO DE TRANSFORMADORES E FLUÍDOS, 8 Março 2017.
- [27] M. Bolotinha, DEFEITOS NOS TRANSFORMADORES E PROTECÇÕES, 27

Setembro 2015.

- [28] “SIVACON S4, Distribución de energía para baja tensión,” 8 Março 2017. [Online]. Available: <https://e-management.mx/sivacon-s4-distribucion-de-energia-para-baja-tension/>. [Acedido em 06 Abril 2020].
- [29] S. Electric, “Distribuição Média Tensão Equipamentos Pré-Fabricados Gama SM6 24kV,” 2004.
- [30] [Online]. Available: Gama SM6 24kV. [Acedido em 06 Abril 2020].
- [31] [Online]. Available: <https://onixcd.com.br/produtos/redes-aereas-e-instalacoes/accorios/equipamentos-de-seguranca/estrado-isolante-borr-1000x1000x25mm-20kv-borcol-96577/>. [Acedido em 08 Abril 2020].
- [32] [Online]. Available: <https://www.lojavirtual.dassis.com.br/vara-de-manobra-telescopica>. [Acedido em 08 Abril 2020].
- [33] “Cabos isolados reunidos em torçada Al Eprorret Haces e Al Voltarret Haces para linhas aéreas de MT,” [Online]. Available: <https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-sobre-produtos/cabos-isolados>. [Acedido em 16 Abril 2020].
- [34] “CABLES DE ALTA, MEDIA Y BAJA TENSIÓN. CABLES NORMALIZADOS POR LAS COMPAÑIAS ELÉCTRICAS.,” [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=cabo+lsvav&rlz=1C1GCEV_enDE899PT899&sxsrif=ALeKk03YBHcyDqVPiYd8FEDvfieh7QsyFg:1589226393106&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj5s4PVyazpAhUdAWMBHZ6QAdkQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1440&bih=757#imgrc=FoMDqNG-xyUCsM&imgdii=sLZXLJsxQ. [Acedido em 16 Abril 2020].
- [35] Hager, “Esquemas de ligação à Terra em baixa tensão,” [Online]. Available: <https://www.hager.pt/catalogo-de-produtos/distribuiacao-de-energia/proteccao/esq.-ligacao-a-terra/esq.-ligacao-a-terra/102087.htm>. [Acedido em 11 Abril 2020].

- [36] M. d. E. -. D. G. d. Energia, “Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão,” 2000.
- [37] [Online]. Available: <https://www.hager.pt/catalogo-de-produtos/distribuicao-de-energia/caixas-de-distribuicao/caixas-golf/4337.htm>. [Acedido em 18 Abril 2020].
- [38] [Online]. Available: <https://www.worten.pt/bricolage-jardim-e-animais/eletricidade/quadros-e-disjuntores/quadro-eletrico-ledkia-superficie-ip65-abs-MRKEAN-8445044009787>. [Acedido em 15 Abril 2020].
- [39] “Painéis Eléctricos,” [Online]. Available: https://larareengenharia.com.br/?page_id=18. [Acedido em 19 Abril 2020].
- [40] V. S. Jorge, “A Engenharia de Projetos dentro de um Projeto EPC,” 13 Maio 2016.
- [41] R. Faria, “Accionistas da Sabmiller dão luz verde à fusão com a AB InBev,” 28 Setembro 2016. [Online]. Available: https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/accionistas_da_sabmiller_dao_luz_verde_a_fusao_com_a_ab_inbev. [Acedido em 15 Janeiro 2020].
- [42] A. Lusa, “Cervejas de Moçambique investe 155 milhões de euros em nova fábrica,” 22 Agosto 2018. [Online]. Available: <https://observador.pt/2018/08/22/cervejas-de-mocambique-investe-155-milhoes-de-euros-em-nova-fabrica/>. [Acedido em 12 Abril 2020].
- [43] Alcomet, “Cable Tiles,” Alcomet, [Online]. Available: <https://www.alcomet.net/cabletiles.html>. [Acedido em 20 06 2020].
- [44] R. Components, “Probador de rotación de fases Fluke FLUKE 9040/UK, Sonda de Prueba, CAT III 600V, CAT IV 300V, LCD, CAT III 600 V, CAT,” [Online]. Available: <https://pt.rs-online.com/web/p/comprobadores-de-rotacion-de-fase/5131828/>. [Acedido em 12 06 2020].
- [45] Economia, “Diário da República n.º 154/2017, Série I de 2017-08-10,” Decreto-

Lei, pp. 4654 - 4663, 96/2017.

- [46] P. S. B. Logo, “Plataforma ScateX+,” [Online]. Available: <http://psolutionsbrasil.com.br/plataforma-scatex/>. [Acedido em 27 Março 2020].
- [47] “GV Logística,” [Online]. Available: <http://www.gvlogistica.com.br/bhs-equip-armazem-rack-bateria-BS-ABR.html>. [Acedido em 25 Março 2020].
- [48] [Online]. Available: <https://www.netz-duesseldorf.de/de/dienstleistungen/photovoltaik/Versorgungsanlagen.php>. [Acedido em 03 Abril 2020].
- [49] E. -. E. d. Açores, “FICHAS DE PROCEDIMENTO – PREVENÇÃO DE RISCOS - MANUTENÇÃO DE POSTO DE TRANSFORMAÇÃO (AÉREO),” [Online]. Available: [https://www.eda.pt/Profissionais/Fichas%20de%20Procedimentos%20de%20Segurana/EE%20-%20Eletricidade/EE24%20-%20Manuten%C3%A7%C3%A3o%20de%20posto%20de%20transforma%C3%A7%C3%A3o%20\(a%C3%A9reo\).pdf](https://www.eda.pt/Profissionais/Fichas%20de%20Procedimentos%20de%20Segurana/EE%20-%20Eletricidade/EE24%20-%20Manuten%C3%A7%C3%A3o%20de%20posto%20de%20transforma%C3%A7%C3%A3o%20(a%C3%A9reo).pdf). [Acedido em 03 Abril 2020].
- [50] N. d. Coimbra, “Nogueirinha, agora com outro porte!,” 2 Dezembro 2015. [Online]. Available: <https://www.noticiasdecoimbra.pt/nogueirinha-agora-com-outro-porte/>. [Acedido em 04 Abril 2020].
- [51] “Postos de Transformação,” [Online]. Available: <http://www.posterede.pt/content.asp?startAt=2&categoryID=1415>. [Acedido em 04 Abril 2020].
- [52] “Distribuição de energia elétrica no Brasil,” [Online]. Available: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-energia-eletrica-no-brasil.htm>. [Acedido em 15 Abril 2020].
- [53] [Online]. Available: <https://www.iberglobal.pt/loja/armarios-de-distribuicao/armario-de-distribuicao-kvsgp-1-tipo-x-5t2/>. [Acedido em 17 Abril 2020].

2020].

- [54] W. F. Hartmut Kiank, Planning Guide for Power Distribution Plants, Munich: Siemens Aktiengesellschaft, 2011.