



# **Desenvolvimento de ferramenta para avaliação da conformidade dos sistemas de alimentação dos Serviços Auxiliares de Subestações**

**Pedro Filipe Ferreira Campos**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Co-orientadora: Eng<sup>a</sup> Alexandra Tavares - REN

Co-orientador: Eng<sup>o</sup> Jorge Cereijo - REN

24 de junho de 2019



# Resumo

A Rede Nacional de Transporte de Eletricidade (RNT-E), é como que a coluna vertebral de todo o sistema elétrico português, pois é esta rede que integra grande parte da produção de energia no nosso país, bem como a interligação à rede elétrica espanhola, e consequentemente, à rede elétrica europeia. A principal função da RNT-E é definida pelo decreto-lei 29/2006, de 15 de Fevereiro, concessionada à REN, S.A., é a de garantir que a sua exploração integra a função de gestão técnica global do sistema, assegurando a coordenação sistémica das instalações de produção e de distribuição, tendo em vista a continuidade e a segurança do abastecimento e o funcionamento integrado e eficiente do sistema. A RNT-E opera ao nível da Alta e Muito Alta Tensão, sendo que a rede está estabelecida nos níveis de tensão de 60kV, 150kV, 220kV e 400 kV.

Um "apagão" numa das instalações constituintes da RNT-E pode colocar um ou vários distritos sem fornecimento de energia elétrica, é por isso crucial que os níveis de fiabilidade estejam assentes em valores elevados, de modo a que o índice de falhas seja o menor possível.

Apesar de os níveis de tensão da RNT-E estarem estabelecidos na ordem dos kV, a Baixa Tensão (400V CA e 110 V CC) revela-se crucial para o normal funcionamento da mesma. Em todas as instalações da rede é necessário que exista fornecimento de energia, em Baixa Tensão, alternada e contínua tanto para manobras, como para manutenção, comando e proteção, entre muitas outras cargas essenciais à mesma. Assim, é necessário que os serviços auxiliares mantenham, tal como a rede, níveis altos de fiabilidade, pois é destes serviços que está dependente a normal operação da RNT-E.

De forma a perceber-se a estrutura, enquadramento e equipamentos que integram os serviços auxiliares da RNT-E, é feito um levantamento dos mesmos e das suas características. É também estudada toda a formulação matemática que permite realizar o dimensionamento das canalizações e proteções dos circuitos.

No trabalho que motivou a redação deste documento, desenvolveu-se uma ferramenta informática que permite averiguar a conformidade dos circuitos de alimentação dos serviços auxiliares das instalações da RNT-E, tanto em regime normal, como em regime de emergência. A mesma permite reunir toda a informação recolhida em cada instalação referente aos circuitos de alimentação dos serviços auxiliares e seus equipamentos, e compará-la com todas as especificações técnicas, normas e legislação em vigor, sendo também feito o dimensionamento dos circuitos, como forma de comparação para se avaliar a conformidade dos mesmos. Este instrumento de avaliação permite não só que se avalie os Serviços Auxiliares das instalações atualmente em serviço, como também avaliar se as instalações antes de entrarem em serviço, reúnem as condições pré-estabelecidos para que possam integrar a RNT-E.



# Abstract

The National Electricity Transmission Grid (RNT-E) is like the spinal column of the entire Portuguese Electrical System, since this grid integrates a large part of the energy production in our country, as well as the connection to the Spanish Electrical Grid and thereafter to the European Electrical Grid. The main function of the RNT-E is to guarantee the energy supply to High Voltage consumers, but it is also important to provide energy to the national distribution network (RND-E) that supplies the other consumers. The RNT-E operates in High and Extra High Voltage, being that the grid is established in the 60kV, 150kV, 220kV and 400kV levels.

A blackout in one of the facilities integrating RNT-E might put one or various districts without a power supply, so it is crucial that the levels of reliability in these are as high as possible, so the failure rate is almost null.

Although the voltage levels established in the RNT-E are in the order of kV, the Low Voltage (400V AC and 110V DC) is still crucial to the normal operation of this network. In all the facilities integrating the network, it is necessary the existence of low voltage current, in alternating (AC) and direct current (DC), not only for maneuvers, but also maintenance, control and protection among other essential charges. It is therefore fundamental that the auxiliary services maintain, like the grid, high levels of reliability, since the entire RNT-E operation depends on them.

In order to understand the structure, framework and equipment that are part of the auxiliary services, it's carried out a throughout study involving all these topics and their characteristics. It is also studied all the mathematical formulation that allows the dimensioning of the canalizations and protections of the circuits.

In the work that motivated the writing of this document, a computer tool was developed in order to verify the conformity of the power supply circuits belonging to the auxiliary services of the RNT-E facilities, both under normal and emergency conditions. This tool allows the gathering of all the information collected in each facility, regarding the power supply circuits of the auxiliary services and their equipment, and compare it to the technical specifications, norms and legislation in force. It also makes the dimensioning of the circuits to compare and evaluate their conformity. This evaluation instrument enables not only the assessment on whether the facilities, currently in service, have the appropriate Auxiliary Services systems, adequate to their normal operation, but also to evaluate whether the facilities, before going into service, gather all the pre-established conditions to integrate de RNT-E.



# Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. António Machado e Moura que desde o primeiro momento se mostrou disponível para ser meu orientador, e ajudar-me a realizar esta dissertação na área que eu pretendia.

Agradeço à REN-Rede Eléctrica Nacional S.A. na pessoa do Eng<sup>o</sup> Jorge Filipe Martins, coordenador do departamento de Planeamento e Otimização de Ativos por me ter dado a oportunidade de realizar esta dissertação em ambiente empresarial, dando-me todas as condições para o sucesso da mesma.

Ao Eng<sup>o</sup> Jorge Cereijo e à Eng<sup>a</sup> Alexandra Tavares, meus orientadores na empresa, agradeço imenso todo o apoio que me deram durante estes meses, e todos os conhecimentos que me transmitiram e que enriqueceram em muito o meu saber nesta área, e certamente me serão muito úteis no meu futuro profissional.

A todas as pessoas com quem lidei na REN, em particular os elementos do departamento de Planeamento e Otimização de Ativos, e do departamento de Operação e Manutenção, que sempre se mostraram disponíveis para transmitir todo o conhecimento que têm, tanto teoricamente, como em visitas que me proporcionaram a várias instalações da empresa, o que me permitiu ter um conhecimento mais real de como está estruturada a Rede Nacional de Transporte de Eletricidade.

Agradeço aos meus pais por me terem dada a oportunidade de seguir o meu sonho e por me terem apoiado sempre durante estes 5 anos de estudos, assim como à minha irmã, minhas avós, meus padrinhos e restante família.

À minha namorada, por ser um apoio fundamental nesta etapa da minha vida.

A todos aqueles que fizeram parte deste meu percurso, e que certamente levarei comigo para a vida, obrigado por todos os momentos passados, não só de entre-ajuda nos estudos, como também todos os momentos que vivemos durante esta vida académica que nunca será esquecida.

A todos os professores que fizeram de mim o que sou hoje, desde a minha educadora de infância, ao meu orientador de dissertação, pois sem eles eu não me tornaria na pessoa que hoje sou.

O meu muito obrigado a todos, bem Hajam !

Pedro Filipe Ferreira Campos



*“Each dream you leave behind is a part of your future  
that will no longer exist.”*

Steve Jobs



# Conteúdo

|          |                                                                               |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                                             | <b>1</b>  |
| 1.1      | Enquadramento . . . . .                                                       | 1         |
| 1.2      | Objetivos . . . . .                                                           | 2         |
| 1.3      | Estrutura da Dissertação . . . . .                                            | 2         |
| <b>2</b> | <b>Serviços Auxiliares de Corrente Alternada</b>                              | <b>5</b>  |
| 2.1      | Identificação dos circuitos dependentes dos Serviços Auxiliares . . . . .     | 6         |
| 2.1.1    | Sistemas de iluminação . . . . .                                              | 6         |
| 2.1.2    | Circuitos de tomadas . . . . .                                                | 6         |
| 2.1.3    | Sistemas de Climatização . . . . .                                            | 6         |
| 2.1.4    | Sistemas de intrusão e incêndio . . . . .                                     | 6         |
| 2.1.5    | Força motriz do parque e aquecimento . . . . .                                | 7         |
| 2.1.6    | Retificadores . . . . .                                                       | 7         |
| 2.1.7    | Sistemas de Comando, Controlo e Proteção . . . . .                            | 7         |
| 2.1.8    | Tratamento de óleos . . . . .                                                 | 7         |
| 2.2      | Fornecimento de energia aos Serviços Auxiliares . . . . .                     | 8         |
| 2.2.1    | Regime Normal . . . . .                                                       | 8         |
| 2.2.2    | Alimentação de Emergência . . . . .                                           | 11        |
| 2.3      | Quadro Geral de Corrente Alternada . . . . .                                  | 13        |
| 2.3.1    | Autómato de gestão de Serviços Auxiliares . . . . .                           | 14        |
| 2.3.2    | Serviços essenciais e não essenciais . . . . .                                | 15        |
| 2.4      | Organização dos Serviços Auxiliares . . . . .                                 | 16        |
| 2.4.1    | Sala do Grupo Diesel . . . . .                                                | 16        |
| 2.4.2    | Sala de Serviços Auxiliares . . . . .                                         | 16        |
| 2.4.3    | Casas de painel . . . . .                                                     | 16        |
| 2.4.4    | Edifício de comando . . . . .                                                 | 16        |
| <b>3</b> | <b>Dimensionamento e Considerações sobre Elementos de Circuitos Elétricos</b> | <b>17</b> |
| 3.1      | Dimensionamento e verificação dos barramentos do QGCA . . . . .               | 17        |
| 3.1.1    | Cálculo da corrente de pico de curto-circuito . . . . .                       | 19        |
| 3.1.2    | Dimensionamento dos barramentos . . . . .                                     | 21        |
| 3.1.3    | Método de verificação de dimensionamento baseado na norma IEC60865 . . . . .  | 29        |
| 3.2      | Dimensionamento do cabo de alimentação . . . . .                              | 35        |
| 3.2.1    | Cálculo da Corrente de serviço . . . . .                                      | 36        |
| 3.2.2    | Condição de Aquecimento . . . . .                                             | 36        |
| 3.2.3    | Condição de Sobrecarga . . . . .                                              | 37        |
| 3.2.4    | Condição de Queda de Tensão . . . . .                                         | 39        |
| 3.3      | Disjuntores . . . . .                                                         | 40        |

|          |                                                                                                               |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.1    | Regime de proteção de neutro . . . . .                                                                        | 41        |
| 3.3.2    | Corrente Nominal . . . . .                                                                                    | 41        |
| 3.3.3    | Corrente Máxima Admissível em Regime Permanente . . . . .                                                     | 41        |
| 3.3.4    | Tempo de Atuação à sobrecarga . . . . .                                                                       | 42        |
| 3.3.5    | Proteção ao curto-circuito . . . . .                                                                          | 43        |
| 3.3.6    | Tempo de atuação ao curto-circuito . . . . .                                                                  | 43        |
| 3.3.7    | Proteção instantânea . . . . .                                                                                | 44        |
| 3.3.8    | Tempo de Atuação Instantâneo . . . . .                                                                        | 45        |
| 3.4      | Esquemas de ligação à terra . . . . .                                                                         | 46        |
| 3.4.1    | Esquema TN . . . . .                                                                                          | 46        |
| 3.4.2    | Esquema TT . . . . .                                                                                          | 48        |
| 3.4.3    | Esquema IT . . . . .                                                                                          | 50        |
| 3.5      | Determinação da autonomia do grupo eletrogéneo de socorro . . . . .                                           | 52        |
| 3.6      | Índices de proteção de armários elétricos . . . . .                                                           | 53        |
| 3.6.1    | Índice de Proteção IP . . . . .                                                                               | 53        |
| 3.6.2    | Índice de Proteção IK . . . . .                                                                               | 54        |
| <b>4</b> | <b>Ferramenta desenvolvida</b>                                                                                | <b>57</b> |
| 4.1      | Requisitos a cumprir . . . . .                                                                                | 58        |
| 4.2      | Critérios de análise . . . . .                                                                                | 58        |
| 4.2.1    | Avaliação - Sem informação . . . . .                                                                          | 58        |
| 4.2.2    | Avaliação - OK . . . . .                                                                                      | 58        |
| 4.2.3    | Avaliação - NOK . . . . .                                                                                     | 59        |
| 4.3      | Estrutura da ferramenta . . . . .                                                                             | 59        |
| 4.3.1    | Página Inicial . . . . .                                                                                      | 60        |
| 4.3.2    | Transformador de Serviços Auxiliares . . . . .                                                                | 61        |
| 4.3.3    | Normabloco . . . . .                                                                                          | 63        |
| 4.3.4    | Posto de Transformação aéreo . . . . .                                                                        | 64        |
| 4.3.5    | Grupo Eletrogéneo de Socorro . . . . .                                                                        | 65        |
| 4.3.6    | Análise de dados . . . . .                                                                                    | 66        |
| 4.3.7    | Parametrizações . . . . .                                                                                     | 66        |
| 4.3.8    | Análise Gráfica . . . . .                                                                                     | 67        |
| 4.4      | Estudo de Caso . . . . .                                                                                      | 67        |
| 4.4.1    | Identificação da instalação . . . . .                                                                         | 67        |
| 4.4.2    | Análise de elementos . . . . .                                                                                | 68        |
| <b>5</b> | <b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>                                                                           | <b>81</b> |
| 5.1      | Conclusão . . . . .                                                                                           | 81        |
| 5.2      | Trabalho Futuro . . . . .                                                                                     | 83        |
|          | <b>Referências</b>                                                                                            | <b>85</b> |
| <b>A</b> | <b>Tabelas de dimensionamento e consumos</b>                                                                  | <b>87</b> |
| A.1      | Tabela para dimensionamento de barramentos . . . . .                                                          | 88        |
| A.2      | Dimensões e peso linear de barras de cobre . . . . .                                                          | 89        |
| A.3      | Módulo de Inércia e Flexão para barras de cobre . . . . .                                                     | 90        |
| A.4      | Valores Máximos possíveis para os fatores $V_{\sigma m}V_{rm}$ , $V_{\sigma s}V_{rs}$ , $V_FV_{rm}$ . . . . . | 91        |
| A.5      | Fatores $\alpha$ , $\beta$ e $Y$ que refletem a forma de suporte das barras de cobre . . . . .                | 92        |
| A.6      | Fator $q$ para verificação de barramentos, que reflete o tipo de secção do condutor . . . . .                 | 93        |

|          |                                                |            |
|----------|------------------------------------------------|------------|
| A.7      | Tabela para dimensionamento de cabos . . . . . | 94         |
| A.8      | Resistência e Reatância linear . . . . .       | 95         |
| A.9      | Código IP . . . . .                            | 96         |
| A.10     | Código IK . . . . .                            | 97         |
| A.11     | Consumos do GES . . . . .                      | 98         |
| <b>B</b> | <b>Ferramenta desenvolvida</b>                 | <b>99</b>  |
| B.1      | Página inicial . . . . .                       | 99         |
| B.2      | Transformador de Serviços Auxiliares . . . . . | 101        |
| B.3      | Normabloco . . . . .                           | 103        |
| B.4      | PT Aéreo . . . . .                             | 105        |
| B.5      | Grupo Eletrogéneo de Socorro . . . . .         | 107        |
| <b>C</b> | <b>Estudo de Caso</b>                          | <b>109</b> |
| C.1      | Página Inicial . . . . .                       | 109        |
| C.2      | Transformador de Serviços Auxiliares . . . . . | 111        |
| C.3      | Grupo Eletrogéneo de Socorro . . . . .         | 113        |
| C.4      | Quadro Geral de Corrente alternada . . . . .   | 116        |
| C.5      | Análise gráfica . . . . .                      | 117        |



# Lista de Figuras

|      |                                                                                                                               |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Transformador de Serviços Auxiliares, SE Vermoim . . . . .                                                                    | 9  |
| 2.2  | Transformador de Intensidade toroidal, SE Valpaços . . . . .                                                                  | 10 |
| 2.3  | Normabloco e respetivo transformador seco em serviço, PC Caniçada . . . . .                                                   | 11 |
| 2.4  | Grupo Eletrogéneo de Socorro, SE Palmela . . . . .                                                                            | 12 |
| 2.5  | Quadro Geral de Corrente Alternada, SE Palmela . . . . .                                                                      | 14 |
| 2.6  | Gestão de Serviços Auxiliares, SE Vermoim . . . . .                                                                           | 15 |
| 3.1  | Disposição dos barramentos . . . . .                                                                                          | 18 |
| 3.2  | Corte transversal dos barramentos . . . . .                                                                                   | 18 |
| 3.3  | Diagrama da corrente de curto-circuito [1]. . . . .                                                                           | 19 |
| 3.4  | Gráficos para determinação do fator $\kappa$ [1]. . . . .                                                                     | 20 |
| 3.5  | Fator m para o cálculo do efeito do aquecimento causado pela componente contínua da corrente de curto-circuito [2] . . . . .  | 25 |
| 3.6  | Fator n para o cálculo do efeito do aquecimento causado pela componente alternada da corrente de curto-circuito [2] . . . . . | 25 |
| 3.7  | Fator $k_{12}$ para cálculo da distância efetiva [3] . . . . .                                                                | 32 |
| 3.8  | Características dos aparelhos de proteção contra sobrecargas [4] . . . . .                                                    | 39 |
| 3.9  | Diagrama fasorial das tensões existentes numa canalização elétrica [5] . . . . .                                              | 39 |
| 3.10 | Corrente admissível em regime permanente – $I_r$ [6] . . . . .                                                                | 42 |
| 3.11 | Tempo de atuação à sobrecarga - $t_r$ [6] . . . . .                                                                           | 42 |
| 3.12 | Proteção ao curto-circuito - $I_{st}$ [6] . . . . .                                                                           | 43 |
| 3.13 | Tempo de atuação ao curto-circuito - $t_{st}$ [6] . . . . .                                                                   | 44 |
| 3.14 | Proteção Instantânea - $I_{sd}$ [6] . . . . .                                                                                 | 45 |
| 3.15 | Tempo de atuação instantâneo - $t_{sd}$ [6] . . . . .                                                                         | 45 |
| 3.16 | Esquema de ligação à terra TN-S em corrente alternada [7] . . . . .                                                           | 47 |
| 3.17 | Esquema de ligação à terra TN-C em corrente alternada [7] . . . . .                                                           | 47 |
| 3.18 | Esquema de ligação à terra TN-C-S em corrente alternada [7] . . . . .                                                         | 48 |
| 3.19 | Esquema de ligação à terra TT, caso geral [7] . . . . .                                                                       | 49 |
| 3.20 | Esquema de ligação à terra TT, caso particular [7] . . . . .                                                                  | 49 |
| 3.21 | Esquema de ligação à terra IT, com ponto de neutro [7] . . . . .                                                              | 50 |
| 3.22 | Esquema de ligação à terra IT, sem neutro distribuído [7] . . . . .                                                           | 51 |
| 3.23 | Estrutura do código de proteção IP [8] . . . . .                                                                              | 54 |
| 3.24 | Estrutura do código de proteção IK [8] . . . . .                                                                              | 54 |
| 4.1  | Página inicial - Introdução de dados da instalação . . . . .                                                                  | 60 |
| 4.2  | Página inicial - Menu de seleção de páginas . . . . .                                                                         | 60 |
| 4.3  | Página inicial - Esquema Unifilar da Instalação . . . . .                                                                     | 61 |
| 4.4  | Avaliação do componente da instalação . . . . .                                                                               | 66 |

|      |                                                                                                                               |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5  | Apresentação das parametrizações de aparelhos de corte existentes na instalação .                                             | 66  |
| 4.6  | Apresentação de um excerto da página da ferramenta relativa à análise gráfica . .                                             | 67  |
| 4.7  | Esquema unifilar dos Serviços Auxiliares, SE de Riba d'ave . . . . .                                                          | 68  |
| 4.8  | Consumos da SE de Riba d'Ave nos meses de Dezembro de 2018, Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio de 2019 . . . . .         | 75  |
| 4.9  | Informações recolhidas quanto ao barramento de 400V da SE de Riba d'Ave . . .                                                 | 76  |
| A.1  | Corrente máxima admissível em barras de cobre rígidas [9]. . . . .                                                            | 88  |
| A.2  | Tabela de valores do peso linear para cada secção [10]. . . . .                                                               | 89  |
| A.3  | Módulo de Flexão e de Inércia para barras de cobre instaladas horizontalmente e verticalmente [10] . . . . .                  | 90  |
| A.4  | fatores $V_{\sigma m} V_{rm}, V_{\sigma s} V_{rs}, V_F V_{rm}$ [3] . . . . .                                                  | 91  |
| A.5  | Fatores $\alpha, \beta$ e $Y$ [3] . . . . .                                                                                   | 92  |
| A.6  | Fator $q$ [3] . . . . .                                                                                                       | 93  |
| A.7  | Corrente máxima admissível em cabos condutores do tipo VHV [5]. . . . .                                                       | 94  |
| A.8  | Tabela de Resistências e Reatâncias em cabos condutores [11]. . . . .                                                         | 95  |
| A.9  | tabela de valores para o código IP [8] . . . . .                                                                              | 96  |
| A.10 | tabela de valores para o código IK [8] . . . . .                                                                              | 97  |
| A.11 | Consumos GES . . . . .                                                                                                        | 98  |
| B.1  | Página Inicial da Ferramenta desenvolvida . . . . .                                                                           | 100 |
| B.2  | Página referente à recolha de informação do circuito de alimentação através de Transformador de Serviços Auxiliares . . . . . | 101 |
| B.3  | Página referente à análise ao circuito de alimentação através de Transformador de Serviços Auxiliares . . . . .               | 102 |
| B.4  | Página referente à recolha de informação do circuito de alimentação através de Normabloco . . . . .                           | 103 |
| B.5  | Página referente à análise da informação do circuito de alimentação através de Normabloco . . . . .                           | 104 |
| B.6  | Página referente à recolha de informação do circuito de alimentação através de PTA                                            | 105 |
| B.7  | Página referente à análise da informação do circuito de alimentação através de PTA                                            | 106 |
| B.8  | Página referente à recolha de informação do circuito de alimentação através do GES                                            | 107 |
| B.9  | Página referente à análise da informação do circuito de alimentação através do GES                                            | 108 |
| B.10 | Página referente à análise da autonomia do GES . . . . .                                                                      | 108 |
| C.1  | Página Incial - Análise SE Riba d'Ave . . . . .                                                                               | 110 |
| C.2  | Análise ao TSA1 - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                                     | 111 |
| C.3  | Avaliação ao TSA1 - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                                   | 112 |
| C.4  | Análise ao GES1 - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                                     | 113 |
| C.5  | Avaliação ao GES1 - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                                   | 114 |
| C.6  | Avaliação à autonomia do GES1 - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                       | 115 |
| C.7  | Análise ao QGCA - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                                     | 116 |
| C.8  | Avaliação ao QGCA - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                                   | 116 |
| C.9  | Análise gráfica ao TSA 1 - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                            | 117 |
| C.10 | Avaliação gráfica ao GES - SE Riba d'Ave . . . . .                                                                            | 117 |
| C.11 | Avaliação gráfica à autonomia do GES . . . . .                                                                                | 118 |

# Lista de Tabelas

|     |                                                                                |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 | Valores possíveis para o fator $x$ [12] . . . . .                              | 23 |
| 3.2 | Carga de Segurança à flexão ( $\sigma$ ) [13] . . . . .                        | 24 |
| 3.3 | Valores padrão do fator $k$ para dimensionamento de barramentos [12] . . . . . | 26 |
| 3.4 | Valores do Módulo de Elasticidade para alguns metais [2] . . . . .             | 28 |



# Abreviaturas e Símbolos

|       |                                                                |
|-------|----------------------------------------------------------------|
| AT    | Alta Tensão                                                    |
| BT    | Baixa Tensão                                                   |
| CA    | Corrente Alternada                                             |
| CC    | Corrente Contínua                                              |
| COR   | Centro de Operação de Rede                                     |
| CSA   | Casa de Serviços Auxiliares                                    |
| EN    | European Norm - Norma Europeia                                 |
| GES   | Grupo Eletrogéneo de Socorro                                   |
| GSA   | Gestor de Serviços Auxiliares                                  |
| IEC   | International Electrotechnical Commission                      |
| MAT   | Muito Alta Tensão                                              |
| NB    | Normabloco                                                     |
| NP    | Norma Portuguesa                                               |
| QGCA  | Quadro Geral de Corrente Alternada                             |
| QCGS  | Quadro de Comando do Grupo de Socorro                          |
| PC    | Posto de Corte                                                 |
| PT    | Posto de Transformação                                         |
| PTA   | Posto de Transformação aéreo                                   |
| REN   | Rede Eléctrica Nacional S.A.                                   |
| RNT-E | Rede Nacional de Transporte de Eletricidade                    |
| RND-E | Rede Nacional de Distribuição de Eletricidade                  |
| SACA  | Serviços Auxiliares de Corrente alternada                      |
| SACC  | Serviços Auxiliares de corrente contínua                       |
| SE    | Subestação                                                     |
| TSA   | Transformador de Serviços Auxiliares                           |
| TSO   | Transmission Operation System - Operador da rede de transporte |

|    |                                                         |
|----|---------------------------------------------------------|
| A  | âmpere                                                  |
| cm | centímetro                                              |
| h  | hora                                                    |
| k  | kilo                                                    |
| m  | metro                                                   |
| mm | milímetro                                               |
| s  | segundo                                                 |
| V  | volts                                                   |
| VA | volt-âmpere                                             |
| W  | watt                                                    |
| a  | Espessura da barra de cobre                             |
| b  | Largura da barra de cobre                               |
| d  | Distância entre barras de cobre                         |
| l  | Distância entre apoios consecutivos das barras de cobre |

# Capítulo 1

## Introdução

Neste capítulo é feito um enquadramento deste trabalho na RNT-E, são ainda definidos os objetivos estipulados para o mesmo, e por fim é apresentada a forma como o presente documento foi estruturado.

### 1.1 Enquadramento

Em meados do século XX, foi criada a Rede Nacional de Transporte de Eletricidade (RNT- E) com a construção das centrais hidroelétricas de Castelo de Bode e de Vila Nova, assim como um conjunto de instalações que permitiram fazer a ligação dos centros produtores às várias empresas de distribuição existentes nos principais núcleos urbanos e industriais do nosso país. Com o passar dos anos, a RNT-E foi integrando novos produtores e consumidores em diferentes regiões do país. Atualmente, a RNT-E é constituída por 8907 km de linhas, 68 subestações e 14 Postos de Corte, de Seccionamento ou de Transição.

A RNT-E é, desde o ano de 1994, concessionada por uma empresa independente, a REN - Rede Eléctrica Nacional S.A., que opera como TSO (Operador do Sistema de transporte de energia eléctrica) em Portugal. Por se tratar de uma rede vital para o normal funcionamento do país, todos os elementos constituintes da RNT-E devem ter níveis elevados de fiabilidade, em particular os serviços auxiliares que permitem a monitorização e comando de toda a rede, e que serão abordados de forma específica na presente dissertação.

A RNT-E está em constante adaptação às novas tecnologias, assim como aos conceitos de exploração e condução da rede.

Existem diferenças tecnológicas nas instalações, consoante a época (ano) em que foram construídas ou remodeladas. Contudo, os conceitos base, a arquitetura de exploração e condução das instalações são iguais entre si, podendo existir diferenças substanciais na ótica da tecnologia utilizada que vão dos “buses” em fio de cobre aos “buses” em fibra ótica.

A constante evolução e adequação às novas tecnologias, é vital para o crescimento e aumento de robustez na rede e dos seus elementos constituintes, no entanto, é crucial que esta evolução ocorra de forma sustentada e planeada. Assim, é necessário haver um foco não só na inovação,

mas também na constante monitorização do estado de todos os sistemas sejam eles mais recentes ou mais antigos. Assim, a ferramenta desenvolvida no âmbito deste documento, visa avaliar de forma aprofundada o estado de um dos sistemas que constitui a RNT-E que é o sistema de alimentações dos serviços auxiliares das instalações da rede, independentemente de se tratarem de instalações com tecnologia mais antiga ou mais recente. [14]

## 1.2 Objetivos

O objetivo central deste trabalho é desenvolver-se uma ferramenta informática que permita realizar um registo sistematizado do levantamento detalhado de todos os equipamentos constituintes dos sistemas de alimentação em regime normal e de socorro dos Serviços Auxiliares, existentes nas instalações da RNT-E. Simultaneamente, com a ferramenta informática, será possível diferenciar os registos que estão ou não em conformidade com as especificações REN em vigor, bem como outras normas e legislações que eventualmente possam ser aplicadas, assim como as parametrizações que cumprem ou não os critérios de segurança de uma rede de distribuição de Corrente Alternada em Baixa Tensão.

Pretende-se que a ferramenta a desenvolver tenha a capacidade não só de avaliar instalações atualmente em serviço na RNT-E, como futuras instalações que antes de entrarem ao serviço possam ser vistoriadas através deste mesmo instrumento.

Para uma análise com vista à resolução das situações anómalas eventualmente detetadas, será necessário criar um meio de diferenciação entre situações mais e menos críticas em termos de prioridade de correção do defeito.

Pretende-se que após a recolha de dados seja possível, de forma intuitiva, perceber-se sob um ponto de vista macro o estado geral da instalação em análise, sendo que para esclarecimentos mais pormenorizados se possa consultar a justificação do defeito, na zona de recolha de informação.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

A estrutura deste documento segue a ordem cronológica do desenvolvimento do trabalho proposto.

Para além do presente capítulo correspondente à introdução do trabalho, esta dissertação contém mais 4 capítulos.

No capítulo 2, é feita uma apresentação geral dos serviços auxiliares das instalações da RNT-E e todos os seus constituintes. São apresentadas e explicadas as cargas a alimentar, as fontes de alimentação existentes e o quadro geral de corrente alternada da instalação.

No capítulo 3, é feita uma apresentação de todos os cálculos necessários à verificação do dimensionamento dos circuitos de alimentação da instalação e dos barramentos de 400 V existentes no interior do quadro geral de corrente alternada (QGCA). São apresentadas também neste capítulo as várias parametrizações disponíveis nos disjuntores de proteção dos circuitos de alimentação.

Está também presente uma secção relativa aos regimes de neutro possíveis para serem implementados na instalação, faz-se ainda a apresentação de uma formulação simplificada para determinação da autonomia do grupo eletrogéneo de socorro (GES). Por fim, apresentam-se os níveis de proteção de quadros elétricos quanto a penetração de objetos estranhos e humidade, proteção IP, e contra proteção contra efeitos mecânicos, proteção IK.

No capítulo 4, é apresentada a ferramenta desenvolvida, todas as suas páginas e informações necessárias ao seu preenchimento, e por fim é feito um estudo de caso para a situação de uma das subestações da RNT-E, em que são apresentados todos os cálculos feitos pela ferramenta e é explicado passo a passo o funcionamento da mesma.

No capítulo 5, são retiradas conclusões quanto ao trabalho desenvolvido e são apresentados eventuais desenvolvimentos futuros resultantes da ferramenta criada.



## Capítulo 2

# Serviços Auxiliares de Corrente Alternada

Neste capítulo serão apresentada a estrutura dos serviços auxiliares existentes na Rede Nacional de Transporte de Eletricidade (RNT-E), nomeadamente, os seus circuitos dependentes, os sistemas de alimentação, o quadro geral de corrente alternada, e por fim a forma como todos estes elementos estão organizados.

Os serviços auxiliares das instalações da RNT-E contemplam todos os circuitos e fontes de energia, de Baixa Tensão (BT), alternada e contínua, das subestações, postos de corte e postos de seccionamento. Apesar de as instalações que fazem parte desta rede estarem diretamente associadas à Média, Alta e Muito Alta Tensão, podemos dizer que os sistemas de Baixa Tensão, das mesmas, são cruciais para o normal funcionamento da instalação e, consequentemente para os níveis de fiabilidade da rede nacional de transporte de eletricidade.

Os circuitos dependentes dos serviços auxiliares em corrente alternada são:

- Aquecimento e ventilação;
- Aparelhagem auxiliar dos transformadores;
- Retificadores;
- Iluminação exterior;
- Iluminação de edifícios;
- Tomadas exteriores;
- Tomadas interiores;
- Motores de seccionadores e disjuntores de MAT e AT.

Dos serviços auxiliares em corrente contínua dependem os circuitos:

- Comando e sinalização de toda a aparelhagem de MAT e AT;

- Proteção;
- Tomadas para ensaio dos equipamentos. [15]

## **2.1 Identificação dos circuitos dependentes dos Serviços Auxiliares**

Apresenta-se de seguida uma breve descrição de todas as cargas dependentes dos serviços auxiliares (SA).

### **2.1.1 Sistemas de iluminação**

Os sistemas de iluminação contemplam a iluminação interna de todos os edifícios da instalação e a iluminação externa que abrange toda a iluminação existente no parque exterior de aparelhagem.

### **2.1.2 Circuitos de tomadas**

O circuito de tomadas de Baixa Tensão, garante a existência de fontes a 230/400V CA em todos os edifícios e no parque exterior de aparelhagem. Estas tomadas têm como objetivo fornecer energia aos circuitos da sala de comando, equipamentos da cozinha e espaços de higiene, bem como computadores e outros aparelhos eletrónicos necessários ao comando e a atividades, como reuniões realizadas nas salas da instalação. Estas tomadas, em particular as existentes no parque exterior de aparelhagem, permitem ainda a alimentação de equipamentos com vista às atividades de manutenção e reparação dos componentes de Alta Tensão que se encontram no parque.

### **2.1.3 Sistemas de Climatização**

Nas instalações, com vista à climatização da sala de comando e casas de painel, existem sistemas de ar condicionado que são cruciais para a correta operação dos equipamentos de comando e controlo, ao garantirem a temperatura ideal das instalações para a normal operação destes equipamentos.

No caso das salas de baterias e dos grupos diesel existem sistemas de ventilação e extração de ar para o exterior. Os Transformadores de Potência também possuem um sistema de arrefecimento do óleo (ventiladores) cuja energia também é proveniente dos Serviços Auxiliares.

### **2.1.4 Sistemas de intrusão e incêndio**

As subestações e Postos de Corte e Seccionamento, devido ao facto de serem instalações de grande importância para a RNT-E, e grande parte do tempo se encontrarem “abandonadas”, isto é, sem meios humanos em permanência, encontram-se protegidas por sistemas de deteção de intrusão e de incêndio, sendo estes sistemas alimentados também através da rede de Baixa Tensão da instalação.

### 2.1.5 Força motriz do parque e aquecimento

Os circuitos de força motriz e aquecimento percorrem todos os painéis do parque exterior de aparelhagem. Além da força motriz que se destina ao movimento dos seccionadores e dos disjuntores, ventilações e regulações, existe também o circuito de aquecimento que permite regular, através de um sensor de temperatura, as condensações no interior dos armários de comando e controlo da aparelhagem MAT, evitando desta forma condensações nocivas aos equipamentos.

### 2.1.6 Retificadores

Devido à necessidade de alimentação em corrente contínua para os sistemas de telecomunicações e sistemas de comando, controlo e proteção, existe um sistema de corrente contínua de 48V CC que fornece energia aos sistemas de telecomunicações e um sistema de 110V CC para alimentação das restantes cargas, nomeadamente sistemas de sinalização, comando, controlo, medida e monitorização dos dados da instalação, sistemas aos quais é fornecida energia de retificadores, retificadores estes que, por sua vez, recebem energia da rede de Baixa Tensão em CA da instalação. Os retificadores alimentam ainda um sistema de baterias que, em caso de emergência, permitem que os sistemas de alimentação em corrente contínua continuem assegurados. [16]

### 2.1.7 Sistemas de Comando, Controlo e Proteção

Estes sistemas permitem que, em tempo real, sejam feitas manobras localmente ou pelos operadores de rede, bem como pelos sistemas de proteção, que assim, poderão detetar os defeitos e fazer atuar as proteções.

### 2.1.8 Tratamento de óleos

Nas acções de manutenção periódicas realizadas aos transformadores de potência da subestação procede-se ao tratamento do óleo existente no seu interior. Basicamente, esta operação consiste em filtrar o óleo, removendo humidades, partículas e gases sendo necessário ligar equipamentos cujos consumos de energia são substancialmente elevados, por essa razão existe uma saída no QGCA exclusiva para este efeito, saída esta que não estará ativa em situação de emergência.

Após esta análise constata-se que, os serviços auxiliares de Baixa Tensão em corrente alternada têm um papel crucial no funcionamento das instalações da Rede Nacional de Transporte de Eletricidade e, por isso, é necessário garantir que a sua fiabilidade seja elevada por forma a que nenhuma destas instalações entre em *blackout* e fique sem visibilidade a partir do centro de operação de rede, e assim impossibilitada de fazer manobras à distância. [16]

## 2.2 Fornecimento de energia aos Serviços Auxiliares

Os sistemas de fornecimento de energia dos Serviços Auxiliares das instalações da RNT-E, são a fonte de todos os sistemas de baixa tensão da instalação, em corrente alternada e contínua. Estes sistemas são divididos em dois tipos, regime normal e regime de emergência. De seguida serão explicadas estas duas tipologias, bem como, o modo de fornecimento de energia inerente às mesmas.

### 2.2.1 Regime Normal

O fornecimento de energia em regime normal é aquele que foi projetado para a instalação para funcionar em situação normal. No caso das instalações com transformação, as subestações, o fornecimento de energia aos SA é feito diretamente a partir da própria instalação de MAT ou AT. No caso de instalações sem transformação, a fonte de energia em Baixa Tensão é conseguida a partir da Rede Nacional de Distribuição de Eletricidade (RND-E) ou diretamente a partir de instalações de produção de energia na vizinhança.

#### 2.2.1.1 Transformador de Serviços Auxiliares

O transformador de serviços auxiliares (TSA) trata-se de um transformador de potência MT/BT ao qual o fornecimento de energia é feito a partir do terciário dos transformadores de potência ou auto-transformadores de MAT/MAT e MAT/AT existentes nos parques de aparelhagem das subestações. Em cada instalação da RNT-E existem até 3 TSA's, sendo que os mesmos funcionam de forma isolada, sendo dimensionados para fornecer de forma independente a totalidade da potência exigida pela instalação. O seu funcionamento é feito de forma alternada, controlado pelo gestor de serviços auxiliares (GSA), como se explica mais à frente no ponto 2.3.1 [16] [17]

Estes transformadores quando instalados junto ao transformador localizado no parque são chamados de transformador "biberão" e são construídos para ser instalados no exterior. Quando, em casos particulares, o transformador é instalado no interior da instalação, geralmente na casa de serviços auxiliares, é do tipo seco e a sua alimentação é feita por cabo subterrâneo desde o transformador de potência.

Existem duas tipologias de TSA disponíveis, o tipo A e o tipo B, ambos descritos de seguida.

- **Tipo A:**

O TSA do tipo A é um transformador trifásico de 10000 ou 20000/400-231 V, com regulação em vazio, para ser montado no exterior. O enrolamento primário é provido de 5 tomadas comutáveis, em vazio, para uma regulação de  $\pm 5\%$  e  $\pm 10\%$ .

As ligações do transformador são:

- Enrolamento 20kV ou 10kV: Estrela com neutro acessível;
- Enrolamento de 400V: Estrela com neutro acessível;
- Enrolamento terciário: triângulo com terminal acessível.



Figura 2.1: Transformador de Serviços Auxiliares, SE Vermoim

O grupo de acoplamento dos enrolamentos é: YNyn0, d11. [17]

- **Tipo B:**

O TSA do tipo B é um transformador trifásico de 20000/400-231 V, com regulação em carga, para montagem exterior. Razões de transformação em vazio:

Tomada Principal: 20000/400 V

Tomadas Extremas: 24000/400 V e 16000/400 V

**Razões das tensões:**

As diferentes razões primárias e secundárias, em vazio, serão realizadas por um comutador em carga que modificará o número de espiras no enrolamento de 20 kV. O enrolamento sobre o qual se faz a regulação em carga comporta 14 escalões, comutáveis em carga, permitindo a regulação da tensão primária em vazio de 24000 V a 16000V para uma tensão secundária de 400V. As 15 posições são comutáveis em carga, por degraus sucessivos.

As ligações do transformador são:

- Enrolamento 20kV ou 10kV: Estrela com neutro acessível;
- Enrolamento de 400V: Estrela com neutro acessível;
- Enrolamento terciário: triângulo com terminal acessível. [17]

- **Proteção do transformador e travessias**

De forma a preservar-se a integridade da máquina em situações de defeito existe, junto ao transformador, um quadro acessível por porta, que contém as travessias provenientes do TSA, e o respetivo elemento de proteção. [17]

- **Descarregador de Sobretensões**

O descarregador de sobretensões é um equipamento instalado à saída do terciário do transformador de potência, e tem como objetivo, descarregar à terra eventuais sobretensões provenientes da rede de MAT, de modo a que estas não atinjam o TSA. [18]

- **Transformador de Corrente**

Com o objetivo de serem detetados eventuais defeitos à terra, existe um transformador de intensidade toroidal a medir a corrente de neutro. Este transformador encontra-se montado sobre a cuba do TSA, como o que se mostra na figura 2.2. [17]



Figura 2.2: Transformador de Intensidade toroidal, SE Valpaços

### 2.2.1.2 Normabloco

Os normablocos são quadros modulares de média tensão que são usados em instalações da RNT-E que não possuem transformação, nomeadamente os postos de corte e seccionamento, e aos quais está associado um transformador que fornecerá energia aos serviços auxiliares da instalação

Neste caso a instalação é alimentada diretamente da rede de distribuição de energia elétrica por média tensão, ou em casos particulares, a partir de centrais de geração de energia que se encontrem na vizinhança da instalação.

Na figura 2.3 é possível ver-se um normabloco e respetivo transformador seco em serviço no posto de Corte da Caniçada, região Minho.



Figura 2.3: Normabloco e respectivo transformador seco em serviço, PC Caniçada

Atualmente existem entre 1 e 3 normablocos em cada instalação que faça uso desta tipologia de alimentação.

### 2.2.1.3 Posto de Transformação aéreo

Os postos de transformação aéreos, à semelhança do que acontece com os normablocos, são fontes de alimentação usadas para instalações que não possuem transformação de energia e consequentemente também não é possível que haja TSA. Desta forma, uma das alternativas é alimentar a instalação a partir da RND-E, contratando um serviço de fornecimento de energia e inerente baixada, que inclui um PT aéreo.

## 2.2.2 Alimentação de Emergência

A alimentação de emergência funciona exclusivamente em caso de falha nas restantes formas de alimentação da instalação. Esta fonte de energia é crucial e indispensável nas instalações da RNT-E, uma vez que, em caso de "apagão", há serviços que são considerados essenciais ao funcionamento contínuo para que a subestação se possa manter visível para o Centro de Operação de Rede (COR) e possa continuar a ser operada remotamente. Mais à frente neste documento, no ponto 2.3.2, são clarificados os sistemas essenciais, alimentados pelo grupo de socorro em situação de "apagão", e não essenciais que em caso de falha de alimentação normal deixam de ser alimentados. A hipótese do paralelo entre grupo de socorro e outra fonte de alimentação não é aceite, funcionando este, apenas, em caso de não existir qualquer outra fonte em regime normal de alimentação.

Atualmente, a rede de emergência é feita exclusivamente a partir de grupos diesel, no entanto, poderão vir a surgir outros sistemas de alimentação de emergência mais eficientes e menos poluentes. [19]

### 2.2.2.1 Grupo Eletrogéneo de Socorro

Em cada instalação da RNT-E existem um ou dois grupos eletrogéneos de socorro (GES), os mesmos são constituídos pelo conjunto de um motor diesel e um alternador, do tipo fixo, e com montagem no interior de um edifício. Ao grupo está associado um quadro de comando e controlo do GES, com potência nominal em concordância com a do grupo, e com os seguintes equipamentos:

- disjuntor tetra polar, com acionamento elétrico e manual, equipado com relé termo-magnético de ação direta e com intensidade nominal adequada à potência do grupo;
- Um transformador de corrente por fase, para medição da corrente por fase a ser alimentada pelo grupo;
- Retificador para carga da bateria de arranque;
- Variador Eletrónico de Velocidade;
- Regulador Eletrónico de tensão;
- Módulo de controlo e supervisão. [19]

Na figura 2.4 é possível ver o exemplo de um GES, existente na subestação de Palmela.



Figura 2.4: Grupo Eletrogéneo de Socorro, SE Palmela

**Autonomia de funcionamento:**

O artigo 42º do Regulamento da União Europeia 2017/1485 de 24 de novembro de 2017, que estabelece um código de rede relativo aos estados de emergência e de restabelecimento em redes de eletricidade, indica no ponto 5 que:

*“Em caso de perda de fornecimento de energia primária, as subestações identificadas como essenciais para os procedimentos do plano de restabelecimento (...) devem estar operacionais durante pelo menos 24 horas.” [20]*

Baseada neste regulamento, foi feita uma avaliação da atual autonomia dos grupos de socorro, de todas as instalações da RNT-E.

## 2.3 Quadro Geral de Corrente Alternada

O Quadro Geral de Corrente alternada (QGCA), é o quadro onde chegam todas as fontes de alimentação da instalação, em regime normal (TSA, NB ou PTA) e alimentação de emergência (GES), sendo neste local feita a gestão do sistema que alimenta a instalação através do autómato de gestão de serviços auxiliares (GSA). É feito a partir deste quadro o fornecimento de energia aos restantes quadros da instalação, bem como ao sistema de retificadores que alimenta os serviços auxiliares de corrente contínua (SACC).

O QGCA dispõe de dois barramentos interligados entre si por um elemento de corte interbarras que separa os serviços essenciais dos serviços não essenciais.

Este quadro situa-se, nas novas instalações e nas que foram alvo de uma remodelação recente, num edifício independente ao qual é dado o nome de “Casa de Serviços Auxiliares” (CSA).

Na figura 2.5 apresenta-se um QGCA em serviço na subestação de Palmela, na região de Lisboa.



Figura 2.5: Quadro Geral de Corrente Alternada, SE Palmela

### 2.3.1 Autômato de gestão de Serviços Auxiliares

O autômato de gestão serviços auxiliares (GSA), trata-se de um sistema constituído por dois autômatos ligados em paralelo a desempenhar as mesmas funções, de forma a que exista redundância, e consequentemente se aumente a fiabilidade deste sistema. As funções desempenhadas por este automatismo são apresentadas de seguida.

- Verificação da correcta sequência de fases e dos níveis de tensão das alimentações a 400 V CA do Quadro Geral de Corrente Alternada (QGCA) da instalação;
- Mudança automática da fonte de alimentação de 400 V CA;
- Mudança manual da fonte de alimentação de 400 V CA, a pedido do operador;
- Arranque automático do grupo de socorro e sua colocação em serviço;
- Retorno automático do serviço a uma das fontes de alimentação de 400 V CA e paragem do Grupo de socorro;
- Regulação Automática de tensão dos reguladores em carga associados aos transformadores de serviços auxiliares ligados a terciários de Auto-transformadores;
- Contagem dos consumos alimentados pelo barramento dos Serviços Não Essenciais e pelo Grupo de Socorro.

O GSA tem a capacidade de atuar nos órgãos de corte da alimentação em regime normal e nos aparelhos de corte do interbarras e de entrada referente ao GES.

Este sistema visa portanto manter o sistema de alimentações dos serviços auxiliares em pleno funcionamento dentro dos valores estipulados, e garantir que todas as fontes de alimentação estão em funcionamento adequado, caso contrário dará informação ao COR bem como na própria instalação do problema ou problemas existentes na instalação. [21].

Na imagem 2.6 apresenta-se a imagem de um GSA, em funcionamento na SE de Vermoim, na região do Porto.

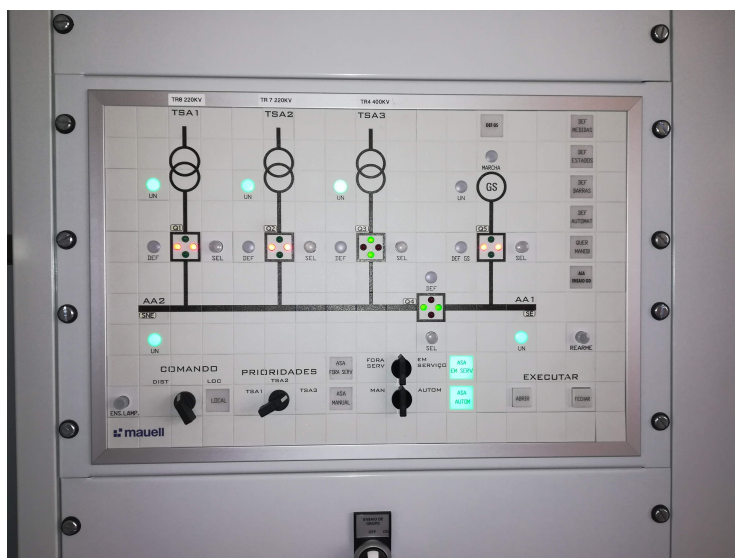


Figura 2.6: Gestão de Serviços Auxiliares, SE Vermoim

### 2.3.2 Serviços essenciais e não essenciais

O barramento de serviços essenciais tem ligado a si todos os circuitos que alimentam cargas prioritárias e que têm obrigatoriamente que ser alimentadas em situação de falha no sistema normal de fornecimento de energia à instalação, sendo a única alimentação ligada a este barramento, a proveniente do GES.

O barramento de serviços não essenciais tem ligado a si todos os circuitos cuja a alimentação pode ser interrompida em situação de emergência sem que isso traga consequências para o normal funcionamento da instalação, e tem ligado a si as alimentações em regime normal.

Os barramentos estão interligados entre si por um órgão de corte interbarras, que, em caso de entrada do grupo de socorro, faz a separação dos barramentos para que sejam apenas alimentados pelo grupo de socorro, os serviços essenciais.

A separação de barramentos existe para que o GES não seja sobrecarregado com cargas que possam ser desprezadas em situação de emergência, aumentando, por esta via, a autonomia do mesmo através da redução dos consumos e para que com a separação dos barramentos se garanta a impossibilidade de acontecer uma colocação em paralelo entre o GES e as fontes de alimentação utilizadas em regime normal.

## **2.4 Organização dos Serviços Auxiliares**

Os serviços auxiliares são divididos em vários espaços distintos, explicados de seguida.

### **2.4.1 Sala do Grupo Diesel**

A sala do grupo Diesel é o espaço onde se encontra o grupo eletrogéneo de socorro (GES), bem como o seu depósito de combustível e o quadro de comando do grupo de socorro (QCGS). O QCGS é onde chega a alimentação proveniente do gerador de energia, e onde se encontra o elemento de corte que protege a canalização que seguirá para o QGCA.

### **2.4.2 Sala de Serviços Auxiliares**

A sala de serviços Auxiliares é o local onde se encontra o quadro geral de corrente alternada (QGCA), bem como o armário de retificadores que alimentam os Serviços Auxiliares de Corrente Contínua (SACC) e as respetivas baterias.

### **2.4.3 Casas de painel**

Algumas instalações, sobretudo aquelas que contêm um número elevado de painéis, possuem edifícios denominados casas de painel, onde se encontra toda a aparelhagem de comando, controlo e proteção associada aos painéis representados nessa casa. Todos os componentes aqui existentes são alimentados a partir do QGCA.

### **2.4.4 Edifício de comando**

O edifício de comando é o edifício principal da instalação, que alberga a sala de comando da mesma, espaços de higiene, cozinha, sala de reuniões, oficinas e outros espaços mediante o tipo de instalação. Toda a alimentação deste edifício é feita a partir de quadros elétricos que se encontram alimentados a partir do QGCA.

## Capítulo 3

# Dimensionamento e Considerações sobre Elementos de Circuitos Elétricos

Neste capítulo será apresentada a formulação matemática inerente ao dimensionamento dos circuitos de alimentação em Baixa Tensão da instalação. Este dimensionamento é feito de forma distinta para dois tipos de circuitos: circuitos em cabo e circuitos em barramento.

Será também abordado o tema relativo aos diversos parâmetros que podem ser alvo de ajuste nos disjuntores de proteção de circuitos usados, bem como uma explicação dos esquemas de ligação à terra possíveis de serem implementados.

Por forma a garantir a adequação dos índices de proteção garantidos pelos invólucros do QGCA, será também apresentada uma análise aos índices de proteção IP e IK.

### 3.1 Dimensionamento e verificação dos barramentos do QGCA

Nesta secção é apresentada a formulação para dimensionamento dos barramentos de chegada das alimentações ao QGCA. O dimensionamento é feito, projetando o barramento para suportar a máxima corrente a que pode estar sujeito, corrente esta que se trata da corrente de pico em caso de curto-circuito, e por isso, este será o primeiro cálculo apresentado. De seguida serão apresentados os cálculos relativos ao dimensionamento e/ou verificação de conformidade dos barramentos existentes seguindo duas metodologias diferentes, uma para dimensionamento e uma outra para verificação.

- Metodologia para dimensionamento baseada no Manual de Instalações Elétricas, Brown Boveri & Company (BBC), Edição da Ordem dos Engenheiros – Região Norte, no manual técnico elaborado pela empresa Jayme da Costa sobre montagem de condutores nus, e documentos legislativos existente em Portugal;
- Metodologia para verificação: Norma europeia IEC 60865-1 – *Short-circuit Currents – Calculation of effects – Part 1 Definitions and Calculation Methods* - Norma europeia para o cálculo de efeitos de correntes de curto-circuito em condutores elétricos.

Nos cálculos a seguir apresentados, será considerada a disposição e corte transversal presente nas figuras 3.1 e 3.2 , respectivamente.

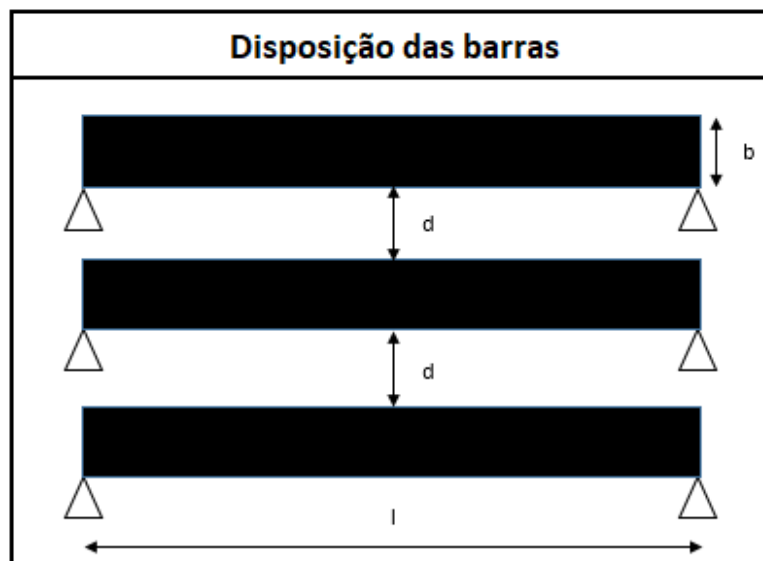


Figura 3.1: Disposição dos barramentos

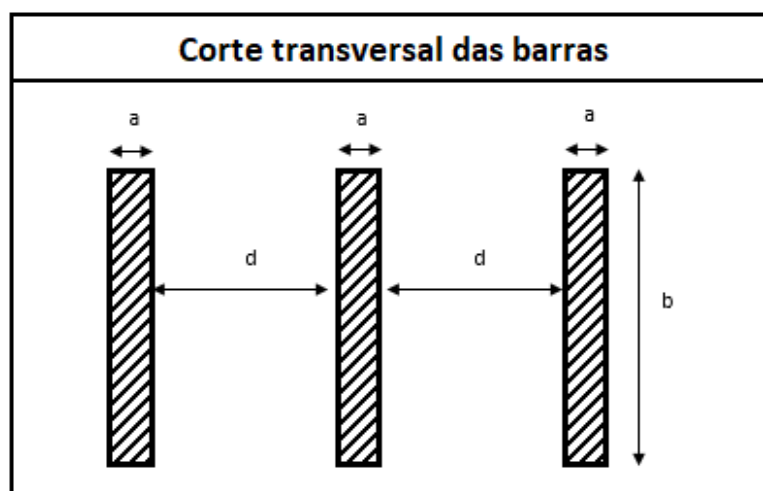


Figura 3.2: Corte transversal dos barramentos

Sendo:

- $a$  - Espessura da barra;
- $b$  - Largura da barra;
- $d$  - Distância entre barras;
- $l$  - Distância entre apoios consecutivos.



### 3.1.1.1 Determinação do fator $\kappa$

O fator  $\kappa$  é determinado através da análise do gráfico da figura 3.4 a partir do valor da fração entre a resistência e a reatância da rede ou a fração entre a reatância e a resistência da rede. [1].

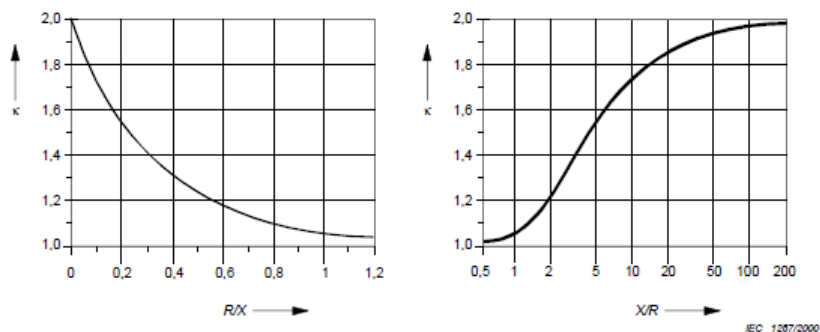


Figura 3.4: Gráficos para determinação do fator  $\kappa$  [1].

O valor de  $\kappa$  pode também ser determinado através da equação 3.2:

$$\kappa = 1.02 + 0.98e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} \quad (3.2)$$

Pretende-se que o valor do fator  $\kappa$  a considerar nos cálculos seja o valor mais desfavorável, por isso e por neste trabalho estar em análise um ponto de curto-circuito numa rede de baixa tensão (BT), existem sempre resistências na rede, pelo que, se considera como valor máximo para o fator  $\kappa$  1.8, sendo este o valor usado nos cálculos que se vierem a fazer neste trabalho. [4].

### 3.1.1.2 Cálculo da corrente de curto-circuito inicial

O cálculo da corrente de curto-circuito inicial é essencial para que se determine a corrente de pico de curto-circuito. Para o cálculo do valor desta corrente deve ser seguida a formulação apresentada de seguida, em que foi desprezada a impedância da rede, devido as suas dimensões reduzidas o que o tornam muito próximo de zero.

#### Cálculo da impedância do transformador

Em primeiro lugar é determinada a impedância do primário do transformador,  $X_P$  a partir da expressão 3.3.

$$X_P = \frac{U_P^2}{S_N} \quad (3.3)$$

É então possível calcular-se a impedância de base da rede,  $X_b$ , através da expressão 3.4.

$$X_b = \frac{U_{cc}}{100} * X_P \quad (3.4)$$

Obtida a impedância de base de defeito é possível determinar-se a corrente de curto circuito do primário do TSA,  $I_{ccp}$ , através da expressão 3.5.

$$I_{ccp} = \frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{X_b} \quad (3.5)$$

Usando a razão de transformação do transformador é assim possível obter o valor da corrente de defeito do lado do secundário do transformador,  $I_{ccs}$ , através da expressão 3.6.

$$I_{ccs} = I_k'' = \frac{U_{np}}{U_{ns}} * I_{ccp} \quad (3.6)$$

### 3.1.2 Dimensionamento dos barramentos

Tal como foi referido no início deste capítulo, nesta secção será feito o dimensionamento do barramento tendo em conta todas as condições que devem ser verificadas.

#### 3.1.2.1 Condição de Aquecimento

O dimensionamento de uma instalação elétrica parte do valor da corrente de serviço como valor base, assim, será este o valor de corrente para o qual se efetuará a escolha de um barramento, através da tabela disponível no anexo A.1.

A corrente de serviço é o valor eficaz da corrente, necessária para alimentar a potência instalada, em regime permanente e com tensão nominal. [22]

Por se tratar do dimensionamento do barramento de uma instalação prioritária, como é o caso dos serviços auxiliares de uma instalação da RNT-E, então, por definição da empresa, não serão usados fatores de simultaneidade, sendo equacionada a hipótese de todas as cargas instaladas estarem em funcionamento em simultâneo.

Tratando-se de um sistema trifásico e admitindo cargas equilibradas, a corrente de serviço pode então ser determinada através da equação 3.7 [4].

$$I_S = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n} \quad (3.7)$$

Onde:

- $I_S$  - Corrente de Serviço;
- $S$  - Potência instalada;
- $U_n$  - Tensão nominal simples de alimentação da instalação.

Calculado o valor da corrente de serviço, é então possível a escolha de um barramento, seguindo a condição 3.8.

$$I_Z \geq I_S \quad (3.8)$$

Onde:

- $I_Z$  - Corrente máxima admissível pelo barramento;
- $I_S$  - Corrente de serviço da instalação.

### 3.1.2.2 Verificação da resistência do barramento a esforços eletrodinâmicos

As barras paralelas, de comprimento " $l$ ", consideravelmente grande em relação à sua largura " $b$ " (de acordo com a figura 3.1), quando atravessados por uma corrente elétrica, estão sujeitos a forças uniformemente distribuídas em toda a sua extensão, forças estas que em caso de defeito se tornam mais significativas. Devido a estas forças, as barras devem ser dimensionadas não só tendo em conta a sua corrente de serviço, mas também as forças a que as mesmas estão sujeitas caso ocorra um curto-circuito.

De seguida, são apresentados os cálculos que serão usados para se verificar se as barras suportam mecanicamente os esforços eletrodinâmicos a que podem ser sujeitas em caso de defeito. [2] [10]

### Verificação da Resistência mecânica ao curto-circuito

Para se verificar se a barra suporta os esforços provocados pelas correntes de defeito num curto-circuito trifásico e simétrico, por ser o mais violento, começa por se determinar a força eletromagnética exercida entre as barras, através da equação 3.9: [2]

$$F_e = \frac{\mu}{2 * \pi} * \frac{\sqrt{3}}{2} * i_p^2 * \frac{l}{d} \quad (3.9)$$

Onde:

- $F_e$  - Força eletromagnética exercida no barramento [N];
- $\mu_0$  - Permeabilidade magnética do vácuo -  $4 * \pi * 10^{-7} [H/M]$
- $i_p$  - Corrente de pico do curto-circuito [A];
- $l$  - Distância entre apoios consecutivos da barra;
- $d$  - Distância entre barras.

Uma vez calculada a força exercida na barra, será agora calculado o momento fletor, ou seja, a força de torção a que a barra é exposta por cada centímetro de comprimento.

O momento fletor é calculado pela equação 3.10 [10]

$$m_f = \frac{F_e * l}{x} \quad (3.10)$$

Onde:

- $m_f$  - momento fletor [ $kgf * cm$ ];
- $F_e$  - Força eletromagnética exercida na barra [ $kgf$ ];
- $l$  - Distância entre apoios consecutivos da barra [ $cm$ ];
- $x$  - fator que expressa o modo como as barras estão suportadas.

#### Fator x

O fator x depende da forma como as barras estão suportadas, e os valores podem ser consultados na tabela 3.1

Tabela 3.1: Valores possíveis para o fator x [12]

| Fator x                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Apoiado livremente                                              | 8  |
| Quando há uma instalação mista entre apoios livres e encastrado | 16 |
| apoios encastrados                                              | 24 |

Será considerado um fator x de 16, uma vez que na maior parte dos casos existe uma instalação mista, e por isso esta é a situação mais desfavorável. [23]

Finalmente, com o valor obtido para o momento fletor, é então possível calcular o máximo momento fletor que a barra, estando fixa, pode suportar de forma a resistir à força de torção imposta. Este valor máximo é calculado através da equação 3.11: [10]

$$m_f = W * \sigma \quad (3.11)$$

Onde:

- $m_f$  - Momento fletor [ $kgf * cm$ ];
- $W$  - Módulo de flexão [ $cm^3$ ];
- $\sigma$  - Carga de segurança à flexão.

Tabela 3.2: Carga de Segurança à flexão ( $\sigma$ ) [13]

| Carga de Segurança à flexão - $\sigma$ |                           |
|----------------------------------------|---------------------------|
| Cobre                                  | 1000 a 1200 [ $kg/cm^2$ ] |
| Alumínio                               | 40 a 600 [ $kg/cm^2$ ]    |

Uma vez que se pretende verificar se a barra escolhida suporta este momento fletor, reorganiza-se a equação 3.11, obtendo-se com a condição 3.12: [10]

$$W \geq \frac{m_f}{\sigma} \quad (3.12)$$

Após determinado o valor da expressão  $\frac{m_f}{\sigma}$ , consulta-se o valor do módulo de flexão que se encontra tabelado no anexo A.3 para o perfil de barra escolhido. Se a condição 3.12 não for cumprida, então a barra não é suficientemente resistente aos esforços eletrodinâmicos que lhe poderão ser impostos, devendo por isso ser substituída por uma de secção superior, repetindo-se novamente os cálculos deste ponto para averiguar a resistência da nova barra aos esforços impostos pelo momento fletor.

### 3.1.2.3 Esforços térmicos devido ao curto-circuito

Neste ponto irá ser formulada a avaliação a fazer ao barramento, com vista a verificar se o mesmo suporta os esforços térmicos a que está sujeito durante um curto-circuito. Para se verificar se o barramento suporta os esforços térmicos provocados pelo curto-circuito, calcula-se o tempo de fadiga térmica do barramento, que é o tempo máximo para o qual o barramento consegue suportar a corrente de defeito.

### Fatores m e n

Para se efetuar esta avaliação, é necessário que se determine em primeiro lugar os fatores m e n, que traduzem, respetivamente, o efeito do decréscimo da componente contínua da corrente de curto-circuito e o efeito da corrente alternada.

O valor do fator m está dependente do parâmetro  $\kappa$  apresentado no ponto 3.1.1.1 e pode ser obtido por análise do gráfico da figura 3.5

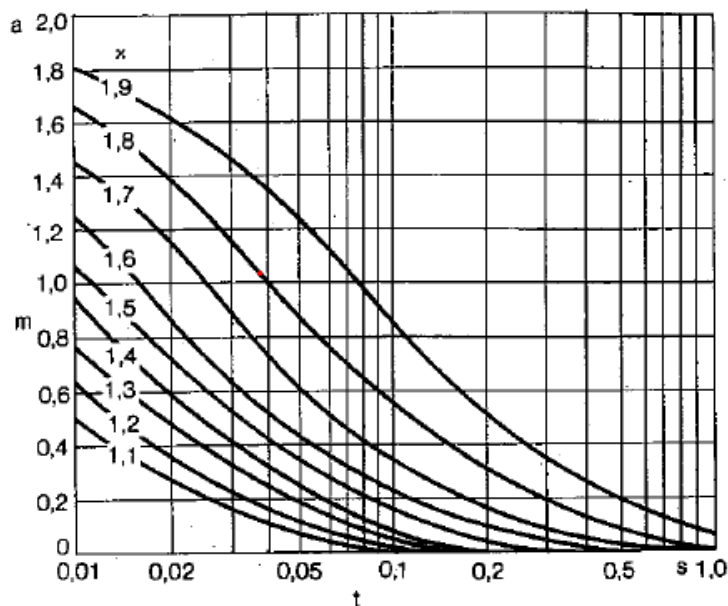


Figura 3.5: Fator m para o cálculo do efeito do aquecimento causado pela componente contínua da corrente de curto-circuito [2]

O valor do fator n, por sua vez, depende da relação que traduz o decréscimo da componente alternada da corrente de curto circuito ( $I_k''/I_k$ ), e pode ser obtido por análise gráfica da figura 3.6

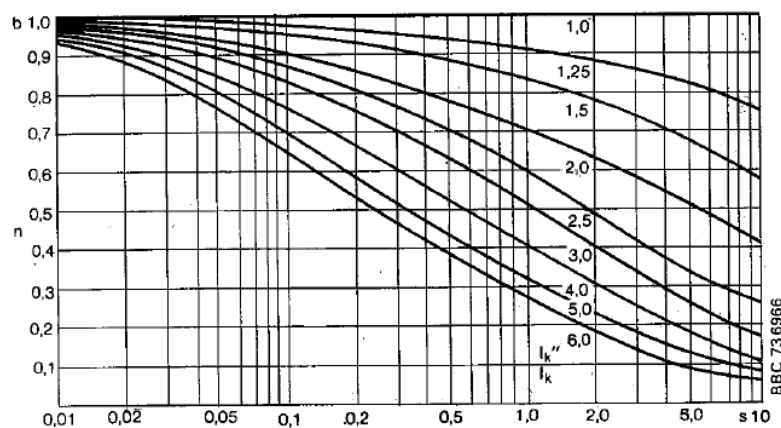


Figura 3.6: Fator n para o cálculo do efeito do aquecimento causado pela componente alternada da corrente de curto-circuito [2]

### Determinação da corrente térmica

A corrente térmica é determinada através da equação 3.13 [2]

$$I_{th} = I_k * \sqrt{m + n} \quad (3.13)$$

Onde:

- $I_{th}$  - Corrente térmica de curto-circuito [kA];
- $I_k$  - Corrente de curto-circuito [kA];
- $m$  - Fator que traduz o decréscimo da componente contínua da corrente de curto-circuito;
- $n$  - Fator que traduz o decréscimo da componente alternada da corrente de curto-circuito.

#### 3.1.2.4 Determinação da secção mínima do condutor

Será agora determinada a secção mínima para a qual o barramento consegue suportar as correntes de defeito a que poderá estar sujeito. Este cálculo parte da determinação do tempo de fadiga térmico através da equação 3.14 [12]

$$\sqrt{t} = k * \frac{s}{I_{th}} \quad (3.14)$$

Onde:

- $t$  - Tempo de fadiga térmica do condutor [segundos];
- $k$  - Fator relativo às propriedades térmicas do condutor;
- $s$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ];
- $I_{th}$  - Corrente térmica [A].

### Determinação do fator k

O fator  $k$  é adimensional e quantifica a rapidez com que o condutor entra em fadiga térmica, dependendo do material que o constitui. Alguns valores para este fator são apresentados na tabela 3.3 para diferentes tipos de materiais de que são feitas as barras nuas. [12]

Tabela 3.3: Valores padrão do fator  $k$  para dimensionamento de barramentos [12]

| Fator k          |     |
|------------------|-----|
| Cobre            | 159 |
| Alumínio         | 104 |
| Liga de Alumínio | 97  |

Reorganizando a equação 3.14 em ordem a  $s_{min}$ , obtemos:

$$s_{min} = \frac{I_{th}}{k} * \sqrt{t} \quad (3.15)$$

Com a expressão 3.15, e considerando como tempo de fadiga térmica o tempo de atuação das proteções do circuito de entrada no QGCA, é então possível determinar-se a secção mínima que a barra deve ter para que, até o defeito ser eliminado por atuação das proteções, as barras resistam aos efeitos térmicos provocados pelas correntes de curto-circuito.

Assim, se o barramento tiver uma secção inferior à secção mínima determinada, deverá ser substituído por um de secção igual ou superior à determinada pela equação 3.15

### 3.1.2.5 Condição de ressonância

Ao ser atravessada por uma corrente elétrica, e quando fixada, a barra de cobre estará sujeita a vibrações impostas pelos esforços eletrodinâmicos a que está sujeita. Esforços estes que são desprezáveis em regime permanente, mas que em regime de curto-circuito, se tornam bastante significativos podendo levar à destruição do barramento e da estrutura envolvente. Esta condição tem então como objetivo o de garantir que a ressonância aquando de um curto-circuito, se mantém fora da gama de valores em que o barramento entraria em ressonância, com o objetivo de evitar a destruição parcial ou total do barramento em caso de defeito. [2]

A frequência de ressonância da barra é determinada pela equação 3.16: [10]

$$f_0 = 112 * \sqrt{\frac{E * J}{p * l^4}} \quad (3.16)$$

Onde:

- $f_0$  - Frequência de ressonância do barramento [Hz];
- $E$  - Módulo de elasticidade do barramento [ $kg/cm^2$ ];
- $J$  - Momento de Inércia do barramento [ $cm^4$ ];
- $p$  - peso linear da barra [ $kg/m$ ];
- $l$  - Distância entre apoios consecutivos do barramento [ $cm$ ].

É agora explicado como se obtém os parâmetros E, J e p necessários à determinação da frequência de ressonância.

### Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade,  $E$ , também conhecido por Módulo de Young, reflete a rigidez de um qualquer material sólido. É uma grandeza expressa em  $[N/mm^2]$  e varia de material para material. Na tabela 3.4 é possível consultar valores desta grandeza para diferentes materiais. [2]

Tabela 3.4: Valores do Módulo de Elasticidade para alguns metais [2]

| Módulo de Elasticidade ( $E$ ) |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| Cobre                          | 110000 $N/mm^2$ |
| Alumínio                       | 65000 $N/mm^2$  |
| Liga de Alumínio               | 70000 $N/mm^2$  |

### Momento de Inércia

O momento de Inércia,  $J$ , exprime-se em  $[cm^4]$  e entende-se como a tendência que um corpo tem a manter-se no seu estado, movimento ou repouso, quando lhe é aplicada uma força que contraria o mesmo, mede ainda a distribuição da massa de um corpo em torno do seu eixo de rotação. Esta grandeza depende da forma e dimensões do objeto em causa. No caso deste trabalho dependerá das largura e espessura da barra usada e poderá ser consultado no anexo A.3. [24]

### Peso linear

Esta grandeza representa o peso da barra por unidade de comprimento e é expressa em  $[kg/m]$ , depende das dimensões da barra (largura e espessura) bem como da densidade do material escolhido. A tabela de valores para esta grandeza pode ser consultada no anexo A.2 [2]

Para que a condição de ressonância se verifique, deve garantir-se que a frequência de ressonância está afastada, num valor igual ou superior a 10%, da frequência fundamental 50Hz, e da sua frequência dupla, 100Hz. [2]

Assim, deve verificar-se a condição expressa pela expressão 3.17:

$$f_0 \notin [f \pm 10\%] \cup [2 * f \pm 10\%] \quad [Hz] \quad (3.17)$$

### Cálculo da distância máxima entre apoios

Caso a condição de ressonância não seja verificada, será necessário determinar uma nova distância entre apoios que garanta a verificação da condição.

Começa então por se determinar as frequências críticas através das expressões presentes em 3.18

$$\begin{aligned}
f_{01} &= f - 10\% \\
f_{02} &= f + 10\% \\
f_{03} &= 2 * f - 10\% \\
f_{04} &= 2 * f + 10\%
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Obtidas as frequências críticas, é então possível determinar-se as distâncias críticas entre apoios. Este cálculo é feito com recurso à expressão 3.19, deduzida a partir da expressão 3.16.

$$l = \sqrt{\frac{112}{f_{0x}}} * \sqrt[4]{\frac{E * J}{p}} \quad [m] \tag{3.19}$$

O cálculo será repetido 4 vezes com os 4 valores de frequência determinados pelas equações expressas em 3.18, e desta forma é possível construir dois intervalos de distâncias proibitivas que não devem ser atingidas. Verificado que as distâncias existentes não entram nestes intervalos críticos está cumprida a condição de ressonância das barras.

Cumpridas todas as condições apresentadas neste dimensionamento, garante-se que o barramento está bem dimensionado quanto à sua corrente de serviço, bem como garantida a sua resistência a eventuais esforços eletrodinâmicos e térmicos que possam surgir devido a correntes de curto-circuito.

### 3.1.3 Método de verificação de dimensionamento baseado na norma IEC60865

Neste ponto será apresentada a verificação do correto dimensionamento do barramento baseado na norma europeia IEC60865.

#### 3.1.3.1 Condição de Aquecimento

Tal como aconteceu no método de dimensionamento, esta verificação parte da análise da condição de aquecimento, isto é, dimensionar o barramento para a corrente de serviço da instalação onde este irá operar. O cálculo é feito da mesma forma que a apresentada no ponto 3.1.2.1 deste trabalho, e por isso, dispensa-se a sua formulação novamente nesta verificação.

#### 3.1.3.2 Força máxima exercida no barramento

Será aqui apresentado o método para o cálculo da força máxima a que o barramento poderá estar sujeito em situação de defeito.

### **Cálculo do valor de pico entre os condutores principais para um curto-circuito trifásico e simétrico**

Num sistema trifásico com os condutores principais de cada fase instalados a igual distância entre si, a força máxima que neles atua durante um curto-circuito trifásico é dada pela expressão 3.20:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} * \frac{\sqrt{3}}{2} * i_p^2 * \frac{l}{d_m} \quad (3.20)$$

Onde:

- $F_{m3}$  - Força eletromagnética desenvolvida devido a um curto-circuito trifásico e simétrico [N];
- $\mu_0$  - Permeabilidade magnética do vázio -  $4\pi * 10^{-7} H/m$ ;
- $i_p$  - Corrente de pico do curto-circuito [A];
- $l$  - Distância entre apoios consecutivos da barra [cm];
- $d_m$  - Distância entre barras [cm].

### **Cálculo do valor de pico entre os condutores principais para um curto-circuito entre fases**

Num sistema trifásico ou monofásico, com os condutores principais de cada fase instalados a igual distância entre si, a força máxima que neles atua durante um curto-circuito entre fases é dada pela expressão 3.21:

$$F_{m2} = \frac{\mu_0}{2\pi} * i_p^2 * \frac{l}{d_m} \quad (3.21)$$

Sendo:

- $F_{m2}$  - Força eletromagnética desenvolvida devido a um curto-circuito entre fases [N];
- $\mu_0$  - Permeabilidade magnética do vázio -  $4\pi * 10^{-7} H/m$ ;
- $i_p$  - Corrente de pico do curto-circuito [A];
- $l$  - Distância entre apoios consecutivos da barra [cm];
- $d_m$  - Distância entre barras [cm].

### **Cálculo do valor de pico entre os sub-condutores de fase**

No caso de existir mais do que uma barra por fase, a força máxima exercida durante um defeito entre barras adjacentes é dada pela expressão 3.21:

$$F_{m2} = \frac{\mu_0}{2\pi} * \frac{i_p^2}{n} * \frac{l_s}{d_s} \quad (3.22)$$

Sendo:

- $F_S$  - Força eletromagnética desenvolvida devido a um curto-circuito entre barras secundárias adjacentes  $[N]$ ;
- $\mu_0$  - Permeabilidade magnética do vácuo -  $4\pi * 10^{-7} H/m$ ;
- $i_p$  - Corrente de pico do curto-circuito  $[A]$ ;
- $l_s$  - Distância máxima entre apoios consecutivos da barra  $[cm]$ ;
- $d_s$  - Distância entre barras  $[cm]$ ;
- $n$  - Número de sub-condutores por fase.

### 3.1.3.3 Distância efectiva entre condutores

As forças entre condutores durante um curto-circuito dependem da distribuição geométrica das barras e do perfil das mesmas. Assim, a distância efetiva entre barras deve ser determinada tendo em conta estes fatores, de acordo com as fórmulas que se apresentam de seguida.

#### Barras principais

A distância efetiva entre barras principais, quando existe uma ou mais barras por fase é dada pela expressão 3.23

$$d_m = \frac{d}{k_{12}} \quad (3.23)$$

Sendo  $d$  a distância medida entre barras e o parâmetro  $k_{12}$  obtido através da figura 3.7.

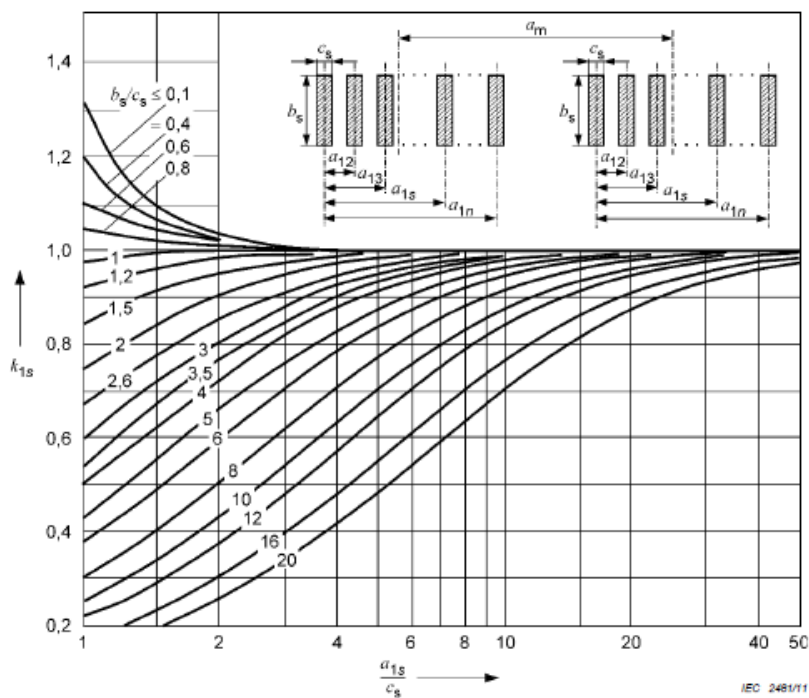


Figura 3.7: Fator  $k_{12}$  para cálculo da distância efetiva [3]

### Barras secundárias

A distância efetiva entre  $n$  barras secundárias da mesma fase é dada pela equação 3.24:

$$\frac{1}{d_s} = \frac{K_{12}}{d_{12}} + \frac{K_{13}}{d_{13}} + \frac{K_{14}}{d_{14}} + \dots + \frac{K_{1n}}{d_{1n}} \quad (3.24)$$

Onde o parâmetro  $k_{1n}$  é obtido graficamente pela figura 3.7 e o parâmetro  $d_{1n}$  é a distância medida do barramento  $n$  ao barramento principal, como se pode ver na mesma figura.

#### 3.1.3.4 Cálculo dos esforços nas barras

Serão neste ponto determinados os esforços desenvolvidos nas barras aquando de um curto-circuito. Serão feitos cálculos para os casos em que existe apenas uma barra por cada fase, e cálculos para quando existem várias barras por fase.

**Cálculo dos esforços**

Através da equação 3.25 serão então calculados os esforços a que a barra poderá estar sujeita.

$$\sigma_{m,d} = V_{\sigma m} * V_{rm} * \beta * \frac{F_m * l}{8 * W_m} \quad (3.25)$$

Onde:

- $F_m$  - Força eletromagnética exercida aquando de um curto-circuito [N];
- $W_m$  - Módulo da secção do condutor principal, calculado de acordo com a direção das forças que atuam entre os condutores principais [ $m^3$ ];
- $V_{\sigma m} * V_{rm}$  - Fator que reflete os fenómenos dinâmicos São determinados pelo Anexo A.4;
- $\beta$  - Fator dependente do tipo e número de apoios - Anexo A.5;

**Determinação do módulo da secção**

O módulo da secção,  $W_m$ , é determinado através da expressão 3.26

$$W_m = W_S = \frac{J}{\frac{d}{2}} \quad (3.26)$$

Onde:

- $d$  - Distância entre apoios [m];
- $J$  - Momento de Inércia [ $m^4$ ].

**Momento de Inércia**

O momento de inércia,  $J$ , é determinado através da expressão 3.27

$$J = \frac{b + d^3}{12} \quad (3.27)$$

Onde:

- $J$  - Momento de inércia da barra [ $m^4$ ];
- $b$  - Espessura da barra [m];
- $d$  - Distância máxima entre apoios consecutivos da barra [m].

Caso exista mais do que uma barra por fase, o esforço desenvolvido nas barras secundárias é dado pela expressão 3.28:

$$\sigma_{s,d} = V_{\sigma s} * V_{rs} \frac{F_s * l_s}{16 * W_s} \quad (3.28)$$

Onde:

- $F_s$  - Força eletromagnética exercida aquando de um curto-circuito, em barras secundárias [N];
- $W_s$  - Módulo da secção do condutor principal, calculado de acordo com a direção das forças que atuam entre os condutores principais [ $m^3$ ]
- $V_{\sigma s} * V_{rs}$  - Fator que reflete os fenómenos dinâmicos São determinados pelo anexo A.4

### Máximo esforço permitido

As barras condutoras são consideradas aptas a suportarem os esforços desenvolvidos pelos curto-circuitos se as condições que se apresentam de seguida forem verificadas.

#### Um condutor por fase

Para os casos em que existe apenas um condutor por fase deve cumprir-se a condição 3.29:

$$\sigma_{m,d} \leq q * f_y \quad (3.29)$$

Onde:

- $f_y$  - Esforço correspondente ao limite mínimo de estabilidade do material de que é feita a barra;
- $q$  - Fator que reflete o perfil do condutor usado, pode ser consultado no anexo A.6.

#### Vários condutores por fase

Para os casos em que existe mais do que um condutor por fase o esforço total é dado pela equação 3.30:

$$\sigma_{tot,d} = \sigma_{m,d} + \sigma_{s,d} \quad (3.30)$$

Sendo garantida a adequação da barra cumprindo a condição 3.31:

$$\sigma_{tot,d} \leq q * f_y \quad (3.31)$$

Cumprida esta condição garante-se que o condutor principal e os condutores adjacentes, da mesma fase, conseguem suportar os esforços eletrodinâmicos impostos pelas correntes de curto-circuito a que estão sujeitos.

#### **Força de Flexão sobre os suportes**

O ultimo ponto de verificação consiste na determinação da força de flexão exercida pelas barras nos apoios, através da expressão 3.32:

$$F_d = V_F * V_r * \alpha * F_e \quad (3.32)$$

Onde:

- $V_F * V_r$  - Fator que reflete os fenómenos dinâmicos, obtido pelo anexo A.4;
- $\alpha$  - Fator que reflete o tipo de suportes existente, obtido pelo anexo A.5.
- $F_e$  - Força eletromagnética exercida no barramento aquando de um curto-circuito [N].

### **3.2 Dimensionamento do cabo de alimentação**

Nesta secção será apresentada a formulação matemática com vista ao dimensionamento do cabo de ligação entre a fonte de alimentação em regime normal dos serviços auxiliares (transformador de serviços auxiliares, posto de transformação aéreo ou normabloco) e o quadro geral de corrente alternada (QGCA).

Quando se pretende dimensionar uma canalização elétrica, a condição mínima a ser cumprida será determinar-se a menor secção de cabo que satisfaça as condições técnicas regulamentares.

O dimensionamento da canalização pode ainda ser feito tendo em conta critérios económicos, o que poderá conduzir a uma secção superior, e consequentemente a proteções de maior calibre, mas cuja diminuição de perdas possa levar a que, em termos de investimento, seja mais vantajoso. Por neste trabalho se tratarem de instalações da RNT-E, e atendendo à importância que este tipo de instalação tem no sistema elétrico nacional, optou-se por fazer o dimensionamento apenas tendo em conta as condições regulamentares de segurança, garantindo a adequação dos cabos e respetivas proteções, e não considerar os critérios económicos. [4] [25]

O dimensionamento de canalizações elétricas passa então pela verificação das condições que se apresentam de seguida.

### 3.2.1 Cálculo da Corrente de serviço

Para se conseguir efetuar o dimensionamento da canalização elétrica, será em primeiro lugar necessário que se determine o valor eficaz da corrente, em regime de carga nominal, da instalação. No caso particular deste trabalho, e por se tratarem de instalações de serviços essenciais à normal operação da RNT-E e por imposições da concessionária, não serão considerados fatores de simultaneidade, isto é, o cálculo será feito para o valor da corrente nominal da maior fonte de alimentação da rede BT da instalação, Transformador de serviços auxiliares, Normabloco ou Posto de Transformação Aéreo, com vista a garantir que as canalizações estão dimensionadas para a máxima potência a que poderão estar sujeitas. Esta posição foi tomada para que, num caso extremo, toda a potência instalada numa dada instalação possa ser usada em simultâneo.

A corrente de serviço,  $I_s$ , à tensão nominal, corresponderá à corrente nominal do transformador que será dada pela equação 3.33 [26]

$$I_s = \frac{S_N}{U_N * \sqrt{3}} \quad (3.33)$$

Onde:

- $I_s$  - Corrente de serviço [A];
- $S_N$  - Potência aparente nominal de alimentação da instalação [VA];
- $U_N$  - Tensão nominal da instalação [V].

Devido à proximidade com outras canalizações e à influência da temperatura exterior, a corrente de base deve ser corrigida aplicando fatores corretivos, impostos pela REN, de 0.89 e 0.75 para temperatura e proximidade, respectivamente.

Assim a corrente de serviço corrigida,  $I_{sc}$ , terá o valor calculado através da expressão 3.34

$$I_{sc} = \frac{I_s}{0.89 * 0.75} \quad (3.34)$$

### 3.2.2 Condição de Aquecimento

A condição de aquecimento visa garantir que se escolhe uma secção de cabo para a qual a corrente máxima admissível em regime permanente tenha um valor igual ou superior à corrente de serviço corrigida calculada pela expressão 3.34. Assim, é garantido que o cabo escolhido suporta eventuais sobrecargas devido à temperatura e a cabos na proximidade, além da corrente de serviço. A condição a ser cumprida é dada pela expressão 3.35: [27] [22]

$$I_{sc} \leq I_Z \quad (3.35)$$

Onde:

- $I_{sc}$  - Corrente de serviço corrigida [A];
- $I_Z$  - Valor eficaz máximo da corrente, em regime permanente, que o condutor pode suportar.

O valor de  $I_Z$  depende de vários fatores, são eles: [22] [4]

- Tipo de material condutor (Alumínio ou Cobre);
- Tipo de material isolante (PVC, PEX,...);
- Secção dos condutores;
- Condição de montagem (Ao ar, enterrado, em conduta,...)
- Temperatura ambiente da vizinhança;
- Proximidade a outros condutores.

Em algumas situações é necessário usar-se múltiplos cabos por fase, nestes casos, a corrente de serviço será dividida pelo número de condutores por fase, sendo assim necessários  $n$  cabos de menor secção. Este tipo de solução utiliza-se em situações cuja corrente máxima por fase levaria a usar-se condutores com secções elevadas, o que iria dificultar a sua implementação, e em termos económicos também se poderia tornar menos viável. Nestes casos, a condição a seguir deverá ser a apresentada na expressão: 3.36

$$\frac{I_{sc}}{n} \leq I_Z \quad (3.36)$$

Onde:

- $n$  - número de condutores por fase.

Tendo conhecimento de todos estes fatores, é então possível consultar as tabelas normalizadas de intensidades máximas admissíveis em regime permanente para cada secção e dependente do tipo de cabo. No anexo A.7 pode consultar-se o exemplo de uma tabela de correntes máximas admissíveis, para cabos do tipo VHV instalados ao ar.

### 3.2.3 Condição de Sobrecarga

Os circuitos de energia elétrica podem, por diversas razões, estar sujeitos a condições anormais de funcionamento, o que leva a que o valor veiculado de corrente nos condutores seja superior ao valor para o qual os mesmos foram dimensionados.

Às elevações de corrente acima do valor da corrente de serviço dá-se o nome de sobreintensidade, por sua vez, uma sobreintensidade pode ser subdividida em dois tipos, sobrecargas e curto-circuitos.

As sobrecargas correspondem a sobrelevações pequenas em relação à corrente de serviço, e ocorrem quando a carga ligada no circuito ultrapassa os valores estipulados, por se tratarem de sobrelevações pequenas, o circuito poderá aguentá-las durante um certo período de tempo sem que haja consequências, pelo que, só quando estas se prolongam no tempo é que as proteções devem atuar para eliminar a mesma.

Já no caso dos curto-circuitos, a corrente que flui nos condutores atinge valores bastante elevados, que podem causar danos significativos na instalação, neste caso, as proteções devem atuar o mais rápido possível para mitigar o defeito, e desta forma, preservar a integridade da instalação.

A condição de sobrecarga visa, portanto, verificar se a proteção atua em casos de sobreintensidade, ao fim de algum tempo e o mais rápido possível em caso de curto-circuito. [2] [4]

As condições a serem verificadas são as seguintes, apresentadas nas fórmulas 3.37 e 3.38 : [22]

$$I_s \leq I_n \leq I_Z \quad (3.37)$$

$$I_f \leq 1.30 * I_Z \quad (3.38)$$

Onde:

- $I_s$  - Corrente de serviço;
- $I_n$  ou  $I_r$  - Intensidade de corrente nominal ou de regulação;
- $I_Z$  - Corrente máxima admissível do cabo;
- $I_f$  - Corrente convencional de funcionamento da proteção.

Estas condições estão expressas em forma de diagrama na figura:

A condição expressa na expressão 3.37, visa garantir que se deteta corretamente situações anómalas, cuja corrente que flui na canalização é superior à intensidade da corrente de serviço, e que não atua para o regime de funcionamento correspondente à corrente de serviço. Relembra-se que  $I_n$  corresponde ao valor da corrente que o disjuntor pode suportar em regime permanente, sem atuar. É preciso no entanto ter em conta que,  $I_n$  não deverá exceder o valor da corrente máxima admissível pelo cabo, sob pena de não detetar defeitos causadores de danos no condutor.

Na condição expressa pela expressão 3.38 consideram-se situações em que a corrente veiculada pela canalização é 45% superior à corrente máxima admissível pelo cabo, para estes casos

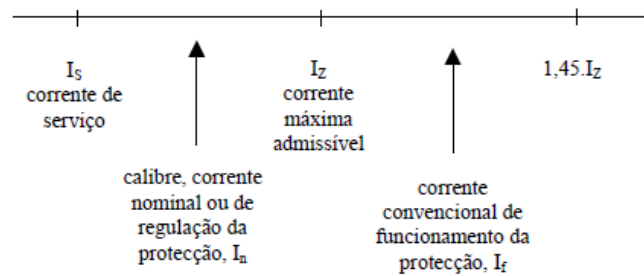


Figura 3.8: Características dos aparelhos de proteção contra sobrecargas [4]

deve garantir-se que o disjuntor atua num intervalo de tempo o mais curto possível por forma a garantir a integridade da instalação. [7]

No caso das instalações em análise serão usados disjuntores com regulação, pelo que os parâmetros para esta condição poderão ser regulados no próprio disjuntor, devendo por isso, garantir-se que eles se encontram com a regulação adequada e que respeite as condições. Tais regulações são explicitadas no ponto 3.3 do presente trabalho.

### 3.2.4 Condição de Queda de Tensão

A tensão disponível, em qualquer zona de uma instalação elétrica, deve permitir que todas as cargas a ela ligadas funcionem dentro dos parâmetros estipulados, assim, a queda de tensão introduzida pela canalização dimensionada não deve exceder determinados valores estipulados. [5] [15]

Nas instalações da RNT-E, por imposição da concessionária REN, o valor da queda de tensão não pode exceder os 3% da tensão estipulada para a instalação, sendo a tensão estipulada para as instalações de baixa tensão de 400V, tensão composta, então o valor da queda de tensão na canalização não deve exceder os 12V. [5]

Devido às dimensões reduzidas das canalizações de BT, a componente capacitiva das perdas é desprezada, sendo as tensões em jogo representadas no diagrama da figura 3.9:

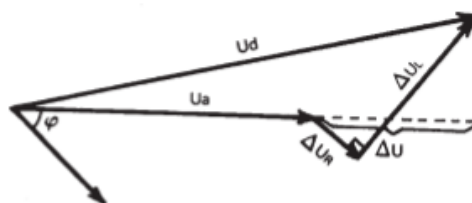


Figura 3.9: Diagrama fasorial das tensões existentes numa canalização elétrica [5]

Onde:

- $U_a$  - Tensão na origem da alimentação;
- $U_d$  - Tensão no ponto de utilização;
- $\Delta U_R$  - Queda de tensão resistiva;
- $\Delta U_L$  - Queda de tensão indutiva;
- $\cos\phi$  - Fator de potência da carga.

Numa primeira aproximação, surge a equação 3.39: [5]

$$\Delta U = \Delta U_R * \cos\phi + \Delta U_L * \sin\phi \quad (3.39)$$

Substituindo  $\Delta U_R$  e  $\Delta U_L$ , com recurso à lei de Ohm, temos para instalações de corrente alternada trifásica a equação 3.40 que nos permite obter o valor da queda de tensão: [5]

$$\Delta U = \sqrt{3} * l * \frac{I_s}{n} * (R * \cos\phi + L * 2 * \pi * f * \sin\phi) \quad (3.40)$$

Onde:

- $\Delta U$  - Queda de tensão em tensão composta [V];
- $l$  - Comprimento da canalização [km];
- $I_s$  - Corrente de serviço [A];
- $n$  - número de condutores por fase;
- $R$  - Resistência aparente de um condutor, em função da secção [ $\Omega/km$ ];
- $L$  - Indutância aparente de um condutor, em função da secção [ $H/km$ ];
- $f$  - frequência da rede [Hz];
- $\phi$  - Desfasamento introduzido, entre a corrente e a tensão pelo condutor [°].

### 3.3 Disjuntores

Os circuitos de alimentação dos serviços auxiliares das instalações da RNT-E estão protegidos por disjuntores em dois esquemas distintos: apenas à saída da alimentação ou em ambos os extremos do cabo. Nos casos em que existe apenas um disjuntor, este encontra-se à saída da fonte de alimentação, sendo que no QGCA se encontra apenas um interruptor. Os disjuntores usados nas instalações da RNT-E são modulares e parametrizáveis.

Nesta secção serão analisados os diversos parâmetros que podem ser configurados no disjuntor, por forma a garantir a proteção das canalizações elétricas e seletividade entre proteções.

### 3.3.1 Regime de proteção de neutro

O regime de proteção de neutro poderá ser parametrizado de acordo com as configurações seguintes:

- 4P3D - Disjuntor de 4 pólos e 3 fase com proteção e neutro sem proteção;
- 4P4D - Disjuntor de 4 pólos e 3 fases e neutro com proteção de valor igual à proteção de fase;
- 4P3D + N/2 - Disjuntor de 4 pólos, 3 fases com proteção e o neutro com metade do valor nominal da proteção de fase. [28]

### 3.3.2 Corrente Nominal

Os disjuntores possuem um valor estipulado para a corrente nominal,  $I_n$ , no entanto em alguns modelos é possível fazer-se variar este valor, para que o mesmo se adeque à instalação onde for instalado, nestes casos o valor nominal do disjuntor passará a ser o parâmetro,  $I_0$  múltiplo de  $I_n$ .

### 3.3.3 Corrente Máxima Admissível em Regime Permanente

A corrente máxima admissível em regime permanente,  $I_r$ , define o valor de corrente que o disjuntor suporta, em regime permanente, sem que aconteça disparo do mesmo. O valor de  $I_r$  é uma percentagem do valor nominal do disjuntor, tal como se mostra na expressão 3.41: [6]

$$I_r = \%I_n \quad (3.41)$$

Esta variação é traduzida graficamente na figura 3.10, para o caso de um disjuntor com variação entre 20% e 100% da corrente nominal.

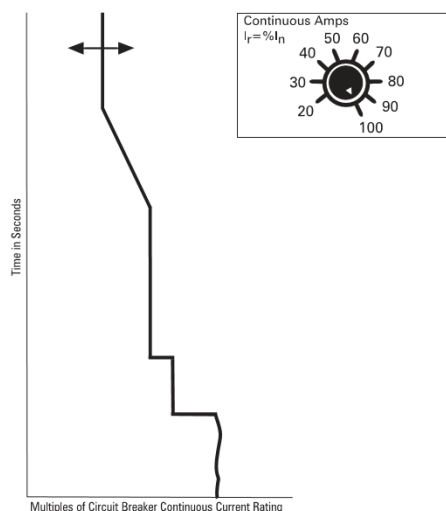


Figura 3.10: Corrente admissível em regime permanente –  $I_r$  [6]

### 3.3.4 Tempo de Atuação à sobrecarga

O tempo de atuação à sobrecarga ou atraso de longa duração,  $t_r$ , permite que se defina um tempo de atuação para quando a corrente ultrapassa em  $x$  vezes o valor de  $I_r$ . Isto permite que em caso de sobrecargas de curta duração, como o caso do arranque de um motor, o disjuntor não atue de imediato, atuando só ao fim do tempo definido pelo parâmetro.

Como é possível observar na figura 3.11, para uma gama de valores entre 2.2 e 27 segundos, este parâmetro altera a inclinação  $I^2t$  assim, níveis mais baixos de corrente permitirão que o disjuntor permaneça sem disparar por longos períodos de tempo. [6]

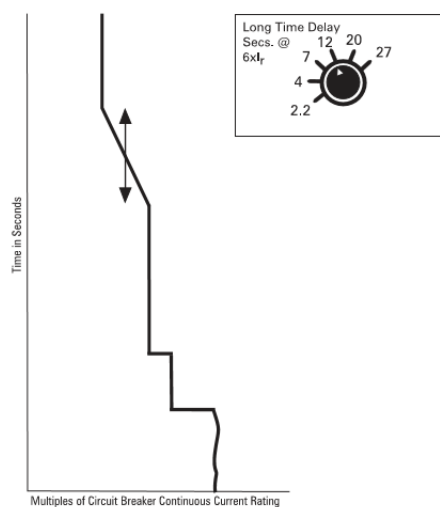


Figura 3.11: Tempo de atuação à sobrecarga -  $t_r$  [6]

### 3.3.5 Proteção ao curto-circuito

A proteção ao curto-circuito ou sobrecarga de curta duração,  $I_{st}$ , permite que se parametrize o disjuntor, para que, em caso de curto-circuito, deixe passar uma determinada corrente durante um curto período de tempo, para que, um disjuntor a jusante elimine o defeito sem disparar o disjuntor a montante. Na figura 3.12 é apresentado o gráfico que demonstra a influência da proteção ao curto-circuito. [6]

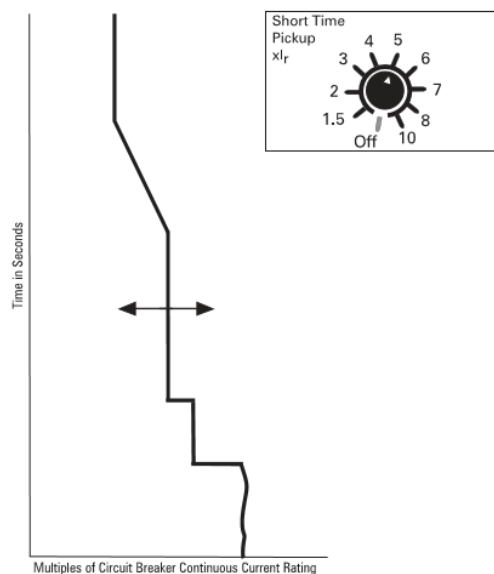


Figura 3.12: Proteção ao curto-circuito -  $I_{st}$  [6]

### 3.3.6 Tempo de atuação ao curto-circuito

O tempo de atuação ao curto-circuito ou atraso de curta duração,  $t_{st}$ , usado em conjunto com a proteção ao curto-circuito, controla o tempo que a proteção demora a atuar aquando de um curto-circuito.

Esta parametrização pode ser ajustada de duas formas distintas, por uma reta de tempo fixo, ou uma rampa  $I^2t$ . Este parâmetro permite uma melhor coordenação com disjuntores que possuam relés termomagnéticos a jusante. [6]

As zonas de atuação deste parâmetro, são apresentadas na figura 3.13:

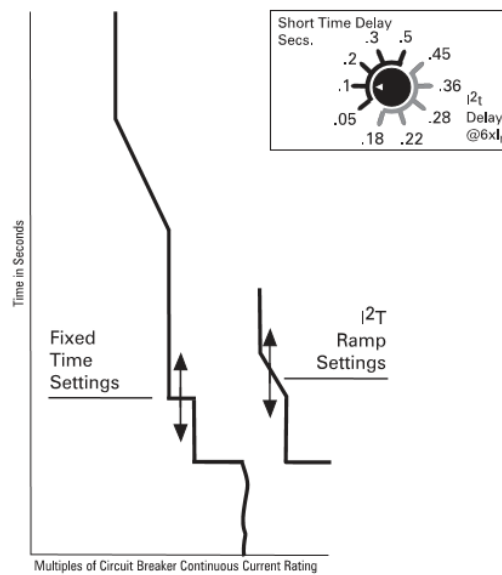


Figura 3.13: Tempo de atuação ao curto-circuito -  $t_{st}$  [6]

### 3.3.7 Proteção instantânea

A proteção instantânea,  $I_{sd}$ , é usada para fazer o disjuntor atuar imediatamente quando a intensidade de corrente veiculada, excede um determinado valor definido neste parâmetro. Esta parametrização é feita multiplicando o valor da corrente admissível em regime permanente,  $I_r$  por um fator, tal como se demonstra na equação 3.42. [6]

$$I_{st} = I_r * parametro \quad (3.42)$$

Na figura 3.14 é possível observar a zona de atuação para este parâmetro.

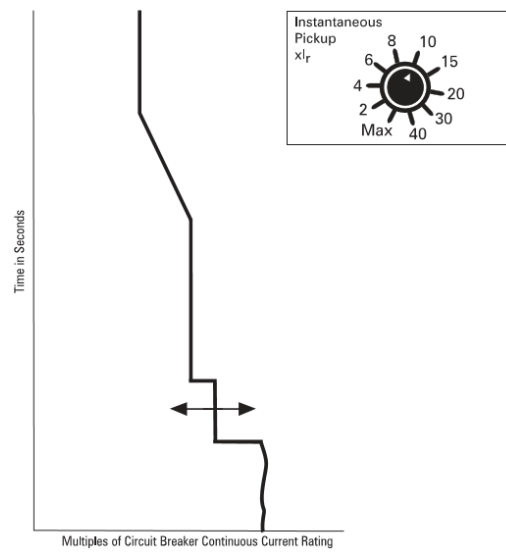


Figura 3.14: Proteção Instantânea -  $I_{sd}$  [6]

### 3.3.8 Tempo de Atuação Instantâneo

O parâmetro tempo de atuação instantâneo,  $t_{sd}$ , permite que se defina o tempo que o disjuntor levará a atuar, quando o valor definido para a proteção instantânea for atingido. [6]

A influência deste parâmetro na curva de atuação do disjuntor é apresentada na figura 3.15

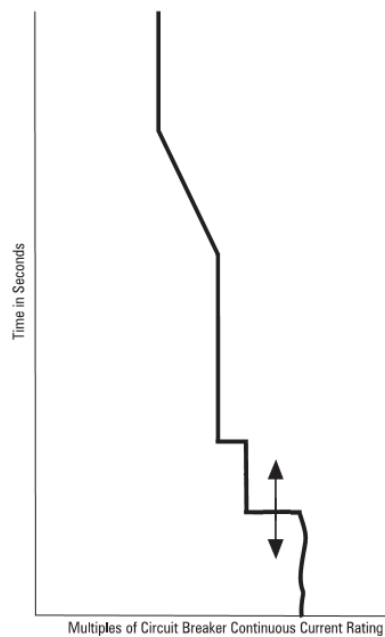


Figura 3.15: Tempo de atuação instantâneo -  $t_{sd}$  [6]

### 3.4 Esquemas de ligação à terra

O esquema de ligação à terra define o modo como é implementada a rede de terras da instalação. Estes esquemas são definidos de acordo com a nomenclatura que de seguida se apresenta.

- 1ª letra - Condições de ligação à terra da fonte geradora
  - T – Ligação de um ponto diretamente à terra;
  - I – Todas as partes ativas isoladas da terra ou ligadas através de uma impedância entre um ponto e a terra;
- 2ª letra – Condições de ligação à terra da fonte geradora
  - T – Aparelho ligado diretamente à terra, independentemente do facto de estar ligado à terra um ponto da fonte geradora;
  - N – Aparelho ligado diretamente à terra do sistema, no ponto de neutro.
- Outras letras complementares
  - S – Função de Neutro e de proteções garantidas por condutores distintos (condutor neutro (N) e de proteção elétrica (PE));
  - C- Função de neutro e de proteção combinadas num único condutor (condutor de proteção elétrica e neutro (PEN)).

Partindo deste esquema de letras, existem os esquemas de ligação à terra que de seguida se apresentam. [7]

#### 3.4.1 Esquema TN

O esquema TN tem um ponto ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação ligadas a esse ponto por meio de condutores de proteção. Num esquema TN, qualquer corrente de defeito fase-massa origina uma corrente de curto-circuito. [7]

Existem 3 tipos de esquemas TN possíveis, são eles:

##### 3.4.1.1 Esquema TN-S

Neste esquema o condutor de proteção elétrica é utilizado em toda a instalação de forma separada do condutor neutro. O diagrama do circuito que demonstra este esquema de ligação à terra é o apresentado na figura 3.16

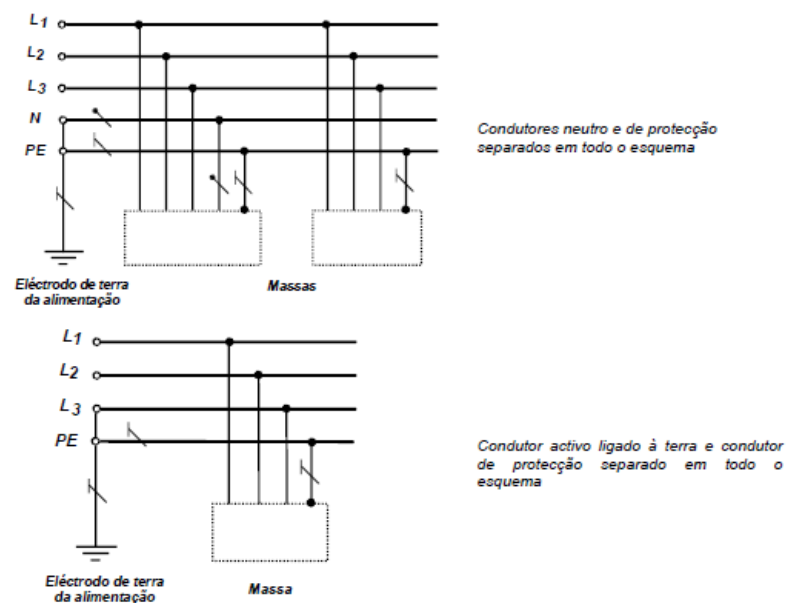


Figura 3.16: Esquema de ligação à terra TN-S em corrente alternada [7]

#### 3.4.1.2 Esquema TN-C

No esquema TN-C as funções do condutor de neutro e do condutor de proteção elétrica estão combinados num único condutor em todo o circuito elétrico da instalação. O diagrama do circuito para este esquema de ligação à terra está representado na figura 3.17

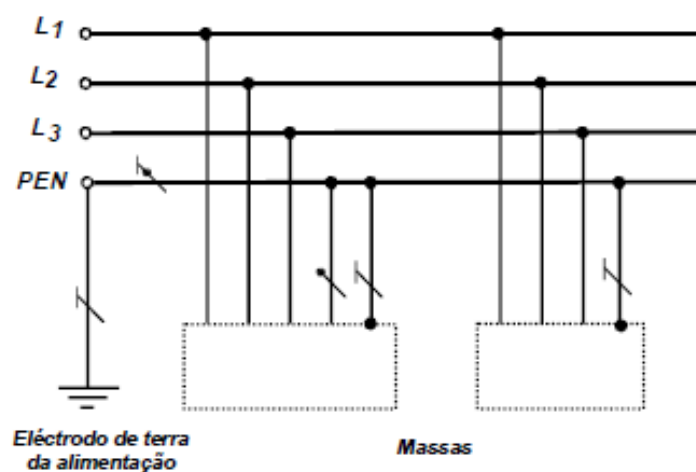


Figura 3.17: Esquema de ligação à terra TN-C em corrente alternada [7]

### 3.4.1.3 Esquema TN-C-S

No esquema TN-C-S, tal como a própria designação sugere, as funções de neutro e de proteção estão combinadas num único condutor apenas numa parte do circuito, sendo que no restante circuito a função de neutro e de proteção elétrica se encontram separados. O diagrama para este esquema de ligação de terras apresenta-se na figura 3.18

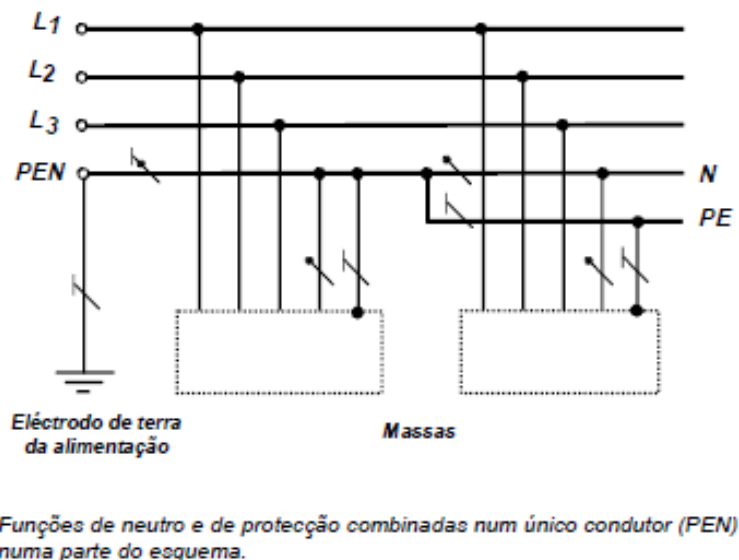


Figura 3.18: Esquema de ligação à terra TN-C-S em corrente alternada [7]

### 3.4.1.4 Comportamento em caso de defeito

Em caso de defeito fase-massa, estabelece-se uma corrente de curto-circuito através de uma malha que é constituída, exclusivamente, por elementos ligados galvânicamente entre si (condutores ativos e de proteção elétrica). Esta corrente será detetada e cortada pelos dispositivos de proteção contra sobreintensidades da instalação. [29]

## 3.4.2 Esquema TT

No esquema de ligação à terra do tipo TT existe um ponto da alimentação ligado diretamente à terra, sendo as massas da instalação elétrica ligadas a um ou mais eléktrodo de terra distintos do eléktrodo de terra da alimentação. Neste tipo de esquema a corrente de defeito fase-massa tem uma intensidade inferior à corrente de curto-circuito, podendo, no entanto, ser suficiente para provocar o aparecimento de tensões perigosas nas massas. [7]

Para este tipo de esquema existem duas variantes que se apresentam de seguida.

### 3.4.2.1 Esquema TT - Caso Geral

No caso geral do esquema TN considera-se a existência de um neutro distribuído na instalação, seguindo o circuito apresentado na figura 3.19.

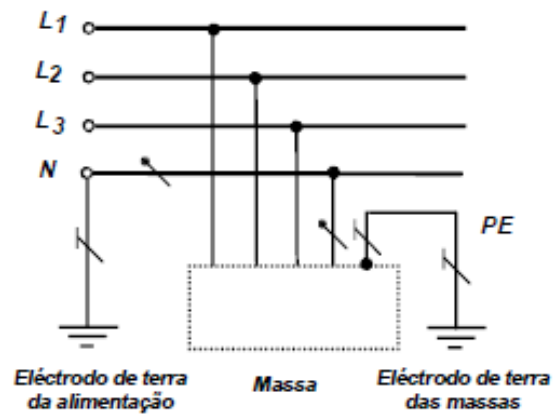


Figura 3.19: Esquema de ligação à terra TT, caso geral [7]

### 3.4.2.2 Esquema TT - Caso Particular

Na situação particular do esquema TT são usados eléctrodos de terra da alimentação e da instalação distintos, sendo que o neutro não é distribuído, tal como se apresenta no diagrama da figura 3.20. [7]

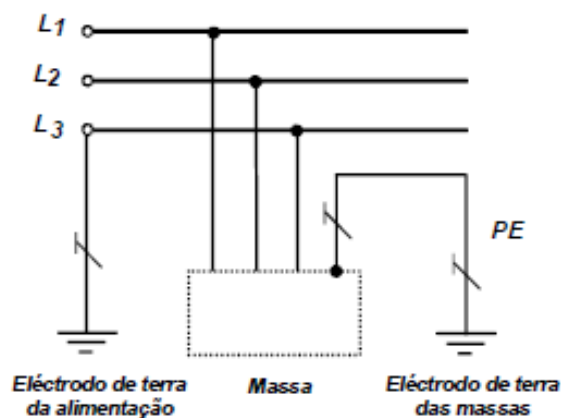


Figura 3.20: Esquema de ligação à terra TT, caso particular [7]

### 3.4.2.3 Comportamento em caso de defeito fase-massa

Caso ocorra um defeito num circuito com este esquema implementado, estabelece-se uma corrente de defeito através de uma malha que inclui a terra. Esta corrente assume, por norma, valores baixos, mas, no entanto, suficientes para provocar o aparecimento de tensões perigosas. Por se tratarem de correntes de defeito com valores baixos, estas não serão detetadas pelas proteções, sendo por isso necessário o uso de proteções diferenciais. [29]

### 3.4.3 Esquema IT

O esquema IT para redes de terras, consiste em colocar todas as partes ativas isoladas da terra, ou ligar um dos pontos destas à terra através de uma impedância.

Este tipo de esquema é usado apenas em casos especiais e de um modo limitado, e tem como principal vantagem a de a instalação permanecer em serviço após a ocorrência de um primeiro defeito. [7]

Existem duas variantes possíveis para este esquema, apresentadas de seguida.

#### 3.4.3.1 Esquema IT – com ponto de neutro

Este tipo de configuração neste esquema trás desvantagens uma vez que ao ser distribuído o neutro, quando houver um defeito à terra que afete o neutro, o esquema IT perde as suas vantagens.

Na figura 3.21 é possível observar a configuração com o neutro distribuído.

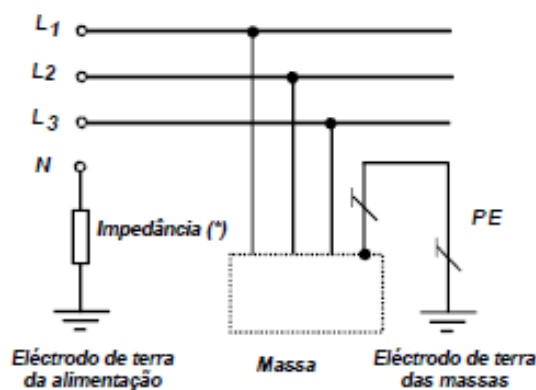


Figura 3.21: Esquema de ligação à terra IT, com ponto de neutro [7]

(\*) - O esquema pode ser isolado da terra

### 3.4.3.2 Esquema IT – sem neutro distribuído

Nesta configuração a instalação não dispõe de neutro distribuído, tal como se mostra no diagrama da figura 3.22

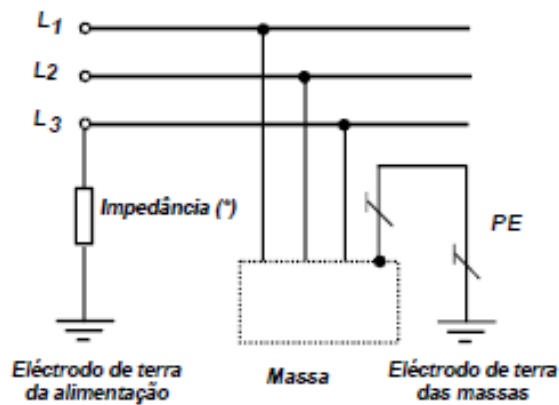


Figura 3.22: Esquema de ligação à terra IT, sem neutro distribuído [7]

(\*) - O esquema pode ser isolado da terra

### 3.4.3.3 Comportamento em caso de defeito

No caso de existir uma ligação impedante à terra, na alimentação, estabelece-se uma corrente de defeito, através de uma malha, que inclui a impedância introduzida e a terra.

Para o caso em que a alimentação está isolada em relação à terra, não existe corrente de defeito ou pode existir, mas sem significância uma vez que a malha de defeito se estabelece através da capacidade de fuga à terra da instalação.

Em ambos os casos apresentados acima, a corrente assume valores muito baixos não suficientes para que apareçam tensões de valores perigosos. [29]

### 3.5 Determinação da autonomia do grupo eletrogéneo de socorro

Tal como foi explanado no ponto 2.2.2.1 é necessário que se determine a autonomia do GES com o objetivo de perceber se a autonomia da instalação é igual ou superior a um dia em caso de "apagão".

Para se fazer a análise, são considerados os últimos 6 meses de consumo da instalação disponíveis e começa por se determinar o consumo diário médio para cada mês dividindo a potência consumida pelo numero de dias do mês, de acordo com a expressão 3.43.

$$Energia_{consumida/dia} = \frac{Energia_{consumida/mês}}{n^o \text{ dias}} \quad (3.43)$$

De seguida é determinada a média de energia diária consumida nos 6 meses, de acordo com a fórmula 3.46.

$$Energia_{mediadiária} = \frac{\sum_{i=1}^6 Energia_{consumida/dia-mesi}}{6} \quad (3.44)$$

Dividindo o valor obtido pela expressão 3.46 por 24h, obtém-se assim a potência consumida em média pela instalação, tal como se demonstra na expressão 3.46

$$Potência_{mediaconsumida} = \frac{Energia_{mediadiária}}{24} \quad (3.45)$$

Sabendo a potência consumida, em média, pela instalação, é possível determinar-se o nível de carga habitual a que o GES terá de funcionar.

$$Nível_{carga}[\%] = \frac{Potência_{mediaconsumida}}{Potência_{grupo}} \quad (3.46)$$

Sabendo o nível médio de carga do grupo, é possível consultar o anexo A.11 e verificar qual o consumo para um gerador com determinada potência, em  $[l/h]$  para um certo nível de carga.

Tal como se pode constatar no referido anexo, só se encontram disponíveis valores de consumo para certas frações de carga, assim, o valor obtido para o nível de carga do gerador deve ser majurado, considerando-se a fração de carga imediatamente acima da calculada.

Sendo conhecido o consumo do grupo em  $[l/h]$  e multiplicando por 24h, obtém-se o consumo em litros para um dia, tal como se demonstra na expressão 3.47

$$Consumo_{diário}[l] = Consumo/hora * 24h \quad (3.47)$$

Sabendo-se qual é o consumo diário do grupo, torna-se então possível determinar a sua autonomia em dias, horas e minutos.

$$dias = \lfloor \text{Consumo}_{diário} / \text{Potência}_{grupo} \rfloor \quad (3.48)$$

$$horas = \left( \frac{\text{Consumo}_{diário}}{\text{Potência}_{grupo}} - dias \right) * 24 \quad (3.49)$$

$$minutos = \left( \left( \frac{\text{Consumo}_{diário}}{\text{Potência}_{grupo}} - dias \right) - horas \right) * 60 \quad (3.50)$$

Nesta formulação são consideradas simplificações bastante significativas. Uma delas é considerar-se uma potência consumida constante durante todo o dia, o que num caso real não se verifica, uma vez que ao longo do dia existe uma variação na carga da instalação. Ao variar a carga também o consumo variará, e este é outro fator de simplificação considerado uma vez que só se considera um consumo constante no grupo. O facto de se majorar o nível de carga do grupo, para o valor mais próximo, acima da carga calculada do mesmo também é uma simplificação introduzida neste projeto.

Apesar de todas as simplificações e erros introduzidos neste processo, entendeu-se que para a determinação da autonomia do grupo esta seria uma forma aceitável de o fazer, tendo em conta os dados disponíveis tanto da carga do grupo como das tabelas de consumo. No entanto ressalva-se que, para autonomias muito próximas de 1 dia, tanto por defeito como por excesso, não devem ser considerados totalmente válidos, os valores obtidos, uma vez que a condição de autonomia pode ser considerada válida sem o ser ou vice-versa, nestes casos a autonomia do grupo deve ser de analisada de uma forma mais aprofundada caso a caso.

## 3.6 Índices de proteção de armários elétricos

Os quadros elétricos devem garantir a integridade do equipamento que no seu interior é instalado, devendo por isso garantir proteção mecânica, bem como a garantia de não entrada de corpos estranhos no seu interior. Estes fatores dependem da área onde são instalados os quadros, e a função que desempenham, e serão explicados de seguida nesta secção.

### 3.6.1 Índice de Proteção IP

Este índice reflete o grau de proteção assegurado pelo invólucro, quanto ao acesso a partes perigosas e à penetração de corpos sólidos e de água. [30]

A estrutura desde código, segue a organização apresentada pela figura 3.23

O preenchimento destes espaços é feito com recurso ao código apresentado no anexo A.9.

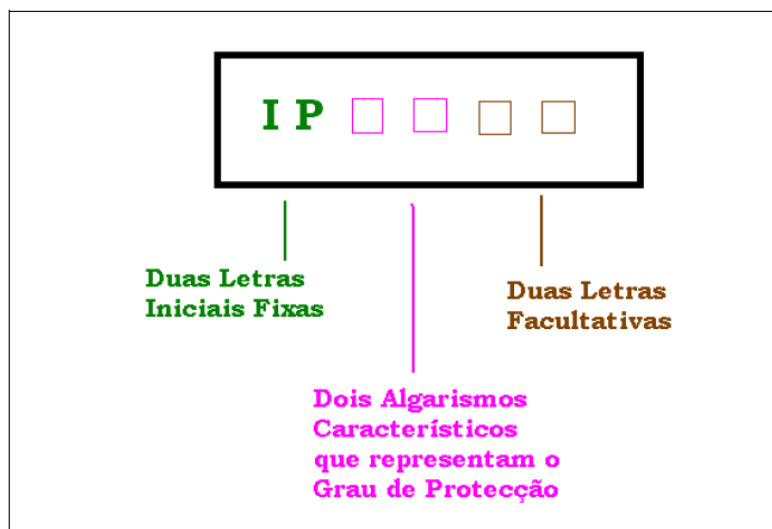


Figura 3.23: Estrutura do código de proteção IP [8]

Após análise do referido anexo, constata-se que, uma vez que o QGCA é instalado no interior de um edifício, não está sujeito a influência direta da chuva, nem se encontra instalado em atmosfera com poeiras, nem humidade. Apesar de apenas pessoal autorizado ter acesso a estes quadros, deve garantir-se que as partes ativas estão isoladas para que se evitem eventuais acidentes. Por tudo isto, considera-se que o grau de proteção do QGCA deve ser no mínimo de IP21.

### 3.6.2 Índice de Proteção IK

O índice de proteção IK reflete o grau de segurança do invólucro do quadro quanto a impactos mecânicos externos. [31]

A estrutura do código IK é o apresentado pela figura 3.24

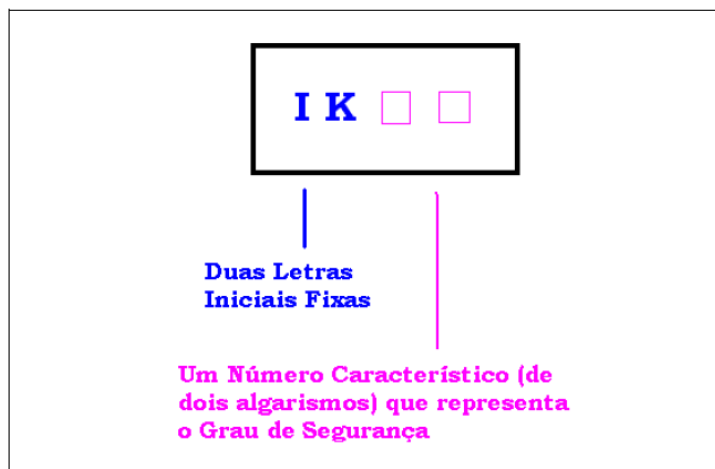


Figura 3.24: Estrutura do código de proteção IK [8]

A nomenclatura existente para classificação do código IK é a apresentada no anexo A.10.

O QGCA encontra-se instalado em edifícios de acesso restrito, e só são acedidos em situação de necessidade de manobras ou comando local de algum elemento existente no quadro, não estando sujeito ao trânsito de veículos ou outros elementos que possam causar danos de impacto no mesmo. Por isso, não se entende necessário que exista uma proteção IK nestes quadros.



## Capítulo 4

# Ferramenta desenvolvida

Neste capítulo é apresentada a ferramenta desenvolvida no âmbito deste trabalho, nomeadamente, a definição dos requisitos a cumprir pelos elementos em análise, a classificação desenvolvida para avaliar os mesmos, é apresentada a forma como a ferramenta está estruturada e, por fim, é apresentado um estudo de caso para aplicação da ferramenta.

Como já foi referido em diversos pontos deste documento, hoje em dia as subestações, postos de corte e postos de seccionamento da RNT-E, são espaços “abandonados”, em que na maioria do tempo não existem meios humanos no local, pelo que, todas as manobras e monitorizações são feitas à distância, pelo Centro de Operação de Rede (COR), através da rede de telecomunicações interna da RNT-E. Todos estes sistemas de comando e controlo à distância bem como os órgãos de corte e seccionamento AT e MAT, estão dependentes de alimentação em baixa tensão, seja de corrente alternada ou corrente contínua, e é necessário que a fiabilidade dos mesmos seja muito elevada.

A ferramenta desenvolvida e apresentada neste documento tem como objetivo fazer uma avaliação de conformidade de todos os componentes que fazem parte dos circuitos de alimentação dos serviços auxiliares, tanto em regime normal de funcionamento como em circuitos de alimentação de emergência no caso de falha no sistema permanente, com o objetivo de avaliar a conformidade dos mesmos e garantir que estão adequados às funções que desempenham, bem como o dimensionamento e parametrizações é adequado.

Esta ferramenta foi desenvolvida recorrendo-se a um livro criado no *software* EXCEL<sup>®</sup>, em que foram introduzidos todos os parâmetros que, previamente estudados, se entendeu necessário que fossem avaliados. Dentro deste livro foi então criada uma folha para análise individual a cada tipo de circuito mediante a instalação em análise.

Esta ferramenta permitirá então que se crie um ficheiro para cada instalação da RNT-E, onde será reunida toda a informação relativa à mesma, e seja feita a análise de conformidade dos circuitos de alimentação dos serviços auxiliares. Após todos os dados recolhidos e analisados, estarão disponíveis diagramas circulares que permitem a fácil interpretação dos dados de uma forma rápida e intuitiva, para que se perceba o panorama geral da instalação.

A análise desenvolvida considera então os seguintes elementos da instalação:

- Sistemas de alimentação em regime permanente:
  - Transformador de Serviços Auxiliares (TSA);
  - Normabloco (NB);
  - Posto de Transformação aéreo (PTA).
- Sistemas de alimentação em situação de emergência:
  - Grupo Eletrogéneo de Socorro (GES).
- Quadro Geral de Corrente Alternada (QGCA)
  - Barramentos de 400V;

## 4.1 Requisitos a cumprir

Para averiguar a conformidade dos elementos em análise, considerou-se, sempre que exista, a especificação técnica da empresa concessionária da RNT-E como condição a ser cumprida. No caso de não existir uma especificação técnica aplicável para um elemento da instalação ou existir, mas for omissa em alguns pontos, foram feitos cálculos de verificação ou consultadas normas ou documentos legislativos aplicáveis, de forma a verificar se o circuito e os seus equipamentos estão conformes.

## 4.2 Critérios de análise

Para que seja possível perceber qual o real estado dos equipamentos, foi definida uma classificação para se avaliar os componentes, de acordo com a nomenclatura que de seguida se apresenta.

### 4.2.1 Avaliação - Sem informação

Sempre que há incertezas sobre se um dado equipamento existe ou os seus parâmetros são invisíveis ou impercetíveis, o componente é classificado como "sem informação", pelo que estes casos devem ser avaliados localmente de forma a se averiguar qual o estado do mesmo.

### 4.2.2 Avaliação - OK

Uma avaliação "OK" para um equipamento ou circuito, significa que todas as condições estão corretamente verificadas, o equipamento está bem dimensionado e não existe qualquer necessidade de intervenção.

### 4.2.3 Avaliação - NOK

Uma avaliação “NOK” indica que o componente da instalação em análise revela falhas que carecem de uma análise cuidada.

- Prioridade 1:

Este é o nível de prioridade de intervenção mais grave, isto é, será necessário fazer uma intervenção imediata ao equipamento, uma vez que o mesmo viola as especificações REN, normas/leis em vigor ou se encontra mal dimensionado colocando em risco a instalação.

- Prioridade 2:

Este é um nível de prioridade intermédio, quando um equipamento não cumpre os requisitos, ainda não coloca em perigo a segurança de pessoas e bens, nem coloca em risco a alimentação da instalação, mas a médio/longo prazo pode vir a tornar-se um problema de prioridade 1. Requer uma manutenção em curto/médio prazo que poderá ser programada para uma ação de manutenção a realizar no futuro.

- Prioridade 3:

Este nível de prioridade de intervenção é o mais baixo, aplica-se a situações simples que não têm influência no normal funcionamento da instalação, nem coloca em causa a segurança de pessoas e bens. Neste tipo de prioridade, será agendada uma intervenção a programar em futuras ações de remodelação da instalação, onde seja feita uma intervenção profunda na mesma.

## 4.3 Estrutura da ferramenta

A ferramenta desenvolvida está dividida em páginas relativas aos diversos componentes, com a divisão que se apresenta de seguida:

- Página Inicial;
- Transformador de Serviços Auxiliares;
- Normabloco;
- Posto de Transformação Aéreo;
- Grupo Eletrogéneo de Socorro;
- Dimensionamento e Verificação dos barramentos do QGCA;
- Relatório;
- Análise Gráfica.

### 4.3.1 Página Inicial

Nesta primeira folha da ferramenta estará uma página de rosto com as informações relativas à empresa, à ferramenta e à instalação em análise.

No Anexo B.1 é possível consultar uma imagem com a apresentação geral desta página.

De seguida é apresentada uma análise de todos os elementos que constituem a página inicial.

#### 4.3.1.1 Dados da Instalação

Nas caixas de texto relativas aos dados da instalação, que se apresentam na figura 4.1 o utilizador terá que introduzir o tipo de instalação (subestação, posto de corte ou posto de seccionamento) e o nome da mesma, sendo que a sigla correspondente aparecerá automaticamente.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Tipo de instalação:</b> |  |
| <b>Nome da instalação:</b> |  |
| <b>Sigla da Instalação</b> |  |

Figura 4.1: Página inicial - Introdução de dados da instalação

#### 4.3.1.2 Menu de Seleção

Existe uma zona de menu, onde o utilizador pode escolher a página a que pretende aceder. Este menu encontra-se dividido em duas secções uma em que é possível aceder às páginas relativas à introdução da informação para análise, e uma outra onde é possível consultar a zona de cálculos e resultados para análise final.

Este menu está apresentado na figura 4.2.

| <b>Informação recolhida no inquérito</b> | <b>Análise</b>                       |
|------------------------------------------|--------------------------------------|
| Transformador de Serviços Auxiliares     | Verificação barras 400V (manual BBC) |
| Grupo de Socorro                         | Verificação barras 400V (IEC60865)   |
| Normabloc                                | Parametrizações Existentes           |
| Posto de transformação aéreo             | Relatório Geral                      |
| Quadro Geral de Corrente Alterna         | Análise Gráfica                      |

Figura 4.2: Página inicial - Menu de seleção de páginas



#### 4.3.2.1 Descarregador de sobretensões

Neste parâmetro é colocada uma primeira questão onde se averigua se existe descarregador de sobretensões (DST) à saída do terciário do transformador de potência (TP) e, caso exista, é solicitado que se preencha a classe de descarga de longa duração e a corrente nominal de descarga.

#### 4.3.2.2 Cabo entre TP e TSA

Neste parâmetro são solicitados as seguintes informações relativas ao cabo que liga o TP ao TSA:

- Tipo de cabo;
- Número de condutores por fase;
- Secção do condutor de fase e de neutro, em  $mm^2$ ;
- Secção da blindagem;
- Verificação de ligação da blindagem do cabo à terra.

#### 4.3.2.3 Transformador

Em relação ao TSA são solicitados na ferramenta os seguintes parâmetros:

- Modelo do transformador;
- Tipo de enrolamentos;
- Potência aparente nominal, em VA;
- Tensão nominal no primário, em V;
- Percentagem da tensão de curto-circuito, em %;
- Verificação da ligação da estrela do lado BT à terra;
- Verificação do apoio do TSA em rodados.

#### 4.3.2.4 Aparelho de Corte de Saída do TSA

Em relação ao aparelho de corte instalado no armário imediatamente à saída do TSA é solicitado que se introduzam os seguintes parâmetros:

- Tipo de equipamento instalado (disjuntor, interruptor ou fusíveis);
- Modelo do equipamento;
- Corrente nominal, em A;

- Corrente de proteção à sobrecarga,  $I_r$ , em A;
- Tempo de atuação à sobrecarga, em s;
- Proteção ao curto-circuito, em A;
- Intensidade de proteção instantânea, em A;
- Tempo de atuação instantâneo, em s;
- Intensidade máxima de neutro, em A;

#### **4.3.2.5 Ligação entre disjuntor do TSA e o QGCA**

Os parâmetros solicitados para a ligação entre o disjuntor do TSA e o QGCA são os mesmos que são solicitados para a ligação entre o TP e o TSA, apresentados no ponto 4.3.2.2.

#### **4.3.2.6 Aparelho de corte de entrada no QGCA**

Em relação ao aparelho de corte de entrada no QGCA são solicitados os mesmos parâmetros que os do aparelho de corte de saída do TSA, apresentados no ponto 4.3.2.4.

### **4.3.3 Normabloco**

Na análise ao circuito de alimentação através de normabloco, é analisado todo o circuito desde o disjuntor existente no próprio normabloco, ao qual liga a alimentação proveniente da fonte externa, em MT, passando pelo cabo de ligação entre o normabloco e o transformador MT/BT, a proteção ao transformador, o cabo de ligação entre o transformador e o QGCA e a entrada no QGCA. Cada instalação alimentada com esta tipologia pode ter entre 1 e 3 sistemas de alimentação a partir de normabloco, por isso a ferramenta possui 3 espaços iguais disponíveis para que possam ser preenchidos em caso de necessidade.

No anexo B.3 é possível ver-se a organização da ferramenta e os seus diversos campos de preenchimento.

#### **4.3.3.1 Caracterização**

Em relação ao normabloco é solicitado que o utilizador informe a marca e o modelo do equipamento bem como a potência estipulada para o mesmo.

#### **4.3.3.2 Cabos usados**

São solicitadas as informações especificadas no ponto 4.3.2.2 deste documento, relativas ao cabo de ligação entre o normabloco e o transformador e entre o transformador e o QGCA.

#### **4.3.3.3 Transformador**

Em relação ao transformador MT/BT instalado são solicitadas as mesmas informações que foram solicitadas relativas ao transformador de serviços auxiliares, indicadas no ponto 4.3.2.3 deste documento.

#### **4.3.3.4 Aparelhagem de corte**

São solicitadas ao utilizador informações relativas aos aparelhos de corte instalados no normabloco, proteção do transformador e de entrada no QGCA. Estas informações seguem a mesma orientação das que foram solicitadas relativas ao órgão de corte do circuito do transformador de serviços auxiliares, apresentadas no ponto 4.3.2.4 deste documento.

### **4.3.4 Posto de Transformação aéreo**

Na análise ao circuito de alimentação através de Posto de Transformação aéreo, o mesmo é verificado desde o transformador instalado no apoio junto à instalação, analisado o órgão de corte à saída do transformador, o cabo de ligação entre o PTA e o QGCA e o Aparelho de Corte de entrada no QGCA.

#### **4.3.4.1 Transformador**

Para análise do transformador são solicitadas as seguintes informações:

- Marca;
- Modelo;
- Potência Nominal.

#### **4.3.4.2 Aparelhagem de corte**

Os aparelhos de corte de saída do PTA e de entrada no QGCA referentes a este circuito são analisados usando os mesmos parâmetros solicitados em relação ao ponto 4.3.2.4 do presente documento.

#### **4.3.4.3 Ligação entre PTA e QGCA**

O cabo de ligação entre o PTA e o QGCA é analisado recolhendo os dados explicitados no ponto 4.3.2.2 do presente documento.

#### **4.3.5 Grupo Eletrogéneo de Socorro**

Para análise do circuito de alimentação de emergência a partir do grupo eletrogéneo de socorro (GES), é analisado o circuito a partir do gerador, o órgão de corte instalado à saída do gerador, o cabo de ligação do GES ao QGCA e o aparelho de corte de entrada no QGCA. Em cada instalação existe 1 ou 2 GES, pelo que na ferramenta desenvolvida existem dois espaços iguais de preenchimento de dados.

Em relação ao GES é ainda solicitada informação com vista à análise da autonomia do grupo, em horas de funcionamento.

No anexo B.5 é possível ver-se a organização da ferramenta relativa ao GES e os seus diversos campos de preenchimento.

##### **4.3.5.1 Grupo Gerador**

Para análise do grupo gerador são solicitadas as seguintes informações:

- Marca;
- Modelo;
- Potência Nominal.

##### **4.3.5.2 Aparelhagem de Corte**

Para análise dos aparelhos de corte instalados à saída do GES e à entrada do QGCA, são solicitadas as informações apresentadas no ponto 4.3.2.4 do presente documento.

##### **4.3.5.3 Cabo de ligação entre o GES e o QGCA**

Para análise do cabo de ligação entre o GES e o QGCA são solicitadas as informações relativas ao cabo apresentadas no ponto 4.3.2.2 do presente documento.

##### **4.3.5.4 Autonomia do grupo**

Para análise da autonomia do grupo são solicitadas as informações apresentadas de seguida:

- Capacidade do depósito de combustível, em *l*;
- Potência do grupo, em *kVA*;
- Consumo de energia da instalação nos últimos 6 meses, em *kWh*.

### 4.3.6 Análise de dados

Para se fazer a análise dos dados é seguido o critério definido no ponto 4.2 deste documento, para tal existe um campo reservado na ferramenta para que seja feita uma avaliação individual a cada componente da instalação, tal como se pode ver na figura 4.4. Na imagem da esquerda é possível ver-se que quando o componente está em conformidade ele é classificado como 'OK' e por isso não é necessário atribuir-se uma prioridade de intervenção, no caso de o equipamento não estar conforme, é assinalado como 'NOK' e a ferramenta solicita que se insira um grau de prioridade de intervenção.

| Análise   |                          |
|-----------|--------------------------|
| Avaliação | Prioridade               |
| OK        | -                        |
| NOK       | inserir nível prioridade |

Figura 4.4: Avaliação do componente da instalação

### 4.3.7 Parametrizações

A ferramenta disponibiliza uma página organizada onde se apresentam todas as parametrizações dos aparelhos de corte existentes na instalação, tal como se pode ver na figura 4.5. Esta secção permite de uma forma central que se possa observar todos os parâmetros introduzidos nas diversas páginas da ferramenta relativas a órgãos de corte, e perceber se todos os requisitos se encontram cumpridos

| Parametrizações Existentes nas alimentações dos Serviços Auxiliares da Instalação: |                |                      |                    |               |        |                     |        |             |         |         |                 |    |               |        |                     |        |                     |         |             |         |         |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------|---------------|--------|---------------------|--------|-------------|---------|---------|-----------------|----|---------------|--------|---------------------|--------|---------------------|---------|-------------|---------|---------|-----------|
| Origem alimentação                                                                 |                |                      | Proteção da origem |               |        |                     |        |             |         |         | Entrada no QGCA |    |               |        |                     |        |                     |         |             |         |         |           |
| Equipamento                                                                        | Potência [kVA] | Corrente Nominal [A] | Id                 | Tipo - Modelo | In [A] | Sobrecarga de longa |        | Instantâneo |         | Neutro  | Avaliação       | Id | Tipo - Modelo | In [A] | Sobrecarga de longa |        | Sobrecarga de curta |         | Instantâneo |         | Neutro  | Avaliação |
|                                                                                    |                |                      |                    |               |        | Ir [A]              | tr [s] | Ist [A]     | tst [s] | InN [A] |                 |    |               |        |                     | Ir [A] | tr [s]              | Ist [A] | tst [s]     | Ist [A] | tst [s] |           |
| TSA1                                                                               | 0              | -                    | -                  | -             | -      | -                   | -      | -           | -       | -       | -               | -  | -             | -      | -                   | -      | -                   | -       | -           | -       | -       | -         |
| TSA2                                                                               | 0              | -                    | -                  | -             | -      | -                   | -      | -           | -       | -       | -               | -  | -             | -      | -                   | -      | -                   | -       | -           | -       | -       | -         |
| TSA3                                                                               | 0              | -                    | -                  | -             | -      | -                   | -      | -           | -       | -       | -               | -  | -             | -      | -                   | -      | -                   | -       | -           | -       | -       | -         |
| PTA                                                                                | 0              | -                    | -                  | -             | -      | -                   | -      | -           | -       | -       | -               | -  | -             | -      | -                   | -      | -                   | -       | -           | -       | -       | -         |

| Parametrizações Existentes na Alimentação de Socorro dos Serviços Auxiliares da Instalação: |                |                      |                    |               |        |                     |        |             |         |         |                 |    |               |        |                     |        |                     |         |             |         |         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------|--------------------|---------------|--------|---------------------|--------|-------------|---------|---------|-----------------|----|---------------|--------|---------------------|--------|---------------------|---------|-------------|---------|---------|-----------|
| Origem alimentação                                                                          |                |                      | Proteção da origem |               |        |                     |        |             |         |         | Entrada no QGCA |    |               |        |                     |        |                     |         |             |         |         |           |
| Equipamento                                                                                 | Potência [kVA] | Corrente Nominal [A] | Id                 | Tipo - Modelo | In [A] | Sobrecarga de longa |        | Instantâneo |         | Neutro  | Avaliação       | Id | Tipo - Modelo | In [A] | Sobrecarga de longa |        | Sobrecarga de curta |         | Instantâneo |         | Neutro  | Avaliação |
|                                                                                             |                |                      |                    |               |        | Ir [A]              | tr [s] | Ist [A]     | tst [s] | InN [A] |                 |    |               |        |                     | Ir [A] | tr [s]              | Ist [A] | tst [s]     | Ist [A] | tst [s] |           |
| GS1                                                                                         | 0              | -                    | -                  | -             | -      | -                   | -      | -           | -       | -       | -               | -  | -             | -      | -                   | -      | -                   | -       | -           | -       | -       | -         |
| GS2                                                                                         | 0              | -                    | -                  | -             | -      | -                   | -      | -           | -       | -       | -               | -  | -             | -      | -                   | -      | -                   | -       | -           | -       | -       | -         |

Figura 4.5: Apresentação das parametrizações de aparelhos de corte existentes na instalação

### 4.3.8 Análise Gráfica

Para uma rápida e intuitiva análise do estado geral da instalação, a ferramenta gera, para cada circuito da instalação, diagramas circulares coloridos mediante a análise feita ao equipamento. Na 4.6, está disponível uma imagem com um exemplo de 3 gráficos relativos ao circuito de 3 TSA's de uma instalação.

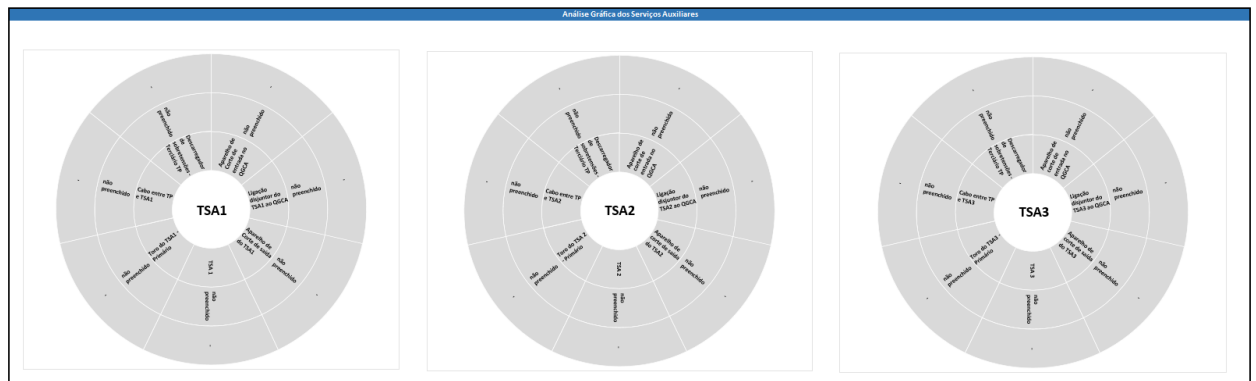


Figura 4.6: Apresentação de um excerto da página da ferramenta relativa à análise gráfica

## 4.4 Estudo de Caso

Para avaliar o desempenho da ferramenta desenvolvida foi estudado o caso real de uma instalação da RNT-E.

### 4.4.1 Identificação da instalação

A subestação em análise faz parte da região Minho e localiza-se em Riba d'Ave, trata-se de uma subestação de 400/150/60 kV.

#### Esquema unifilar dos Serviços Auxiliares:

Apresenta-se na figura 4.7 um esquema unifilar dos Serviços Auxiliares. A partir da imagem é possível obter a informação de que a instalação dispõe de ligações, em regime normal, a 3 TSA's, 2 possuem uma potência 800kVA e o terceiro de 400 kVA. O GES possui uma potência de 400 kVA.

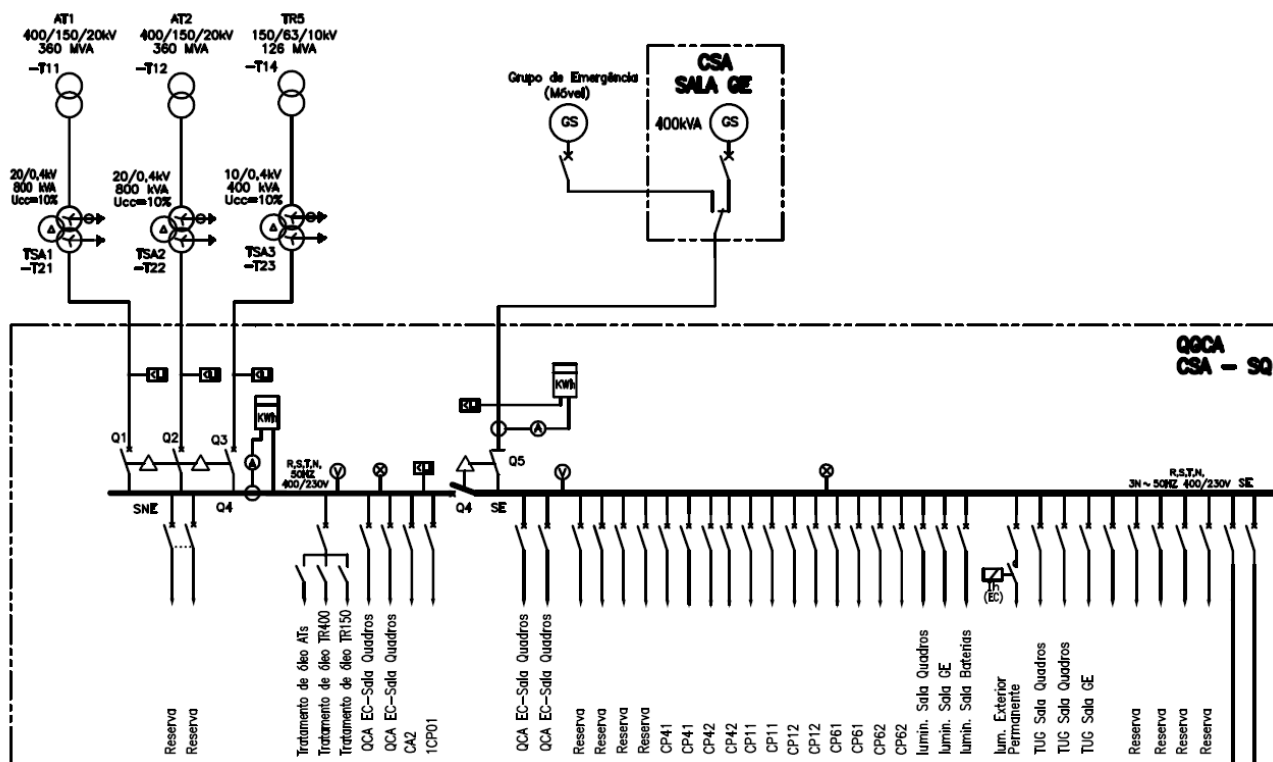


Figura 4.7: Esquema unifilar dos Serviços Auxiliares, SE de Riba d'ave

#### 4.4.2 Análise de elementos

Será agora explicada a análise feita aos elementos que constituem os sistemas de alimentação dos serviços auxiliares em regime normal e de emergência, bem como do QGCA. De referir que as informações recolhidas foram obtidas localmente por técnicos responsáveis pela exploração, manutenção e conservação da instalação, que procederam a um registo escrito e fotográfico das informações solicitadas.

##### 4.4.2.1 Alimentação em regime normal - Transformador de serviços auxiliares

A instalação dispõe de 3 transformadores de serviços auxiliares, sendo que será apresentada apenas a análise feita para o TSA 1, dado que a dos restantes é feita de forma idêntica. Uma vez que existem 3 transformadores sendo dois de 800 kVA e um de 400 kVA, será apresentada a verificação para o de maior potência pois é o mais significativo.

A página da ferramenta com os dados inseridos e na qual foi feita a avaliação está disponível no anexo C.2.

#### Descarregador de Sobreensões

Constatou-se que existe um descarregador de sobreensões instalado no terciário do transformador de Potência, no entanto a informação do mesmo não está visível, e por isso foi atribuída a classificação de "Sem Informação".

#### Cabo de Ligação entre TP e TSA 1

O cabo instalado é do tipo XHIV, com um condutor por fase de  $185 \text{ mm}^2$  de secção, com a blindagem do cabo ligada à terra em ambos os extremos da canalização.

Constata-se que desta forma todas as condições técnicas regulamentares estão cumpridas, uma vez que a especificação técnica apenas estipula que seja um cabo do tipo XHIV com secção de  $185 \text{ mm}^2$ , e por isso, este componente foi classificado como "OK".

#### Transformador de corrente toroidal no primário do TSA

Verificou-se que existia um transformador de corrente toroidal instalado do lado de AT do TSA com fator de transformação 100/1 A.

Como não existe uma especificação para este equipamento, e o mesmo existe na instalação, foi então considerado como "OK".

#### Transformador de Serviços Auxiliares

O TSA 1 é da marca EFACEC do tipo concêntrico, com enrolamentos do tipo YNyn0, com 800 kVA de potência e alimentado a partir do TP a 20 kV. O transformador tem uma tensão de curto-circuito de 18,5%, possui o neutro ligado à terra e está apoiado em rodados.

O transformador foi considerado "OK" foi apenas deixada a anotação de que os rodados deveriam ser retirados para que, em caso de sismo, se possa evitar que o mesmo se mova.

#### Dimensionamento do cabo entre TSA e o QGCA

Serão agora apresentados os cálculos para verificação da conformidade do dimensionamento da canalização elétrica entre o TSA e o QGCA. Este dimensionamento segue a formulação apresentada no ponto 3.2 deste documento. Em primeiro lugar começa por se determinar a corrente de serviço através da equação 4.1

$$I_s = \frac{800000}{400 * \sqrt{3}} = 1154,7 \text{ A} \quad (4.1)$$

Aplicando os fatores de correção a corrente de serviço corrigida será então dada pela expressão 4.3

$$I_{sc} = \frac{1154,7}{0,89 * 0,75} = 1729,89 \text{ A} \quad (4.2)$$

Como a instalação possui 2 condutores por fase, o valor de corrente a fluir em cada condutor será metade do valor da corrente de serviço calculada. Assim a corrente máxima que cada condutor terá que veicular será dada pela expressão 4.3

$$\frac{1729.89}{2} = 864.94 \text{ A.} \quad (4.3)$$

Constata-se assim que é inviável o uso de 2 condutores por fase, porque mesmo assim se leva a correntes elevadas em cada condutor, assim é apresentada na expressão 4.4 a corrente por cabo para 3 condutores por fase.

$$\frac{1729.89}{3} = 576.63 \text{ A.} \quad (4.4)$$

Calculada a corrente que cada condutor terá de veicular, irá escolher-se agora qual a secção mínima a usar. O cabo existente na instalação é do tipo VHV (condutor em cobre rígido, isolamento a PVC, com blindagem colectiva e bainha em PVC). Considerando-se o condutor instalado ao ar, e consultando a tabela disponível no anexo A.7, verifica-se qual a secção mínima que respeita a condição 4.5

$$I_{sc} \leq I_Z \quad (4.5)$$

A secção mínima do condutor é então de  $300 \text{ mm}^2$  que corresponde a uma corrente máxima admissível, por condutor, de 602 A. Uma vez que existem dois condutores por fase, a corrente máxima admissível pela canalização será de 1806 A.

Será agora analisado se a queda de tensão no cabo tem um valor inferior a 3%. O cabo instalado tem um comprimento de 150 metros, e tal como referido uma secção de  $240 \text{ mm}^2$ . Consultando a tabela disponível no anexo A.8, é possível verificar-se que a resistência linear e reatância linear em  $\Omega/\text{km}$  são, respectivamente,  $0,0943 \Omega/\text{km}$  e  $0,0902 \Omega/\text{km}$ .

Aplica-se então a equação 3.40 apresentada neste documento, considerando-se  $\cos\phi = 0,9$ , tendo-se obtido o valor apresentado pela fórmula 4.15

$$\Delta U[\%] = \frac{\sqrt{3} * 0,150 * \frac{1154.7}{2} * (0,0943 * 0,9 + 0,0902 * 0,436)}{400} * 100 = 4,66\% \quad (4.6)$$

Como a queda de tensão calculada foi de 4,66% e a queda de tensão máxima admissível é de 3%, considera-se que o cabo não se encontra bem dimensionado, devendo por isso ser substituído. A classificação atribuída foi então de "NOK" com prioridade de intervenção 1, pois é considerado um problema que exige intervenção imediata uma vez que põe em risco a normal operação da instalação.

#### Dimensionamento do aparelho de corte à saída do TSA

O aparelho de corte instalado à saída do TSA é um disjuntor cuja corrente nominal,  $I_n$ , é de 1600 A, que foi parametrizado para uma corrente nominal corrigida,  $I_0$ , de 1280 A e a corrente convencional de funcionamento ou corrente de curto-circuito,  $I_{sd}$ , de 4000 A.

Este dimensionamento é feito tendo em conta o cabo que está atualmente instalado, pois apesar de não estar corretamente dimensionado, o disjuntor deve garantir que o cabo existente atualmente está protegido.

Usando a condição 3.37 apresentada no ponto 3.2.3 deste documento,

$$1154.7 \leq 1280 \leq 1046 \quad (4.7)$$

Constata-se então que a corrente nominal definida para o disjuntor não é a correta pois não cumpre a condição.

É necessário agora que se verifique a condição 3.38 apresentada no ponto 3.2.3 deste documento,

$$4000 \leq 1.30 * 1046 \Leftrightarrow 4000 \leq 1359.8 \quad (4.8)$$

constata-se então que o parâmetro  $I_{sd}$  do disjuntor não se encontra correto, e por isso, deve ser reduzido para um valor inferior a 1359.8 A.

Posto isto, constata-se que o disjuntor não está corretamente dimensionado quanto ao parâmetro  $I_{sd}$  e por isso foi classificado como "NOK". A corrente nominal é a adequada pois cumpre a condição 3.38.

#### Dimensionamento do aparelho de corte à entrada no QGCA

O aparelho de corte instalado à entrada do QGCA trata-se de um disjuntor cuja corrente nominal é de ,  $I_n$ , 1000 A, e a corrente regulada  $I_r$  também parametrizada como 1000 A, com um tempo de atuação,  $t_r$  de 144 s. A corrente convencional de funcionamento ou corrente de curto-circuito,  $I_{sd}$ , está definida para o valor de 4000 A.

Usando a condição 3.37 apresentada no ponto 3.2.3 deste documento,

$$1154.7 \leq 1000 \leq 1046 \quad (4.9)$$

Constata-se então que a corrente nominal definida para o disjuntor não é a correta devendo por isso ser definida para um valor superior a 1154.7 A.

É necessário agora que se verifique a condição 3.38 apresentada no ponto 3.2.3 deste documento. A verificação é apresentada na expressão 4.10

$$4000 \leq 1.30 * 1046 <=> 4000 \leq 1359.8A \quad (4.10)$$

Este aparelho foi considerado como "NOK" uma vez que a especificação técnica REN refere que os circuitos de alimentação do QGCA devem ter à chegada um interruptor. Considera-se ainda que o disjuntor não está corretamente parametrizado, e por isso foi considerado como prioridade de intervenção 1, uma vez que, pode colocar em risco o normal funcionamento da instalação.

A página da ferramenta correspondente à análise do GES, está disponível no anexo C.3, e a respetiva análise gráfica no anexo C.5.

#### 4.4.2.2 Alimentação de emergência - Grupo Eletrogéneo de Socorro

A instalação dispõe de um GES da marca Cummins com 400 kVA de potência

##### Grupo Diesel

Não existe qualquer especificação técnica REN que defina o modelo do grupo diesel, e a potência do mesmo foi considerada adequada pois foi testado com a carga máxima essencial da instalação e foi suportada. Foi então considerado o grupo como "OK"

##### Dimensionamento do cabo entre GES e QGCA

Serão agora apresentados os cálculos para verificação da conformidade do dimensionamento da canalização elétrica entre o GES e o QGCA. Esta verificação segue a formulação apresentada no ponto 3.2 deste documento.

Em primeiro lugar começa por se determinar a corrente de serviço através da equação 4.12

$$I_s = \frac{400000}{400 * \sqrt{3}} = 577,35A \quad (4.11)$$

Aplicando os fatores de correção a corrente de serviço corrigida será então dada pela expressão 4.12

$$I_{sc} = \frac{577.35}{0.89 * 0.75} = 864.94 \text{ A} \quad (4.12)$$

Como a instalação possui 2 condutores por fase, o valor de corrente a fluir em cada condutor será metade do valor da corrente de serviço corrigida calculada. Assim a corrente máxima que cada condutor terá que veicular será dada pela expressão 4.13

$$I_{sc/cond} = \frac{864.94}{2} = 432.47 \text{ A} \quad (4.13)$$

Calculada a corrente que cada condutor terá de veicular, irá escolher-se agora qual a secção mínima a usar. O cabo existente na instalação é do tipo VHV (condutor em cobre rígido, isolamento a PVC, com blindagem colectiva e bainha em PVC). Considerando-se o condutor instalado ao ar, e consultando a tabela disponível no anexo A.7, verifica-se qual a secção mínima que respeita a condição 4.14

$$I_{sc/cond} \leq I_Z \quad (4.14)$$

A secção mínima do condutor é então de  $185 \text{ mm}^2$  que corresponde a uma corrente máxima admissível, por condutor, de 444 A. Uma vez que existem dois condutores por fase, a corrente máxima admissível pela canalização será de 888 A.

Uma vez que na instalação se encontram dois cabos de  $240 \text{ mm}^2$  por fase, cuja corrente máxima admissível é de 523 A (1046 A por fase) considera-se então que o mesmo se encontra corretamente dimensionado quanto à secção, estando até sobredimensionado.

Será agora analisado se a queda de tensão no cabo tem um valor inferior a 3%. O cabo instalado tem um comprimento de 80 metros, e tal como referido uma secção de  $240 \text{ mm}^2$ . Consultando a tabela disponível no anexo A.8, é possível verificar-se que a resistência linear e reatância linear em  $\Omega/\text{km}$  são, respectivamente,  $0,0943 \Omega/\text{km}$  e  $0,0902 \Omega/\text{km}$ .

Aplica-se então a equação 3.40 apresentada neste documento, considerando-se  $\cos\phi = 0,9$ , tendo-se obtido o valor apresentado pela fórmula 4.15

$$\Delta U[\%] = \frac{\sqrt{3} * 0,008 * \frac{577,35}{2} * (0,0943 * 0,9 + 2 * \pi * f * 0,0902 * 0,436)}{400} = 0.12\% \quad (4.15)$$

Como a queda de tensão calculada foi de 0.12% e a queda de tensão máxima admissível é de 3%, considera-se que o cabo se encontra bem dimensionado.

Uma vez que todas as verificações foram cumpridas, considera-se então o cabo como "OK".

#### **Dimensionamento do aparelho de corte à saída do GES**

O aparelho de corte instalado à saída do GES é um disjuntor cuja corrente nominal,  $I_n$ , é de 800 A, que foi parametrizado para uma corrente regulada,  $I_r$ , um fator de 0.8 e por isso o valor de  $0,8 * I_n = 640 \text{ A}$ . A corrente convencional de funcionamento ou corrente de curto-circuito,  $I_{sd}$ , está definida como  $1.5 * I_r$  tendo assim o valor de 960 A.

Usando a condição 3.37 apresentada no ponto 3.2.3 deste documento,

$$577.35 \leq 640 \leq 1046 \quad (4.16)$$

Verifica-se então que a corrente nominal definida para o disjuntor é a correta pois cumpre a condição.

É necessário agora que se verifique a condição 3.38 apresentada no ponto 3.2.3 deste documento,

$$960 \leq 1.30 * 1480 \leq 960 \leq 1924 \quad (4.17)$$

constata-se então que o parâmetro  $I_{sd}$  do disjuntor está corretamente definido, pois cumpre a condição.

O disjuntor de saída do GES foi então considerado como "OK" dado que cumpre todas as condições necessárias.

### **Dimensionamento do aparelho de corte à entrada no QGCA**

O aparelho de corte instalado à saída do GES é um disjuntor cuja corrente nominal,  $I_n$ , é de 630 A, tendo a corrente regulada,  $I_r$ , um fator de 1 e por isso igual ao valor de  $I_n$ . A corrente convencional de funcionamento ou corrente de curto-circuito,  $I_{sd}$ , está definida como  $5.5 * I_n$  tendo assim o valor de 3465 A.

Usando a condição 3.37 apresentada no ponto 3.2.3 deste documento,

$$577.35 \leq 630 \leq 1480 \quad (4.18)$$

Verifica-se então que a corrente nominal definida para o disjuntor é a correta pois cumpre a condição.

É necessário agora que se verifique a condição 3.38 apresentada no ponto 3.2.3 deste documento,

$$3465 \leq 1.30 * 1480 \leq 3465 \leq 1924 \quad (4.19)$$

constata-se então que o parâmetro  $I_{sd}$  do disjuntor não está correto, devendo ser parametrizado para um valor inferior a 1924 A.

O disjuntor de saída do GES foi então considerado como "NOK" dado que não cumpre a especificação técnica pois esta indica que deverá ser um interruptor. O disjuntor foi classificado como tendo prioridade de intervenção 1, uma vez que não existe seletividade em relação ao disjuntor existente na saída do GES, e não verifica a condição 4.19, colocando por isso em causa o normal funcionamento da instalação.

### Verificação da autonomia do grupo

O cálculo da autonomia do GES será feita de acordo com a formulação apresentada na secção 3.5 do presente documento.

O depósito instalado junto ao GES tem uma capacidade de 500 litros, e tal como referido, o grupo tem uma potência de 400 kVA. Os consumos dos últimos 6 meses e o número de dias de cada mês é apresentado na figura 4.8. De referir que os consumos respeitantes ao último mês (mês de Maio) ainda não se encontravam disponíveis, e considerou-se que a variação para o mês anterior não era significativa, tendo-se utilizado para ambos os meses o mesmo valor de energia consumida.

| Consumo de energia nos últimos 6 meses [kWh] |         |         |         |         |         |
|----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| mês 1                                        | mês 2   | mês 3   | mês 4   | mês 5   | mês 6   |
| 34224                                        | 39896   | 32023   | 28613   | 36224   | 36224   |
| n° dias                                      | n° dias | n° dias | n° dias | n° dias | n° dias |
| 31                                           | 31      | 28      | 31      | 30      | 31      |

Figura 4.8: Consumos da SE de Riba d’Ave nos meses de Dezembro de 2018, Janeiro, Fevereiro, Março, Abril e Maio de 2019

Partindo dos valores de consumo da instalação apresentados, foi então calculado o valor diário médio, em *kWh*, através da expressão 4.20.

$$Energia \text{ média} = \frac{\frac{34224}{31} + \frac{349896}{31} + \frac{32023}{28} + \frac{28613}{31} + \frac{36224}{30} + \frac{36224}{31}}{6} = 1138.9kWh \quad (4.20)$$

Dividindo o valor por 24h, obtemos assim a potência que a instalação consome, tal como se demonstra na expressão 4.21

$$Potência \text{ consumida} = \frac{1138.9}{24} = 47,5kW \quad (4.21)$$

Obtida a potência é então possível obter o nível de carga do grupo, através da expressão 4.22. De referir que para o cálculo se considerou apenas a potência ativa, pois entendeu-se que os valores obtidos eram aceitáveis.

$$Nível \text{ de carga}(\%) = \frac{47.5}{400} * 100 = 11.86\% \quad (4.22)$$

Majorando o valor conclui-se que o valor de consumo disponível imediatamente acima de 11,86% é o de 25%. Consultando a tabela do anexo A.11, para um gerador de 400 kVA e a 1/4 da carga consumirá 32,55 litros por hora de combustível. Multiplicando este valor por 24h  $32.55 * 24 = 781,2l/dia$ . Determina-se a autonomia em dias, horas e minutos, através das expressões 4.24, 4.25 e 4.25, respectivamente

$$dias = 500/781.2 = 0,64 = 0 \text{ dias} \quad (4.23)$$

$$horas = 0.64 * 24 = 15,36 = 15 \text{ horas} \quad (4.24)$$

$$minutos = 0.36 * 60 = 21.6 = 21 \text{ minutos} \quad (4.25)$$

Constata-se então que a autonomia do grupo é inferior a 1 dia, e por isso, foi considerada como "NOK".

Na figura C.11 do anexo C.5 é possível analisar-se um gráfico onde se constata que o depósito de combustível termina a alimentação do grupo antes das 24h de operação contínua.

O diagrama de análise do GS1 da subestação está disponível no anexo C.5

#### 4.4.2.3 Quadro Geral de Corrente Alternada

O quadro em questão não possui chapa de características, não sendo possível obter informações quanto a corrente de curto-circuito suportável, corrente nominal, grau de proteção e regime de neutro. Sabe-se que o aparelho de corte inter-barras é do tipo interruptor.

A página da ferramenta relativa à análise do QGCA pode ser consultada no anexo C.4

#### Análise aos barramentos de 400 V

Será agora apresentada uma verificação de conformidade do dimensionamento do barramento de 400V quanto a eventuais esforços eletrodinâmicos devidos a curto-circuito.

As informações recolhidas das dimensões dos barramentos são apresentadas na figura 4.9

| Espessura - a [cm] | Largura - b [cm] | distância entre barras - d [cm] | distância entre apoios - l [cm] | Nº de barras por fase |
|--------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 0,5                | 6                | 20                              | 80                              | 1                     |

Figura 4.9: Informações recolhidas quanto ao barramento de 400V da SE de Riba d'Ave

#### Cálculo da corrente de pico de curto-circuito

A corrente de pico será calculada de acordo com a formulação apresentada no ponto 3.1.1 deste documento.

Em primeiro lugar será determinada a corrente de defeito no secundário do transformador, seguindo a formulação apresentada de seguida.

- **Cálculo da impedância do transformador**

É então calculada a impedância do primário do transformador,  $X_P$ , a partir da expressão 4.26.

$$X_P = \frac{20000^2}{800000} = 500 \quad \Omega \quad (4.26)$$

Calcula-se de seguida a impedância de base da rede,  $X_b$  através da expressão 4.27.

$$X_b = \frac{18.5}{100} * 500 = 92.5 \quad \Omega \quad (4.27)$$

Obtida a impedância de base de defeito determina-se  $I_{ccp}$ , através da expressão 4.28.

$$I_{ccp} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{92.5} = 124.83 \quad A \quad (4.28)$$

Usando a razão de transformação do transformador é então possível obter o valor da corrente de defeito do lado do secundário do transformador,  $I_{ccs}$ , através da expressão 4.29.

$$I_{ccs} = \frac{20000}{400} * 124.83 = 6241.62 \quad A \quad (4.29)$$

#### • Cálculo da corrente de pico de curto-circuito

Recorrendo à equação 3.1 apresentada neste documento, calcula-se então a intensidade da corrente de pico de curto-circuito como apresentado na expressão 4.30.

$$i_p = 1.8 * \sqrt{2} * 6241.62 = 15888.58 \quad A \quad (4.30)$$

#### Dimensionamento quanto à corrente de base

A corrente de base foi já calculada na expressão 4.1e tem o valor de 1154,7 A. Consultando o anexo A.1 verifica-se que para barras nuas com frequência de funcionamento de 50Hz, com uma barra por fase a barra cujas dimensões suportam uma corrente de serviço superior à corrente de base é a barra 80x10. Assim, constata-se que a barra usada está sub dimensionada quanto à corrente nominal, e por isso considerado como "NOK".

#### Verificação da resistência da barra a esforços eletrodinâmicos

Através da fórmula 3.9 apresentada neste documento, calcula-se então a força eletromagnética exercida na barra durante um curto-circuito trifásico simétrico.

$$F_e = \frac{4 * \pi * 10^{-7}}{2 * \pi} * \frac{\sqrt{3}}{2} * 15888.58^2 * \frac{80}{20} = 174.9 \quad N = 17,49 \quad kgf \quad (4.31)$$

### Cálculo do momento fletor da barra

É então calculado o momento fletor de acordo com a fórmula 3.10

$$m_f = \frac{17.49 * 80}{16} = 81.45 \text{ kgf} * \text{cm} \quad (4.32)$$

### Verificação do módulo de flexão

Conhecendo o valor do momento fletor, é então possível determinar-se qual o máximo momento fletor a que a barra poderá estar sujeita sem que se causem danos, para tal recorre-se à expressão 3.12, considerando um  $\sigma$  de valor 1200, consultando a tabela 3.2, por se entender que é o valor mais desfavorável pois é o que origina um valor mais baixo de flexão permitida.

$$W \geq \frac{81.45}{1200} = 0.0729 \text{ km} \backslash \text{cm}^2 \quad (4.33)$$

Consultando a tabela disponível no anexo A.3, constata-se que para a barra existente o  $W$  é de  $10.66 \text{ cm}^3$  e por isso superior a 0.0729, conclui-se então que a barra é adequada.

### Esforços térmicos devidos ao curto-circuito

Para o cálculo dos esforços térmicos devidos ao curto-circuito será usada a formulação apresentada no ponto 3.1.2.3 deste documento.

- **Determinação dos fatores m e n**

Os fatores m e n serão determinados por observação gráfica das figuras 3.5 e 3.6, respectivamente.

O fator m depende do fator  $\kappa$  e do tempo de atuação das proteções. Considerando um fator  $\kappa$  de 1,8 e tempo de atuação das proteções de 0,5 s, teremos então que o fator m será 0.1. O fator n depende igualmente do tempo de atuação das proteções e do parâmetro  $\frac{I_p}{I_{cc}}$ , que terá o valor aproximado de 2.5. Teremos então um fator n de 0.7.

- **Determinação da corrente térmica**

A corrente térmica é calculada a partir da expressão 3.13, e apresenta-se de seguida.

$$I_{th} = 6241.62 * \sqrt{0.1 + 0.7} = 5582.67 \text{ A} \quad (4.34)$$

### Determinação da secção mínima do condutor

Será agora calculada a secção mínima que o barramento terá que ter para ser garantido que suporta as correntes de defeito que a que poderá estar sujeito. Este cálculo é feito através da equação 3.15 apresentada neste documento. A secção mínima é então dada pela expressão 4.35

$$S_{min} = \frac{5582.67}{159} * \sqrt{0.5} = 24.83 \text{ mm}^2 \quad (4.35)$$

A secção atual é de  $300 \text{ mm}^2$  e por isso superior à secção mínima concluindo-se que o barramento está por isso bem dimensionado quanto à resistência térmica ao curto-circuito.

#### Verificação da condição de ressonância

A frequência de ressonância da barra é calculada através da fórmula 3.16 apresentada no ponto 3.1.2.5 deste documento.

$$f_0 = 112 * \sqrt{\frac{110000 * 900}{0.00267 * 800^4}} = 33.7 \text{ Hz} \quad (4.36)$$

Determinada a frequência de ressonância é agora necessário perceber-se quais são as frequências críticas para tal, recorre-se às equações 3.18. Sendo a frequência da instalação 50 Hz, as frequências críticas serão então os intervalos  $[45, 55] \cup [90, 110]$ .

Por fim determina-se as distâncias críticas recorrendo à expressão 4.40.

$$l = \sqrt{\frac{112}{45}} * \sqrt[4]{\frac{110000 * 625}{0.00267}} = 631.96 \text{ mm} \quad (4.37)$$

$$l = \sqrt{\frac{112}{55}} * \sqrt[4]{\frac{110000 * 625}{0.00267}} = 571.63 \text{ mm} \quad (4.38)$$

$$l = \sqrt{\frac{112}{90}} * \sqrt[4]{\frac{110000 * 625}{0.00267}} = 446.87 \text{ mm} \quad (4.39)$$

$$l = \sqrt{\frac{112}{110}} * \sqrt[4]{\frac{110000 * 625}{0.00267}} = 404.2 \text{ mm} \quad (4.40)$$

É então possível afirmar que o intervalo de distâncias críticos é o que se apresenta na expressão 4.41.

$$[571.63, 631.96] \cup [404.2, 446.87] \quad (4.41)$$



## Capítulo 5

# Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo, o último do documento, será analisado o trabalho na sua globalidade, realçando-se os objetivos atingidos, e desenvolvimentos futuros para o mesmo.

### 5.1 Conclusão

A Rede Nacional de Transporte de Eletricidade (RNT-E), é uma rede vital para o dia-a-dia do país pois dela está dependente o normal fornecimento de energia procedendo à ligação entre a produção e o consumo, designadamente, à Rede Nacional de Distribuição de Eletricidade e, consequentemente, a todas as regiões do mesmo até ao consumidor final. Assim, os níveis de fiabilidade dos componentes que integram esta rede devem atingir valores elevados, para que o índice de falhas seja muito próximo de zero.

Nesta dissertação é feita uma análise ao sistema de serviços auxiliares existente, em algumas, instalações da RNT-E. Trata-se de um sistema essencial para o normal funcionamento da rede, e, consequentemente, para manter a mesma com níveis altos de fiabilidade.

O sistema de serviços auxiliares tem como função fornecer energia em baixa tensão aos equipamentos existentes nas instalações que integram a RNT-E. Desta rede de baixa tensão estão dependentes todas as cargas em baixa tensão alternada e contínua, sendo que as mais significativas são a força motriz do parque, que garante a alimentação dos aparelhos de corte e seccionamento, os sistemas de ventilação forçada dos radiadores e regulação nas instalações com transformação, a alimentação dos equipamentos dos sistemas de comando e controlo assim como, o sistema de retificadores de 48V CC dos Sistemas de Telecomunicações e os retificadores de 110 V CC para os restantes sistemas, designadamente, de sinalização, comando, controlo, medida e monitorização dos dados da instalação que chegam em tempo real ao centro de operação de rede (COR). Os sistemas de serviços auxiliares fornecem também energia a todas as cargas existentes nos edifícios das instalações, nomeadamente circuitos de tomadas, sistemas de iluminação tanto dos edifícios como do parque exterior de aparelhagem AT e sistemas de ar condicionado existentes em todos os edifícios com o objetivo de manter a temperatura em valores adequados à operação dos equipamentos.

O fornecimento de energia a estes serviços pode ser conseguida de 3 formas distintas. No caso de instalações com transformação, as subestações, esta alimentação é feita a partir de entre 1 e 3 transformadores MT/BT ligados ao terciário dos transformadores de potência em serviço na instalação. Em instalações sem transformação, como são os postos de corte, seccionamento ou transição, esta alimentação é feita a partir da RND-E ou diretamente a partir de instalações de produção de energia na proximidade da instalação, através de postos de transformação. No caso de falha nos sistemas de alimentação em regime normal, todas as instalações dispõem de um grupo eletrogénico de socorro, constituído por um grupo Diesel, que assegura a continuidade do serviço.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação, consistiu em criar uma ferramenta informática no *software* Excel<sup>®</sup>, que permite fazer a verificação da conformidade dos sistemas de alimentação dos serviços auxiliares tanto em regime normal como em situação de emergência. Na ferramenta são solicitados os parâmetros, estudados e entendidos como necessário serem alvos de análise dos circuitos de alimentação. Para cada componente em análise, são apresentadas, sempre que disponível, as especificações técnicas, normas e/ou legislação aplicável em vigor. No caso de canalizações elétricas e respetivas proteções, é feito automaticamente pela ferramenta o dimensionamento, para que se possa perceber se a canalização e respetivas proteções se encontram corretamente dimensionados. Após todos os dados recolhidos, é possível identificar os equipamentos que estejam em situação de não conformidade, para tal, foi criada uma escala de classificação que distingue os elementos conformes, não conformes e aqueles em que existe informação em falta. Para o caso de componentes que são considerados como não conformes, foi criada uma escala com níveis de prioridade de intervenção mediante a gravidade da anomalia. Após toda a informação recolhida e avaliada, a ferramenta cria diagramas circulares para cada circuito de alimentação existente na instalação, que permitem, de uma forma rápida e intuitiva, perceber o estado geral da mesma e no caso de inconformidade, perceber qual o motivo da mesma.

Na ferramenta está implementada a formulação matemática do dimensionamento de canalizações elétricas bem como dos disjuntores, estes cálculos foram baseados nas RTIEBT, de salientar que estas regras referem no seu epílogo que não são aplicadas a instalações das redes nacionais de transporte e distribuição de energia. No entanto, e após análise das mesmas, entendeu-se que, uma vez que a rede de serviços auxiliares é de facto uma instalação de baixa tensão, considerou-se viável seguir este regulamento, ainda que com pequenas adaptações realizadas para melhor enquadramento na rede em estudo. É feito também pela ferramenta, o dimensionamento e verificação da conformidade do barramento de 400V instalado no Quadro Geral de Corrente Alternada da instalação (QGCA), o dimensionamento é feito tendo por base diversa bibliografia julgada relevante para que se conseguisse fazer esse dimensionamento, sendo que para a verificação de conformidade das barras em serviço na instalação, foi seguida a norma europeia IEC60865, que permite que de uma forma direta se perceba se a barra é a adequada.

Para verificação do correto funcionamento da ferramenta foi escolhido uma instalação em serviço na RNT-E para se aplicar a mesma, e confrontar os valores obtidos pela ferramenta com cálculos feitos de forma independente, tendo-se constatado que a ferramenta correspondeu da forma esperada, podendo afirmar-se que o seu correto funcionamento está assegurado, estando a

mesma apta a ser usada pela empresa para avaliação de conformidade de outras instalações da rede.

Considera-se então que os objetivos definidos para este trabalho foram atingidos, podendo mesmo considerar-se que foram superados, uma vez que o resultado final foi uma ferramenta com capacidades superiores ao idealizado inicialmente.

No âmbito do estágio realizado na empresa REN com vista ao desenvolvimento do presente trabalho, tive oportunidade de visitar algumas instalações da empresa, que me permitiram perceber como os sistemas abordados neste trabalho funcionam na realidade, e consequentemente, como é operada toda a RNT-E. As instalações visitadas foram então as subestações de Vermoim, Riba d'Ave, Fanhões, Valpaços, Sacavém, Palmela, Estarreja e Mourisca. Tive ainda oportunidade de visitar o centro de operação de rede localizado em Vermoim, bem como o despacho da RNT-E localizado em Sacavém. Estas visitas permitiram fazer algum levantamento fotográfico que se encontra documentado ao longo do presente documento, bem como enriquecer o meu conhecimento sobre esta temática, o que me permitiu descrever na primeira pessoa o funcionamento e características dos sistemas de Serviços Auxiliares.

## 5.2 Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido poderá ser a base para vários projetos a desenvolver no futuro, desde logo o facto de a ferramenta ser neste momento um livro realizado no software Excel, poderá levar a que se crie um software independente com as mesmas funções. O facto de toda a estrutura e cálculos matemáticos estarem desenvolvidos e testados, leva a que seja possível criar qualquer tipo de ferramenta seja para verificação de conformidade, como para o próprio dimensionamento de circuitos de fornecimento de energia aos SA em novas instalações a serem criadas.

Com base nesta ferramenta poderá também ser possível criar uma aplicação para dispositivos móveis, associada a uma base de dados que permita fazer localmente a recolha de informação diretamente para uma base de dados, com solicitação de registo fotográfico para validação de dados, após esta recolha poderá ser possível realizar o tratamento de dados desejado, e a elaboração de relatórios e análises gráficas do estado das instalações.



# Referências

- [1] International Electrotechnical Commission. International standard 60909 - short-circuit currents in three-phase a.c. systems - part0: Calculation of currents, Julho 2001.
- [2] Otto Guthmann, Rolf Pöhlmann, Willi J. Schmitt, Wolfgang Tettenborn, e Helmut Wittwer. *Manual de Instalações Elétricas*. Brown Boveri CIE, ordem dos engenheiros - região norte edição, 1982.
- [3] International Electrotechnical Commission. International standard - short-circuit currents - calculation of effects - part1: Definitions and calculation methods, outubro 2011.
- [4] Tomé Saraiva J.P. Dimensionamento e proteção de canalizações elétricas em baixa tensão. Relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Setembro 2000.
- [5] Solidal. Guia técnico. Relatório técnico, 2007.
- [6] Siemens. *STEP 2000 Molded Case Circuit Breakers*.
- [7] Ministério da Economia. Regras técnicas de instalações elétricas de baixa tensão, Setembro 2006. Portaria n.º 949-A/2006 - Diário da República n.º 175/2006, 1º Suplemento, Série I de 2006-09-11, disponível em <https://dre.pt/>, acedido a 9 de Maio de 2019.
- [8] J.Neves dos Santos. Graus de proteção dos invólucros: Códigos ip e ik. Relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Departamento de Engenharia Electro-técnica e de Computadores, janeiro 2010.
- [9] INDUSMELEC. Esquemas e diagramas: Caderno 7. Relatório técnico, fevereiro 2014.
- [10] Jayme da Costa Lda. Montagem de condutores nus nas instalações de alta e baixa tensão. Relatório técnico, março 1958.
- [11] ABB. Electrical installation handbook: Protection, control an electrical devices. Relatório técnico, 2010.
- [12] Ministérios da Indústria e Energia e do Equipamento Social. Diário da república nº297 série i - decreto regulamentar nº90/84, dezembro 1984. Disponível em <https://dre.pt/> acedido a 12 de maio de 2019.
- [13] Copper Developemnt Association Copper Alliance. Copper for busbars - guidance for design and installation, 2014.
- [14] S.A. REN Redes Energéticas Nacionais. Caracterização da rede nacional de transporte para efeitos de acesso à rede. Relatório técnico, março 2019.

- [15] REN-Rede Eléctrica Nacional S.A. Especificação técnica: Quadros de serviços auxiliares (ac cc). Relatório técnico, fevereiro 2011.
- [16] Manuel Bolotinha. *Subestações: Projecto, Construção, Fiscalização*. Engebook, 2ª edição edição, fevereiro 2019.
- [17] REN-Rede Eléctrica Nacional S.A. Especificação técnica: Transformadores de serviços auxiliares (10/0,4kv - 20/0,4 kv). Relatório técnico, maio 2011.
- [18] REN-Rede eléctrica nacional S.A. Especificação técnica - equipamento de alta tensão: Descarregadores de sobretensões, janeiro 2019.
- [19] REN-Rede Eléctrica Nacional S.A. Especificação técnica: Grupos eletrogéneos de socorro. Relatório técnico, março 2011.
- [20] Jornal Oficial da União Europeia. Regulamento (ue) 2017/2196 da comissão de 24 de novembro de 2017 que estabelece um código de rede relativo aos estados de emergência e de restabelecimento em redes de eletricidade. Relatório técnico, novembro 2017.
- [21] REN-Rede eléctrica nacional S.A. Especificação técnica e funcional: Gestão dos serviços auxiliares, 2016.
- [22] José Rui Ferreira. Instalações elétricas - dimensionamento de canalizações. Relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2017.
- [23] H.Ribeiro da Silva. Projeto de postos de transformação - 4ª parte: Cálculo dos condutores. Relatório técnico, Jayme da Costa, Lda.
- [24] Paulo A. Tipler e Gene Mosca. *Física Para Cientistas e Engenheiros Volume 1 - Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica*. LTC, sexta edição edição, novembro 2009.
- [25] Ferreira J.R. Dimensionamento de canalizações. Relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2016.
- [26] Artur Fernandes Costa. Máquinas elétricas - capítulo 2: Transformadores elétricos. Relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Setembro 2019.
- [27] ABB SACE. *Electrical Instalation handbook - Electrical Devices*. Segunda edição edição, 2004.
- [28] Schneider Electric. Compact nsx nsxm - catalogue, 2019.
- [29] J.Neves dos Santos. Esquemas de ligação à terra. Relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, fevereiro 2016.
- [30] Instituto Português da Qualidade. Graus de proteção assegurados pelos invólucros - código ip, 1994.
- [31] Instituto Português da Qualidade. Graus de segurança assegurada pelos invólucros contra impactos mecânicos - código ik, 2002.

## **Anexo A**

# **Tabelas de dimensionamento e consumos**

São apresentados neste anexo todas as tabelas para dimensionamento de circuitos e consumos da instalação

## A.1 Tabela para dimensionamento de barramentos

A tabela apresentada na figura A.1 permite escolher-se o barramento mediante a corrente máxima admissível pelo mesmo. Estas tabelas são baseadas na norma DIN43671 que é aquela que normaliza os barramentos de cobre.

| Largura<br>x<br>Espessura<br>(mm) | Corrente admissível: alternada até 60 Hz |      |      |          |                   |      |      |          | Corrente admissível: alternada ou contínua 16 2/3 Hz |      |      |          |                   |      |      |          |
|-----------------------------------|------------------------------------------|------|------|----------|-------------------|------|------|----------|------------------------------------------------------|------|------|----------|-------------------|------|------|----------|
|                                   | Nº de barras pintadas                    |      |      |          | Nº de barras nuas |      |      |          | Nº de barras pintadas                                |      |      |          | Nº de barras nuas |      |      |          |
|                                   | 1                                        | 2    | 3    | 4        | 1                 | 2    | 3    | 4        | 1                                                    | 2    | 3    | 4        | 1                 | 2    | 3    | 4        |
|                                   | I                                        | II   | III  | II 50 II | I                 | II   | III  | II 50 II | I                                                    | II   | III  | II 50 II | I                 | II   | III  | II 50 II |
| 12 x 2                            | 123                                      | 202  | 228  |          | 108               | 182  | 216  |          | 123                                                  | 202  | 233  |          | 108               | 182  | 220  |          |
| 15 x 2                            | 148                                      | 240  | 261  |          | 128               | 212  | 247  |          | 148                                                  | 240  | 267  |          | 128               | 212  | 252  |          |
| 15 x 3                            | 187                                      | 316  | 381  |          | 162               | 282  | 361  |          | 187                                                  | 316  | 387  |          | 162               | 282  | 365  |          |
| 20 x 2                            | 189                                      | 302  | 313  |          | 162               | 264  | 298  |          | 189                                                  | 302  | 321  |          | 162               | 266  | 303  |          |
| 20 x 3                            | 237                                      | 394  | 454  |          | 204               | 348  | 431  |          | 237                                                  | 394  | 463  |          | 204               | 348  | 437  |          |
| 20 x 5                            | 319                                      | 560  | 728  |          | 274               | 500  | 690  |          | 320                                                  | 562  | 729  |          | 274               | 502  | 687  |          |
| 20 x 10                           | 497                                      | 924  | 1320 |          | 427               | 825  | 1180 |          | 499                                                  | 932  | 1300 |          | 428               | 832  | 1210 |          |
| 25 x 3                            | 287                                      | 470  | 525  |          | 245               | 412  | 498  |          | 287                                                  | 470  | 536  |          | 245               | 414  | 506  |          |
| 25 x 5                            | 384                                      | 662  | 869  |          | 327               | 586  | 795  |          | 384                                                  | 664  | 841  |          | 327               | 590  | 794  |          |
| 30 x 3                            | 337                                      | 544  | 593  |          | 285               | 476  | 564  |          | 337                                                  | 546  | 608  |          | 286               | 478  | 575  |          |
| 30 x 5                            | 447                                      | 760  | 944  |          | 379               | 672  | 896  |          | 448                                                  | 766  | 950  |          | 380               | 676  | 897  |          |
| 30 x 10                           | 676                                      | 1200 | 1670 |          | 573               | 1060 | 1480 |          | 683                                                  | 1230 | 1630 |          | 579               | 1080 | 1520 |          |
| 40 x 3                            | 435                                      | 692  | 725  |          | 366               | 600  | 690  |          | 436                                                  | 696  | 748  |          | 367               | 604  | 708  |          |
| 40 x 5                            | 573                                      | 952  | 1140 |          | 482               | 836  | 1090 |          | 576                                                  | 966  | 1160 |          | 484               | 848  | 1100 |          |
| 40 x 10                           | 850                                      | 1470 | 2000 | 2580     | 715               | 1290 | 1770 | 2280     | 865                                                  | 1530 | 2000 |          | 728               | 1350 | 1880 |          |
| 50 x 5                            | 697                                      | 1140 | 1330 | 2010     | 583               | 994  | 1260 | 1920     | 703                                                  | 1170 | 1370 |          | 588               | 1020 | 1300 |          |
| 50 x 10                           | 1020                                     | 1720 | 2320 | 2950     | 852               | 1510 | 2040 | 2600     | 1050                                                 | 1830 | 2360 |          | 875               | 1610 | 2220 |          |
| 60 x 5                            | 826                                      | 1330 | 1510 | 2310     | 688               | 1150 | 1440 | 2210     | 836                                                  | 1370 | 1580 | 2060     | 696               | 1190 | 1500 | 1970     |
| 60 x 10                           | 1180                                     | 1960 | 2610 | 3290     | 985               | 1720 | 2300 | 2900     | 1230                                                 | 2130 | 2720 | 3580     | 1020              | 1870 | 2570 | 3390     |
| 80 x 5                            | 1070                                     | 1680 | 1830 | 2830     | 885               | 1450 | 1750 | 2720     | 1090                                                 | 1770 | 1990 | 2570     | 902               | 1530 | 1890 | 2460     |
| 80 x 10                           | 1500                                     | 2410 | 3170 | 3930     | 1240              | 2110 | 2790 | 3450     | 1590                                                 | 2730 | 3420 | 4490     | 1310              | 2380 | 3240 | 4280     |
| 100 x 5                           | 1300                                     | 2010 | 2150 | 3300     | 1080              | 1730 | 2050 | 3190     | 1340                                                 | 2160 | 2380 | 3080     | 1110              | 1810 | 2270 | 2960     |
| 100 x 10                          | 1810                                     | 2850 | 3720 | 4530     | 1490              | 2480 | 3260 | 3980     | 1940                                                 | 3310 | 4100 | 5310     | 1600              | 2890 | 3900 | 5150     |
| 120 x 10                          | 2110                                     | 3280 | 4270 | 5130     | 1740              | 2860 | 3740 | 4500     | 2300                                                 | 3900 | 4780 | 6260     | 1890              | 3390 | 4560 | 6010     |
| 160 x 10                          | 2700                                     | 4130 | 5360 | 6320     | 2220              | 3590 | 4680 | 5530     | 3010                                                 | 5060 | 6130 | 8010     | 2470              | 4400 | 5860 | 7110     |
| 200 x 10                          | 3290                                     | 4970 | 6430 | 7490     | 2690              | 4310 | 5610 | 6540     | 3720                                                 | 6220 | 7460 | 9730     | 3040              | 5390 | 7150 | 9390     |

Figura A.1: Corrente máxima admissível em barras de cobre rígidas [9].

## A.2 Dimensões e peso linear de barras de cobre

É apresentada na figura A.2 uma tabela com informação do peso linear dependendo da secção e dimensões da barra.

| Dimensões<br>das<br>barras<br>mm | Secção<br>duma<br>barra<br>mm <sup>2</sup> | Peso<br>duma<br>barra<br>kg/m |
|----------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|
| 12 × 2                           | 24                                         | 0,21                          |
| 15 × 2                           | 30                                         | 0,27                          |
| 15 × 3                           | 45                                         | 0,40                          |
| 20 × 2                           | 40                                         | 0,36                          |
| 20 × 3                           | 60                                         | 0,53                          |
| 20 × 5                           | 100                                        | 0,89                          |
| 25 × 3                           | 75                                         | 0,67                          |
| 25 × 5                           | 125                                        | 1,11                          |
| 30 × 3                           | 90                                         | 0,80                          |
| 30 × 5                           | 150                                        | 1,34                          |
| 40 × 3                           | 120                                        | 1,07                          |
| 40 × 5                           | 200                                        | 1,78                          |
| 40 × 10*                         | 400                                        | 3,56                          |
| 50 × 5*                          | 250                                        | 2,23                          |
| 50 × 10*                         | 500                                        | 4,45                          |
| 60 × 5*                          | 300                                        | 2,67                          |
| 60 × 10*                         | 600                                        | 5,34                          |
| 80 × 5                           | 400                                        | 3,56                          |
| 80 × 10*                         | 800                                        | 7,12                          |
| 100 × 5                          | 500                                        | 4,45                          |
| 100 × 10*                        | 1000                                       | 8,90                          |
| 120 × 10*                        | 1200                                       | 10,68                         |
| 160 × 10                         | 1600                                       | 14,24                         |
| 200 × 10                         | 2000                                       | 17,80                         |

Figura A.2: Tabela de valores do peso linear para cada secção [10].

### A.3 Módulo de Inércia e Flexão para barras de cobre

A tabela apresentada na figura A.3 permite consultar-se o valor correspondente do módulo de inércia e módulo de flexão para barras de cobre instaladas verticalmente e horizontalmente. De notar que nesta tabela o momento de inércia está definido com o símbolo  $I$ , sendo que no presente documento a nomenclatura usada para esta grandeza foi o símbolo  $J$ .

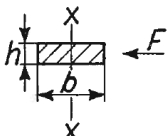
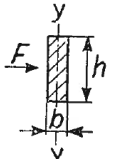
| Momentos de inércia $I$ e módulos de flexão $W$ de barras simples |                                                                                              |                          |                                                                                            |                          |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Montagem da barra                                                 | Horizontal  |                          | Vertical  |                          |
|                                                                   | (6183)                                                                                       |                          | (6192)                                                                                     |                          |
| Dimensões das barras<br>mm                                        | $W_x$<br>cm <sup>3</sup>                                                                     | $I_x$<br>cm <sup>4</sup> | $W_y$<br>cm <sup>3</sup>                                                                   | $I_y$<br>cm <sup>4</sup> |
| 12 × 2                                                            | 0,048                                                                                        | 0,0288                   | 0,008                                                                                      | 0,0008                   |
| 15 × 2                                                            | 0,075                                                                                        | 0,0562                   | 0,010                                                                                      | 0,001                    |
| 15 × 3                                                            | 0,112                                                                                        | 0,084                    | 0,022                                                                                      | 0,003                    |
| 20 × 2                                                            | 0,133                                                                                        | 0,133                    | 0,0133                                                                                     | 0,00133                  |
| 20 × 3                                                            | 0,200                                                                                        | 0,200                    | 0,030                                                                                      | 0,0045                   |
| 20 × 5                                                            | 0,333                                                                                        | 0,333                    | 0,083                                                                                      | 0,0208                   |
| 25 × 3                                                            | 0,312                                                                                        | 0,390                    | 0,037                                                                                      | 0,005                    |
| 25 × 5                                                            | 0,521                                                                                        | 0,651                    | 0,104                                                                                      | 0,026                    |
| 30 × 3                                                            | 0,450                                                                                        | 0,675                    | 0,045                                                                                      | 0,007                    |
| 30 × 5                                                            | 0,750                                                                                        | 1,125                    | 0,125                                                                                      | 0,031                    |
| 40 × 3                                                            | 0,800                                                                                        | 1,600                    | 0,060                                                                                      | 0,009                    |
| 40 × 5                                                            | 1,333                                                                                        | 2,666                    | 0,166                                                                                      | 0,042                    |
| 40 × 10                                                           | 2,666                                                                                        | 5,333                    | 0,666                                                                                      | 0,333                    |
| 50 × 5                                                            | 2,080                                                                                        | 5,200                    | 0,208                                                                                      | 0,052                    |
| 50 × 10                                                           | 4,160                                                                                        | 10,400                   | 0,833                                                                                      | 0,416                    |
| 60 × 5                                                            | 3,000                                                                                        | 9,000                    | 0,250                                                                                      | 0,063                    |
| 60 × 10                                                           | 6,000                                                                                        | 18,000                   | 1,000                                                                                      | 0,500                    |
| 80 × 5                                                            | 5,333                                                                                        | 21,330                   | 0,333                                                                                      | 0,0833                   |
| 80 × 10                                                           | 10,660                                                                                       | 42,600                   | 1,333                                                                                      | 0,666                    |
| 100 × 5                                                           | 8,333                                                                                        | 41,660                   | 0,4166                                                                                     | 0,104                    |
| 100 × 10                                                          | 16,660                                                                                       | 83,300                   | 1,666                                                                                      | 0,933                    |
| 120 × 10                                                          | 24,000                                                                                       | 144,000                  | 2,000                                                                                      | 1,000                    |
| 160 × 10                                                          | 42,600                                                                                       | 341,300                  | 2,666                                                                                      | 1,333                    |
| 200 × 10                                                          | 66,600                                                                                       | 666,000                  | 3,333                                                                                      | 1,660                    |

Figura A.3: Módulo de Flexão e de Inércia para barras de cobre instaladas horizontalmente e verticalmente [10]

**A.4 Valores Máximos possíveis para os fatores  $V_{\sigma m}V_{rm}$ ,  $V_{\sigma s}V_{rs}$ ,  $V_FV_{rm}$** 

Tabela usada para verificação do correto dimensionamento de barras de cobre, de acordo com a norma IEC60865.

| Type of short-circuit | System                                   |                                          |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Without three-phase automatic reclosing  | With three-phase automatic reclosing     |                     | With and without three-phase automatic reclosing                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                       | $V_{\sigma m}V_{rm}, V_{\sigma s}V_{rs}$ | $V_{\sigma m}V_{rm}, V_{\sigma s}V_{rs}$ |                     | $V_FV_{rm}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                       |                                          | First current flow                       | Second current flow |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Line-to-line          | 1,0                                      | 1,0                                      | 1,8                 | <div> <div> <div> <div> <div> <math>2,0</math> for <math>\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,5</math> </div> <div> <math>\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}</math> for <math>0,5 &lt; \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} &lt; 1,0</math> </div> <div> <math>1,0</math> for <math>1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}</math> </div> </div> <div> <div>range</div> <div>1</div> <div>2</div> <div>3</div> </div> </div> </div> </div>   |
| Three-phase           | 1,0                                      | 1,0                                      | 1,8                 | <div> <div> <div> <div> <div> <math>2,7</math> for <math>\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,37</math> </div> <div> <math>\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}</math> for <math>0,37 &lt; \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} &lt; 1,0</math> </div> <div> <math>1,0</math> for <math>1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}</math> </div> </div> <div> <div>range</div> <div>1</div> <div>2</div> <div>3</div> </div> </div> </div> </div> |

Figura A.4: fatores  $V_{\sigma m}V_{rm}, V_{\sigma s}V_{rs}, V_FV_{rm}$  [3]

## A.5 Fatores $\alpha$ , $\beta$ e $\gamma$ que refletem a forma de suporte das barras de cobre

Tabela usada para verificação do correto dimensionamento de barras de cobre, de acordo com a norma IEC60865.

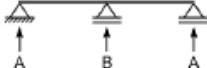
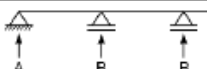
| Type of beam and support                         |                                       |                                                                                    | $\alpha$             | $\beta^*)$            | $\gamma$ |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------|
| Single span beam                                 | A and B: simple supports              |   | A: 0,5<br>B: 0,5     | 1,0                   | 1,57     |
|                                                  | A: fixed support<br>B: simple support |   | A: 0,625<br>B: 0,375 | $\frac{8}{11} = 0,73$ | 2,45     |
|                                                  | A and B: fixed supports               |   | A: 0,5<br>B: 0,5     | $\frac{8}{16} = 0,5$  | 3,56     |
| Continuous beam with equidistant simple supports | Two spans                             |   | A: 0,375<br>B: 1,25  | $\frac{8}{11} = 0,73$ | 2,45     |
|                                                  | Three or more spans                   |  | A: 0,4<br>B: 1,1     | $\frac{8}{11} = 0,73$ | 3,56     |
| * Plasticity effects included.                   |                                       |                                                                                    |                      |                       |          |

Figura A.5: Fatores  $\alpha, \beta$  e  $\gamma$  [3]

## A.6 Fator $q$ para verificação de barramentos, que reflete o tipo de secção do condutor

Tabela usada para verificação do correto dimensionamento de barras de cobre, de acordo com a norma IEC60865.

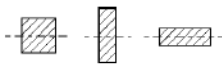
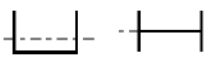
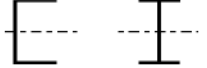
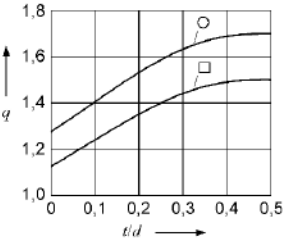
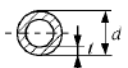
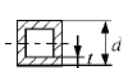
| Cross section                                                                                                                 | Cross section                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|  $q = 1,5$                                   |  $q = 1,83$ |
|                                                                                                                               |  $q = 1,19$ |
|  $q = 1,7$                                   |            |
|  $q = 1,7 \frac{1-(1-2t/d)^3}{1-(1-2t/d)^4}$ |                                                                                               |
|  $q = 1,5 \frac{1-(1-2t/d)^3}{1-(1-2t/d)^4}$ |                                                                                               |
| $q$ is valid for the dotted bending axis. The forces are perpendicular to it.                                                 |                                                                                               |

Figura A.6: Fator  $q$  [3]

## A.7 Tabela para dimensionamento de cabos

A tabela apresentada na figura A.7 permite escolher-se o cabo do tipo VHV mediante a corrente máxima admissível pelo mesmo. Estas tabelas são específicas para cabos do tipo , devendo ser usadas apenas para este tipo de cabo condutor.

| Secção<br>Nominal<br>mm <sup>2</sup> | 1 Condutor (1)            |                     |                             | 2 Condutores (5)          |                     |                             | 3 e 4 Condutores (6)      |                     |                             |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|
|                                      | Instalação<br>Subterrânea | Instalação<br>Ao Ar | Queda de<br>Tensão          | Instalação<br>Subterrânea | Instalação<br>Ao Ar | Queda de<br>Tensão          | Instalação<br>Subterrânea | Instalação<br>Ao Ar | Queda de<br>Tensão          |
|                                      | (2)                       | (3)                 | $\Delta U = V/A \text{ Km}$ | (2)                       | (3)                 | $\Delta U = V/A \text{ Km}$ | (2)                       | (3)                 | $\Delta U = V/A \text{ Km}$ |
|                                      | Intensidade<br>A          | Intensidade<br>A    | $\cos\phi=0,8$<br>(4)       | Intensidade<br>A          | Intensidade<br>A    | $\cos\phi=0,8$              | Intensidade<br>A          | Intensidade<br>A    | $\cos\phi=0,8$              |
| 1                                    |                           |                     |                             |                           | 14,5                | 34,800                      |                           | 13                  | 30,100                      |
| 1,5                                  | 34                        | 23                  | 20,200                      | 30                        | 19                  | 23,300                      | 25                        | 17                  | 20,200                      |
| 2,5                                  | 45                        | 31                  | 12,400                      | 40                        | 26                  | 14,300                      | 35                        | 24                  | 12,400                      |
| 4                                    | 60                        | 42                  | 7,770                       | 50                        | 35                  | 8,940                       | 45                        | 31                  | 7,740                       |
| 6                                    | 75                        | 52                  | 5,220                       | 65                        | 44                  | 6,000                       | 60                        | 42                  | 5,190                       |
| 10                                   | 105                       | 74                  | 3,140                       | 90                        | 61                  | 3,600                       | 80                        | 57                  | 3,120                       |
| 16                                   | 135                       | 96                  | 2,020                       | 120                       | 83                  | 2,300                       | 110                       | 79                  | 1,990                       |
| 25                                   | 180                       | 127                 | 1,310                       | 155                       | 110                 | 1,480                       | 135                       | 96                  | 1,280                       |
| 35                                   | 225                       | 158                 | 0,963                       | 185                       | 132                 | 1,080                       | 165                       | 114                 | 0,946                       |
| 50                                   | 260                       | 184                 | 0,734                       | 220                       | 158                 | 0,822                       | 190                       | 132                 | 0,718                       |
| 70                                   | 345                       | 242                 | 0,533                       | 280                       | 198                 | 0,589                       | 245                       | 171                 | 0,520                       |
| 95                                   | 410                       | 290                 | 0,406                       | 335                       | 237                 | 0,443                       | 295                       | 206                 | 0,393                       |
| 120                                  | 485                       | 343                 | 0,340                       | 380                       | 268                 | 0,368                       | 340                       | 237                 | 0,326                       |
| 150                                  | 550                       | 387                 | 0,299                       | 435                       | 308                 | 0,313                       | 390                       | 272                 | 0,279                       |
| 185                                  | 630                       | 444                 | 0,250                       | 490                       | 343                 | 0,265                       | 445                       | 312                 | 0,238                       |
| 240                                  | 740                       | 523                 | 0,210                       | 570                       | 400                 | 0,218                       | 515                       | 360                 | 0,198                       |
| 300                                  | 855                       | 602                 | 0,183                       | 640                       | 448                 | 0,188                       | 590                       | 413                 | 0,172                       |
| 400                                  | 1015                      | 721                 | 0,160                       | 760                       | 536                 | 0,164                       | 700                       | 492                 | 0,150                       |
| 500                                  | 1170                      | 822                 | 0,140                       |                           |                     |                             |                           |                     |                             |

- (1) - As intensidades de corrente são indicadas para um cabo monopolar sem influências térmicas exteriores. No caso de associações de cabos monolares (ternos juntos por exemplo) multiplicar os valores indicados por 0,80.  
 (2) - Temperatura do solo de 20°C.  
 (3) - Temperatura do ambiente de 30°C.  
 (4) - As quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.  
 (5) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização monofásica.  
 (6) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.

Figura A.7: Corrente máxima admissível em cabos condutores do tipo VHV [5].

## A.8 Resistência e Reatância linear

É aqui apresentada uma tabela com a resistência e reatância por km de cabos condutores, para o dimensionamento de canalizações.

| S<br>[mm <sup>2</sup> ] | single-core cable    |         | two-core/three-core cable |         |
|-------------------------|----------------------|---------|---------------------------|---------|
|                         | r[Ω/km]<br>@ 80 [°C] | x[Ω/km] | r[Ω/km]<br>@ 80 [°C]      | x[Ω/km] |
| 1.5                     | 14.8                 | 0.168   | 15.1                      | 0.118   |
| 2.5                     | 8.91                 | 0.156   | 9.08                      | 0.109   |
| 4                       | 5.57                 | 0.143   | 5.68                      | 0.101   |
| 6                       | 3.71                 | 0.135   | 3.78                      | 0.0955  |
| 10                      | 2.24                 | 0.119   | 2.27                      | 0.0861  |
| 16                      | 1.41                 | 0.112   | 1.43                      | 0.0817  |
| 25                      | 0.889                | 0.106   | 0.907                     | 0.0813  |
| 35                      | 0.641                | 0.101   | 0.654                     | 0.0783  |
| 50                      | 0.473                | 0.101   | 0.483                     | 0.0779  |
| 70                      | 0.328                | 0.0965  | 0.334                     | 0.0751  |
| 95                      | 0.236                | 0.0975  | 0.241                     | 0.0762  |
| 120                     | 0.188                | 0.0939  | 0.191                     | 0.074   |
| 150                     | 0.153                | 0.0928  | 0.157                     | 0.0745  |
| 185                     | 0.123                | 0.0908  | 0.125                     | 0.0742  |
| 240                     | 0.0943               | 0.0902  | 0.0966                    | 0.0752  |
| 300                     | 0.0761               | 0.0895  | 0.078                     | 0.075   |

Figura A.8: Tabela de Resistências e Reatâncias em cabos condutores [11].

## A.9 Código IP

É apresentada na figura A.9 uma tabela com os diversos parâmetros do código IP.

| Elemento                          | Algarismos ou Letras                      | Significado para a protecção do equipamento                                                                                                                                                                                                       | Significado para a protecção das pessoas                                                                                |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Letras do Código                  | IP                                        | —                                                                                                                                                                                                                                                 | —                                                                                                                       |
| Primeiro algarismo característico | 0<br>1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6           | Contra a penetração de corpos sólidos estranhos:<br><br>(não protegidos)<br>de diâmetro $\geq$ 50 mm<br>de diâmetro $\geq$ 12,5 mm<br>de diâmetro $\geq$ 2,5 mm<br>de diâmetro $\geq$ 1,5 mm<br>protegida contra a poeira<br>estanque à poeira    | Contra o acesso a partes perigosas com:<br>(não protegidos)<br>costas da mão<br>dedo<br>ferramenta<br>fio<br>fio<br>fio |
| Segundo algarismo característico  | 0<br>1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6<br>7<br>8 | Contra a penetração de água com efeitos prejudiciais:<br><br>(não protegido)<br>gotas de água verticais<br>gotas de água (15° de inclinação)<br>chuva<br>projecção de água<br>jactos<br>jactos fortes<br>imersão temporária<br>imersão prolongada |                                                                                                                         |
| Letra adicional (facultativa)     | A<br>B<br>C<br>D                          | —                                                                                                                                                                                                                                                 | Contra o acesso a partes perigosas com:<br>costas da mão<br>dedo<br>ferramenta<br>fio                                   |
| Letra suplementar (facultativa)   | H<br>M<br>S<br>W                          | Informação suplementar específica a:<br>equipamento de alta tensão<br>movimento durante o ensaio de água<br>estacionário durante o ensaio de água<br>intempéries                                                                                  | —                                                                                                                       |

Figura A.9: tabela de valores para o código IP [8]

## A.10 Código IK

É apresentada na figura A.10 uma tabela com os diversos parâmetros do código IK.

|                        |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |     |       |      |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|------|-------|
| Energia de impacto (J) | (1)   | 0,15  | 0,2   | 0,35  | 0,5   | 0,7   | 1,0   | 2,0   | 4,0 | 5,0   | 6,0 | 10,0  | 12,0 | 20,0  |
| Cód.IK                 | IK 00 | IK 01 | IK 02 | IK 03 | IK 04 | IK 05 | IK 06 | IK 07 | —   | IK 08 | —   | IK 09 | —    | IK 10 |

*Nota: (1) = Não protegido*

Figura A.10: tabela de valores para o código IK [8]

## A.11 Consumos do GES

É aqui apresentada uma tabela com os consumos dos GES, fornecida pela REN.

| Consumo por KW aproximado. |                 |                 |                 |                  |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Generator Size (kW)        | 1/4 Load (l/hr) | 1/2 Load (l/hr) | 3/4 Load (l/hr) | Full Load (l/hr) |
| 20                         | 2,65            | 3,79            | 4,92            | 6,44             |
| 30                         | 4,54            | 6,06            | 7,95            | 9,84             |
| 40                         | 6,06            | 8,33            | 10,98           | 13,63            |
| 48                         | 7,19            | 10,22           | 13,25           | 16,28            |
| 50                         | 7,57            | 10,22           | 13,63           | 17,03            |
| 60                         | 7,95            | 11,36           | 15,14           | 19,31            |
| 64                         | 7,95            | 11,73           | 15,90           | 20,06            |
| 68                         | 7,95            | 12,11           | 16,28           | 20,82            |
| 75                         | 8,33            | 12,49           | 17,41           | 22,33            |
| 80                         | 8,71            | 13,25           | 18,17           | 23,85            |
| 100                        | 9,84            | 15,52           | 21,96           | 28,77            |
| 107                        | 10,22           | 16,28           | 23,09           | 30,28            |
| 120                        | 10,98           | 17,79           | 25,36           | 33,69            |
| 125                        | 11,36           | 18,55           | 26,50           | 34,83            |
| 132                        | 11,73           | 19,31           | 27,63           | 36,72            |
| 136                        | 12,11           | 20,06           | 28,39           | 37,85            |
| 140                        | 12,49           | 20,44           | 29,15           | 38,61            |
| 144                        | 12,49           | 20,82           | 29,90           | 39,75            |
| 150                        | 12,87           | 21,58           | 31,04           | 41,26            |
| 160                        | 13,63           | 23,09           | 32,93           | 43,91            |
| 176                        | 14,76           | 24,98           | 35,96           | 48,07            |
| 200                        | 16,66           | 28,01           | 37,85           | 54,13            |
| 220                        | 18,17           | 30,66           | 44,67           | 59,43            |
| 230                        | 18,93           | 32,18           | 46,56           | 62,08            |
| 236                        | 19,31           | 32,93           | 47,70           | 63,97            |
| 240                        | 19,68           | 33,31           | 48,45           | 64,73            |
| 250                        | 20,44           | 34,83           | 50,35           | 67,38            |
| 264                        | 21,58           | 36,72           | 53,37           | 71,17            |
| 270                        | 21,96           | 37,48           | 54,51           | 72,68            |
| 280                        | 22,71           | 38,99           | 56,40           | 75,71            |
| 300                        | 24,23           | 41,64           | 60,57           | 81,01            |
| 330                        | 26,88           | 45,80           | 66,62           | 88,96            |
| 350                        | 28,39           | 48,45           | 70,41           | 94,26            |
| 400                        | 32,55           | 55,27           | 80,63           | 107,88           |
| 404                        | 32,55           | 56,02           | 81,39           | 109,02           |
| 440                        | 35,58           | 60,95           | 88,58           | 118,48           |
| 500                        | 40,50           | 69,27           | 100,69          | 134,76           |
| 600                        | 48,45           | 82,90           | 120,75          | 161,64           |
| 750                        | 60,57           | 103,72          | 151,04          | 202,14           |
| 823                        | 66,62           | 113,94          | 165,80          | 221,83           |
| 1000                       | 81,01           | 138,55          | 201,38          | 269,52           |
| 1120                       | 90,47           | 155,20          | 225,61          | 301,70           |
| 1200                       | 97,29           | 166,18          | 241,51          | 323,27           |
| 1500                       | 121,51          | 207,82          | 302,08          | 403,15           |
| 1750                       | 141,57          | 242,27          | 352,42          | 471,66           |
| 2000                       | 162,02          | 277,09          | 402,77          | 539,04           |
| 2250                       | 182,08          | 311,54          | 450,05          | 606,42           |

Figura A.11: Consumos GES

## **Anexo B**

# **Ferramenta desenvolvida**

São apresentados neste anexo todos os conteúdos a que se faz referência no capítulo 4.

### **B.1 Página inicial**

Na figura B.1 apresenta-se uma imagem da página de rosto da ferramenta desenvolvida. A imagem encontra-se na página seguinte para que a sua leitura possa ser perceptível.



REN - Rede Eléctrica Nacional

Gestão de Ativos - Programação e Otimização de Ativos

Ferramenta para verificação da conformidade dos circuitos de alimentação de corrente alternada dos serviços auxiliares das subestações e postos de corte/seccionamento da RNT - Rede Nacional de Transporte de Electricidade

|                     |  |
|---------------------|--|
| Tipo de instalação: |  |
| Nome da instalação: |  |
| Sigla da instalação |  |

|                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Informação recolhida no inquérito    | Análise                              |
| Transformador de Serviços Auxiliares | Verificação barras 400V (manual BBC) |
| Grupo de Socorro                     | Verificação barras 400V (IEC60865)   |
| Normabloc                            | Parametrizações Existentes           |
| Posto de transformação aéreo         | Relatório Geral                      |
| Quadro Geral de Corrente Alterna     | Análise Gráfica                      |

Esquema Unifilar dos Serviços Auxiliares

Figura B.1: Página Inicial da Ferramenta desenvolvida

B.2 Transformador de Serviços Auxiliares

Nas figuras B.2 e B.3 apresenta-se a página da ferramenta desenvolvida relativo ao TSA, dividida entre a zona de recolha de informação e zona de análise, respectivamente.

| Circuito                                      | ID | Descrição                                                                               |                                                                                                                              | Inquérito |                                                                                              | Cálculos |
|-----------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                               |    | Componente                                                                              | Parâmetro                                                                                                                    | Respostas |                                                                                              |          |
| Transformador de serviços auxiliares 1 (TSA1) | 1  | Descarregador de sobretensões (DST) - Terciário do transformador de Potência (TP) - TR1 | Classe descarga longa duração<br>Corrente Nominal de descarga 8/20 µseg [A]                                                  |           |                                                                                              |          |
|                                               | 2  | Cabo entre TP e Transformador de Serviços Auxiliares (TSA1)                             | tipo<br>condutores por fase<br>secção [mm <sup>2</sup> ] (F/N)<br>comprimento [km]<br>Secção da blindagem [mm <sup>2</sup> ] |           |                                                                                              |          |
|                                               | 3  | Toro do TSA1 - Primário                                                                 | Blindagem do cabo ligada à terra?<br>Ip [A]<br>Is [A]                                                                        |           |                                                                                              |          |
|                                               | 4  | Transformador de Serviços Auxiliares 1 (TSA1)                                           | Modelo<br>Enrolamentos<br>Sn [VA]<br>Un primário [V]<br>Ucc [%]<br>Neutro da estrela ligado à terra?<br>Apoiado em rodados?  |           |                                                                                              |          |
|                                               | 5  | Aparelho de Corte de saída do TSA1                                                      | Tipo<br>Modelo<br>In [A]<br>Ir [A]<br>tr [s]<br>Ist [A]<br>Ist [A]<br>Isd [A]<br>tsd [s]<br>InM [A]                          |           | IO=In*<br>Ir=IO*<br>Ir=I*<br><br><br><br><br><br>Isd=In*<br><br><br>0<br><br>0<br><br>0      |          |
|                                               | 6  | Ligação disjuntor do TSA1 ao QGCA                                                       | tipo<br>condutores por fase<br>secção [mm <sup>2</sup> ] (F/N)<br>comprimento [km]<br>Blindagem do cabo ligada à terra?      |           | Queda de Ux3 [%]=<br>0<br><br>IO=In*<br>Ir=IO*<br>Ir=I*<br><br><br>Isd=In*<br><br>0<br><br>0 |          |
|                                               | Q1 | Aparelho de Corte de entrada no QGCA                                                    | Tipo<br>Modelo<br>In [A]<br>Ir [A]<br>tr [s]<br>Ist [A]<br>tsd [s]<br>InM [A]                                                |           | IO=In*<br>Ir=IO*<br>Ir=I*<br><br><br><br><br><br>Isd=In*<br><br>0<br><br>0                   |          |

Figura B.2: Página referente à recolha de informação do circuito de alimentação através de Transformador de Serviços Auxiliares



## B.3 Normabloco

Nas figuras B.4 e B.5 apresenta-se a página da ferramenta desenvolvida relativa ao NB, dividida entre a zona de recolha de informação e zona de análise, respectivamente, relativas ao circuito de alimentação através de normabloco.

| Circuito            | ID | Descrição                                   |                                   | Inquérito |                     |
|---------------------|----|---------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------------------|
|                     |    | Componente                                  | Parâmetro                         | Respostas | Cálculos            |
| Norma bloco 1 (NB1) | 1  | Norma Bloco 1                               | Marca / Modelo                    |           |                     |
|                     |    |                                             | Sn [VA]                           |           |                     |
|                     | 2  | Disjuntor de saída do Norma Bloco 1         | Tipo                              |           | $I0=In^*$           |
|                     |    |                                             | Modelo                            |           |                     |
|                     |    |                                             | In [A]                            |           | $I_r=I0^*$          |
|                     |    |                                             | Ir [A]                            | 0         | $I_r=$              |
|                     |    |                                             | tr [s]                            |           |                     |
|                     |    |                                             | Ist [A]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | tst [A]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | Isd [A]                           | 0         | $I_{sd}=I_n^*$      |
|                     |    |                                             | tsd [s]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | InN [A]                           | 0         |                     |
|                     | 3  | Ligação entre NB1 e o transformador1        | tipo                              |           |                     |
|                     |    |                                             | condutores por fase               |           |                     |
|                     |    |                                             | secção [mm <sup>2</sup> ] (F/N)   |           |                     |
|                     |    |                                             | comprimento [km]                  |           |                     |
|                     | 4  | Transformador 1                             | Modelo                            |           |                     |
|                     |    |                                             | Enrolamentos                      |           |                     |
|                     |    |                                             | Sn [VA]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | Un primário [V]                   |           |                     |
|                     |    |                                             | Ucc [%]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | Neutro da estrela ligado à terra? |           |                     |
|                     |    |                                             | Apoiado em rodados?               |           |                     |
|                     | 5  | Aparelho de Corte de saída do transformador | Tipo                              |           | $I0=In^*$           |
|                     |    |                                             | Modelo                            |           |                     |
|                     |    |                                             | In [A]                            |           | $I_r=I0^*$          |
|                     |    |                                             | Ir [A]                            | 0         | $I_r=$              |
|                     |    |                                             | tr [s]                            |           |                     |
|                     |    |                                             | Ist [A]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | tst [A]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | Isd [A]                           | 0         | $I_{sd}=I_n^*$      |
|                     |    |                                             | tsd [s]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | InN [A]                           | 0         |                     |
|                     | 6  | Ligação disjuntor do transformador ao QGCA  | tipo                              |           |                     |
|                     |    |                                             | condutores por fase               |           |                     |
|                     |    |                                             | secção [mm <sup>2</sup> ] (F/N)   |           |                     |
|                     |    |                                             | comprimento [km]                  |           |                     |
|                     | Q? | Aparelho de Corte de entrada no QGCA        | Blindagem do cabo ligada à terra? |           | Queda de U<3 [%]= 0 |
|                     |    |                                             | Tipo                              |           | $I0=In^*$           |
|                     |    |                                             | Modelo                            |           |                     |
|                     |    |                                             | In [A]                            |           | $I_r=I0^*$          |
|                     |    |                                             | Ir [A]                            | 0         | $I_r=$              |
|                     |    |                                             | tr [s]                            |           |                     |
|                     |    |                                             | Ist [A]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | tst [A]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | Isd [A]                           | 0         | $I_{sd}=I_n^*$      |
|                     |    |                                             | tsd [s]                           |           |                     |
|                     |    |                                             | InN [A]                           | 0         |                     |

Figura B.4: Página referente à recolha de informação do circuito de alimentação através de Normabloco



## B.4 PT Aéreo

Nas figuras B.6 e B.7 apresenta-se a página da ferramenta desenvolvida relativa ao PTA, dividida entre a zona de recolha de informação e zona de análise, respectivamente, relativas ao circuito de alimentação através de Posto de Transformação Aéreo.

| Circuito                           | ID | Descrição                            |                                 | Inquérito |                          |
|------------------------------------|----|--------------------------------------|---------------------------------|-----------|--------------------------|
|                                    |    | Componente                           | Parâmetro                       | Respostas | Cálculos                 |
| Posto de Transformação aéreo (PTA) | 1  | PTA                                  | Marca / Modelo                  |           |                          |
|                                    |    |                                      | Sn [VA]                         |           |                          |
|                                    | 2  | Aparelho de corte de saída do PTA    | In [A]                          | 0         |                          |
|                                    |    |                                      | Tipo                            |           | $I_0 = I_n^*$            |
|                                    |    |                                      | Modelo                          |           |                          |
|                                    |    |                                      | In [A]                          |           | $I_r = I_0^*$            |
|                                    |    |                                      | Ir [A]                          | 0         | $I_r =$                  |
|                                    |    |                                      | tr [s]                          |           |                          |
|                                    |    |                                      | Ist [A]                         |           |                          |
|                                    |    |                                      | tst [A]                         |           |                          |
|                                    |    |                                      | Istd [A]                        | 0         | $I_{sd} = I_n^*$         |
|                                    |    |                                      | tsd [s]                         |           |                          |
|                                    | 3  | Ligação entre PTA e QGCA             | InN [A]                         | 0         | 0                        |
|                                    |    |                                      | tipo                            |           |                          |
|                                    |    |                                      | condutores por fase             |           | nº condutores por fase = |
|                                    |    |                                      | secção [mm <sup>2</sup> ] (F/N) |           |                          |
|                                    | Q? | Aparelho de corte de entrada no QGCA | comprimento [km]                |           |                          |
|                                    |    |                                      | Tipo                            |           | $I_0 = I_n^*$            |
|                                    |    |                                      | Modelo                          |           |                          |
|                                    |    |                                      | In [A]                          |           | $I_r = I_0^*$            |
|                                    |    |                                      | Ir [A]                          | 0         | $I_r =$                  |
|                                    |    |                                      | tr [s]                          |           |                          |
|                                    |    |                                      | Ist [A]                         |           |                          |
|                                    |    |                                      | tst [A]                         |           |                          |
|                                    |    |                                      | Istd [A]                        | 0         | $I_{sd} = I_n^*$         |
|                                    |    |                                      | tsd [s]                         |           |                          |
|                                    |    |                                      | InN [A]                         | 0         | 0                        |

Figura B.6: Página referente à recolha de informação do circuito de alimentação através de PTA

| Especificações REN                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                            | Análise   |            | Observações     |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|------------|-----------------|-------------|
| Técnicas                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Cálculos                                   | Avaliação | Prioridade | Inconformidades | Comentários |
| Não Existe Especificação Técnica Aplicável                                                                                                                                                                                                                                                      |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | In do disjuntor $\geq 10$ A                |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
| Os <b>interruptores de entrada</b> dos circuitos de alimentação vindo dos TSA's ou PT devem ter encaçamento mecânico e eléctrico, para que não exista paralelos de fontes diferentes. O quadro QGCA deverá estar equipado, nas chegadas e no interbarra, com <b>interruptores motorizados</b> . |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Calibre do Interruptor(A)= 10 para 2 cabos |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |           |            |                 |             |

Figura B.7: Página referente à análise da informação do circuito de alimentação através de PTA

## B.5 Grupo Eletrogéneo de Socorro

Nas figuras B.8 e B.9 apresenta-se a página da ferramenta desenvolvida relativa ao GES, dividida entre a zona de recolha de informação e zona de análise, respectivamente. Na figura B.10 é possível ver-se a recolha de dados relativa à avaliação da autonomia de funcionamento do grupo.

| Circuito                    | ID | Descrição                            |                                | Respostas | Inquérito | Cálculos          |
|-----------------------------|----|--------------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-------------------|
|                             |    | Componente                           | Parâmetro                      |           |           |                   |
| Grupo de Socorro 1<br>(GS1) | 1  | Grupo de socorro / Emergência        | Marca / Modelo                 |           |           |                   |
|                             |    |                                      | Sn [VA]                        |           |           |                   |
|                             |    |                                      | Tipo                           |           |           | IO=In*            |
|                             |    |                                      | Modelo                         |           |           |                   |
|                             |    |                                      | In [A]                         |           |           | Ir=IO*            |
|                             |    |                                      | Ir [A]                         | 0         |           | Ir=               |
|                             | 2  | Aparelho de corte de saída do GS1    | tr [s]                         |           |           |                   |
|                             |    |                                      | Ist [A]                        |           |           |                   |
|                             |    |                                      | tst [A]                        |           |           |                   |
|                             |    |                                      | Iscd [A]                       | 0         |           | Iscd=In*          |
|                             |    |                                      | tsd [s]                        |           |           |                   |
|                             |    |                                      | InN [A]                        | 0         |           | 0                 |
|                             | 3  | Ligação entre GS1 e QGCA             | tipo                           |           |           |                   |
|                             |    |                                      | condutores por fase            |           |           |                   |
|                             |    |                                      | seção [mm <sup>2</sup> ] (F/N) |           |           |                   |
|                             |    |                                      | comprimento [km]               |           |           | Queda de U<3 [%]= |
|                             |    |                                      | Tipo                           |           |           | IO=In*            |
|                             |    |                                      | Modelo                         |           |           |                   |
|                             |    |                                      | In [A]                         |           |           | Ir=IO*            |
|                             |    |                                      | Ir [A]                         | 0         |           | Ir=               |
|                             | Q? | Aparelho de corte de entrada no QGCA | tr [s]                         |           |           |                   |
|                             |    |                                      | Ist [A]                        |           |           |                   |
|                             |    |                                      | tst [A]                        |           |           |                   |
|                             |    |                                      | Iscd [A]                       | 0         |           | Iscd=In*          |
|                             |    |                                      | tsd [s]                        |           |           |                   |
|                             |    |                                      | InN [A]                        | 0         |           | 0                 |

Figura B.8: Página referente à recolha de informação do circuito de alimentação através do GES

| Especificações REN                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                        | Análise   |            | Observações     |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------|------------|-----------------|-------------|
| Técnicas                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Cálculos                               | Avaliação | Prioridade | Inconformidades | Comentários |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                        |           |            |                 |             |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $I_{max}/fase=0$                       |           |            |                 |             |
| Disjuntor equipado com relé termomagnético contra sobrecargas e curto-circuitos                                                                                                                                                                                                          |                                        |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                        |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Calibre do Disjuntor[A]=               |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          | para cabos                             |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                        |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                        |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          | VHV                                    |           |            |                 |             |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                        |           |            |                 |             |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2 Cond/fase de 1,5[mm²]+ Neutro de 1,5 |           |            |                 |             |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                        |           |            |                 |             |
| O interruptor de entrada dos circuitos de alimentação vindo do GS devem ter encravamento mecânico e eléctrico, evitando assumir a carga dos Serviços Não Essenciais (SNE).<br>O quadro QGCA deverá estar equipado, nas chegadas e no interbarras, com <b>interruptores motorizados</b> . |                                        |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Calibre do interruptor[A]= 10          |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                        |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                        |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                        |           |            |                 |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                        |           |            |                 |             |

Figura B.9: Página referente à análise da informação do circuito de alimentação através do GES

| Análise da capacidade do depósito de combustível em função do consumo do GS vs Consumo de energia nos Serviços Auxiliares |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|---------------------------------|---------------|
| Verificação do tempo de alimentação garantido pelo grupo de socorro                                                       | Capacidade do depósito [l] | Potência do Grupo (kVA) | Consumo de energia nos últimos 6 meses [kWh] |       |       |       |       |       |  | Valor máximo diário médio [kWh] | Potência [kW] |
|                                                                                                                           |                            |                         | mês 1                                        | mês 2 | mês 3 | mês 4 | mês 5 | mês 6 |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       |       |       |       |       |  |                                 |               |
|                                                                                                                           |                            |                         |                                              |       | </    |       |       |       |  |                                 |               |

Figura B.10: Página referente à análise da autonomia do GES

## **Anexo C**

# **Estudo de Caso**

São apresentados neste anexo imagens resultantes do uso real da ferramenta desenvolvida, em relação à SE de Riba d'Ave.

### **C.1 Página Inicial**

A página inicial da ferramenta para o caso em estudo é apresentada na figura C.1

A imagem foi colocada na página seguinte, para que possa ser perceptível.

[illegible]

Figura C.1: Página Inicial - Análise SE Riba d'Ave

## C.2 Transformador de Serviços Auxiliares

A página da ferramenta onde se analisa e avalia o TSA1 é apresentada nas figuras C.2 e C.3. Foi necessário dividir a página no centro para ser perceptível do anexo.

| Circuito                                      | ID | Descrição                                                                               |                                                                                                                                          | Inquérito                                                                  |                                                                               | Cálculos                                     |
|-----------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                               |    | Componente                                                                              | Parâmetro                                                                                                                                | Respostas                                                                  | sem info                                                                      |                                              |
| Transformador de serviços auxiliares 1 (TSA1) | 1  | Descarregador de sobretensões (DST) - Terciário do transformador de Potência (TP) - TR1 | Classe descarga longa duração<br>Corrente Nominal de descarga<br>8/20 $\mu$ seg [A]                                                      | Sim                                                                        | sem info                                                                      |                                              |
|                                               | 2  | Cabo entre TP e Transformador de Serviços Auxiliares (TSA1)                             | tipo<br>condutores por fase<br>secção [mm <sup>2</sup> ] (F/N)<br>comprimento [km]                                                       | XHV<br>1<br>185<br>0,012                                                   | sem info                                                                      |                                              |
|                                               | 3  | Toro do TSA1 - Primário                                                                 | Secção da blindagem [mm <sup>2</sup> ]<br>Blindagem do cabo ligada à terra?<br>Ip [A]<br>Is [A]                                          | Ambos<br>100<br>1                                                          |                                                                               |                                              |
|                                               | 4  | Transformador de Serviços Auxiliares 1 (TSA1)                                           | Modelo<br>Enrolamentos<br>Sn [VA]<br>Un primário [V]<br>Ucc [%]<br>Neutro da estrela ligado à terra?<br>Apoiado em rodados?              | EFACEC tipo concentrico<br>YNyn0<br>800000<br>20000<br>18,5<br>Sim         |                                                                               |                                              |
|                                               | 5  | Aparelho de Corte de saída do TSA1                                                      | Tipo<br>Modelo<br>In [A]<br>Ir [A]<br>tr [s]<br>lst [A]<br>tst [A]<br>lsd [A]<br>tsd [s]<br>InN [A]                                      | Disjuntor<br>Merlin Gerin Sepact<br>1600<br>4000<br><br>0<br>0<br>VHV<br>2 | 10=In*<br>10=1280<br>Ir=10*<br>Ir=4000<br><br>lsd=In*<br><br>0                | 0,8<br>1280<br>4000<br><br><br><br><br><br>0 |
|                                               | 6  | Ligação disjuntor do TSA1 ao QGCA                                                       | condutores por fase<br>secção [mm <sup>2</sup> ] (F/N)<br>comprimento [km]                                                               | 240<br>0,15                                                                | 240                                                                           | Queda de U<3 [%]=<br>4,3875                  |
|                                               | Q1 | Aparelho de Corte de entrada no QGCA                                                    | Blindagem do cabo ligada à terra?<br>Tipo<br>Modelo<br>In [A]<br>Ir [A]<br>tr [s]<br>lst [A]<br>tst [A]<br>lsd [A]<br>tsd [s]<br>InN [A] | Disjuntor<br>SACE EIB 10<br>1000<br>1000<br>144<br>4000<br>500             | 10=In*<br>10=1000<br>Ir=10*<br><br>I(A)=3*Ir=3000<br><br>lsd=Ir*<br>4P 30+N/2 | 1<br>1000<br>1<br><br>3000<br>4<br>0,5       |

Figura C.2: Análise ao TSA1 - SE Riba d'Ave



### C.3 Grupo Eletrogéneo de Socorro

A página da ferramenta onde se analisa e avalia o GES1 é apresentada nas figuras C.4 e C.5. Foi necessário dividir a página no centro para ser perceptível do anexo. Na figura C.6 é apresentada a análise à autonomia do GES.

| Circuito                 | ID | Descrição                         |                                                       | Respostas         | Inquérito                                      |       |
|--------------------------|----|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------|-------|
|                          |    | Componente                        | Parâmetro                                             |                   | Cálculos                                       |       |
| Grupo de Socorro 1 (GS1) | 1  | Grupo de socorro / Emergência     | Marca / Modelo<br>Sn [VA]                             | Cummins<br>400000 |                                                |       |
|                          |    |                                   | Tipo                                                  | Disjuntor         | $I_0 = I_n$                                    | 1     |
|                          |    |                                   | Modelo                                                | compact Ns        | $I_0 =$                                        | 800   |
|                          |    |                                   | In [A]                                                | 800               | $I_r = I_0$                                    | 0,8   |
|                          |    |                                   | Ir [A]                                                | 640               |                                                |       |
|                          | 2  | Aparelho de corte de saída do GS1 | tr [s]                                                | 1                 | $I(A) = 6 \times I_r$                          | 3840  |
|                          |    |                                   | Ist [A]                                               |                   |                                                |       |
|                          |    |                                   | tst [A]                                               |                   |                                                |       |
|                          |    |                                   | I <sub>sd</sub> [A]                                   | 960               | $I_{sd} = I_r$                                 | 1,5   |
|                          |    |                                   | t <sub>sd</sub> [s]                                   | 0,1               | Existe Instantâneo $I_{i=2} \cdot I_n = 1600A$ |       |
|                          |    |                                   | InN [A]                                               | 0                 |                                                | 0     |
|                          |    |                                   | tipo                                                  | VHV               |                                                |       |
|                          | 3  | Ligação entre GS1 e QGCA          | condutores por fase<br>seção [mm <sup>2</sup> ] (FIN) | 240 240 240       |                                                |       |
|                          |    |                                   | comprimento [km]                                      | 0,008             | Queda de U<3 [%]=                              | 0,117 |
|                          |    |                                   | Tipo                                                  | Disjuntor         | $I_0 = I_n$                                    | 1     |
| Q?                       |    |                                   | Modelo                                                |                   | $I_0 =$                                        | 630   |
|                          |    |                                   | In [A]                                                | 630               | $I_r = I_0$                                    | 1     |
|                          |    |                                   | Ir [A]                                                | 630               |                                                |       |
|                          |    |                                   | tr [s]                                                | 3                 |                                                |       |
|                          |    |                                   | Ist [A]                                               |                   |                                                |       |
|                          |    |                                   | tst [A]                                               |                   |                                                |       |
|                          |    |                                   | I <sub>sd</sub> [A]                                   | 3465              | $I_{sd} = I_r$                                 | 5,5   |
|                          |    |                                   | t <sub>sd</sub> [s]                                   | 0,25              |                                                |       |
|                          |    |                                   | InN [A]                                               | 630               | 4P 4D                                          | 1     |

Figura C.4: Análise ao GES1 - SE Riba d'Ave

| Especificações REN                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                           | Análise   |            | Observações                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|------------|-----------------------------------|-------------|
| Técnicas                                                                                                                                                                                                                                                                                | Cálculos                                  | Avaliação | Prioridade | Inconformidades                   | Comentários |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                           | ok        |            |                                   |             |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $I_{max}/fase=577,35$                     |           |            |                                   |             |
| Disjuntor equipado com relé termomagnético contra sobrecargas e curtos circuitos                                                                                                                                                                                                        |                                           | ok        | -          |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $IS \leq I_n \leq I_z$                    |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $577,35 \leq 640 \leq 1046$               |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $I_r \leq 1,45 * I_z$                     |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $640 \leq 1516,7$                         |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | VHV                                       |           |            |                                   |             |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                           | ok        | -          |                                   |             |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2 Cond/fase de $185[mm^2] +$ Neutro de 95 |           |            |                                   |             |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Queda de $U < 3$ [%] = 0,143              |           |            |                                   |             |
| O interruptor de entrada dos circuitos de alimentação vindo do GS devem ter enclavamento mecânico e eléctrico, evitando assumir a carga dos Serviços Não Essenciais (SNE).<br>O quadro QGCA deverá estar equipado, nas chegadas e no interbarra, com <u>interruptores motorizados</u> . |                                           | NOK       | 1          | Deve ser interruptor seletividade |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $IS \leq I_n \leq I_z$                    |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $432,47 \leq 630 \leq 1046$               |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $I_r \leq 1,45 * I_z$                     |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $630 \leq 1516,7$                         |           |            |                                   |             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |           |            |                                   |             |

Figura C.5: Avaliação ao GES1 - SE Riba d'Ave

| Análise da capacidade do depósito de combustível em função do consumo do GS vs Consumo de energia nos Serviços Auxiliares                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |                         |                                              |         |         |         |         |                          |                           |               |       |       |         |   |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|---------------------------|---------------|-------|-------|---------|---|----|----|
| Verificação do tempo de alimentação garantido pelo grupo de socorro                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Capacidade do depósito [l] | Potência do Grupo (kVA) | Consumo de energia nos últimos 6 meses (kWh) |         |         |         |         |                          | Valor máximo diário médio |               |       |       |         |   |    |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                            |                         | mês 1                                        | mês 2   | mês 3   | mês 4   | mês 5   | mês 6                    | [kWh]                     | Potência [kW] |       |       |         |   |    |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                            |                         | 34224                                        | 33836   | 32023   | 28613   | 36224   | 36224                    |                           |               |       |       |         |   |    |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                            |                         | n° dias                                      | n° dias | n° dias | n° dias | n° dias | n° dias                  |                           |               |       |       |         |   |    |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                            |                         | 31                                           | 31      | 28      | 31      | 30      | 31                       |                           |               |       |       |         |   |    |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                            |                         |                                              |         |         |         |         |                          |                           |               | 11,86 | 25    |         |   |    |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                            |                         |                                              |         |         |         |         | Consumo médio em 24h [l] |                           |               |       |       |         |   |    |    |
| <div>Duração do depósito considerando o funcionamento do grupo a 25% de carga</div> <table><tr><td>dias</td><td>horas</td><td>minutos</td></tr><tr><td>0</td><td>15</td><td>21</td></tr></table> <div>NOTA: Os valores de energia considerados só contemplam potência ativa, uma vez que os cálculos serão feitos para um regime maiorado de funcionamento, este fator não será significativo</div> |                            |                         |                                              |         |         |         |         |                          |                           |               | dias  | horas | minutos | 0 | 15 | 21 |
| dias                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | horas                      | minutos                 |                                              |         |         |         |         |                          |                           |               |       |       |         |   |    |    |
| 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 15                         | 21                      |                                              |         |         |         |         |                          |                           |               |       |       |         |   |    |    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                            |                         |                                              |         |         |         |         | 781.308932               |                           |               |       |       |         |   |    |    |

Figura C.6: Avaliação à autonomia do GES1 - SE Riba d'Ave

## C.4 Quadro Geral de Corrente alternada

A página da ferramenta onde se analisa e avalia o QGCA é apresentada nas figuras C.8 e C.8. Foi necessário dividir a página no centro para ser perceptível do anexo.

| Circuito                                  | ID                       | Descrição                                     |               | Inquérito   |                  |
|-------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------|------------------|
|                                           |                          | Componente                                    | Parâmetro     | Respostas   | Cálculos         |
| Quadro Geral de Corrente Alternada (QGCA) | QE4                      | Interruptor de interligação barramento QGCA   | Tipo          | Interruptor | $I_0 = I_n^*$    |
|                                           |                          |                                               | Modelo        |             |                  |
|                                           |                          |                                               | $I_n$ [A]     |             | $I_r = I_0^*$    |
|                                           |                          |                                               | $I_r$ [A]     | 0           | $I_r =$          |
|                                           |                          |                                               | $t_r$ [s]     |             |                  |
|                                           |                          |                                               | $I_{st}$ [A]  |             |                  |
|                                           |                          |                                               | $t_{st}$ [s]  |             |                  |
|                                           |                          |                                               | $I_{sd}$ [A]  | 0           | $I_{sd} = I_n^*$ |
|                                           |                          |                                               | $t_{sd}$ [s]  |             |                  |
|                                           |                          |                                               | $I_{nN}$ [A]  | 0           | 0                |
|                                           | Chapa de Características | Corrente de Curto-circuito do barramento 400V | $I_{cc}$ [kA] |             |                  |
|                                           |                          | Corrente Nominal                              | $I_n$ [A]     |             |                  |
|                                           |                          | Grau de Proteção                              | IP            |             |                  |
|                                           |                          | Regime de neutro                              | -             |             |                  |

Figura C.7: Análise ao QGCA - SE Riba d'Ave

| Especificações REN                                          |          | Análise        |            | Observações     |             |
|-------------------------------------------------------------|----------|----------------|------------|-----------------|-------------|
| Técnicas                                                    | Cálculos | Análise        | Prioridade | Inconformidades | Comentários |
|                                                             |          | OK             | -          |                 |             |
|                                                             |          |                |            |                 |             |
|                                                             |          |                |            |                 |             |
|                                                             |          |                |            |                 |             |
|                                                             |          |                |            |                 |             |
|                                                             |          |                |            |                 |             |
|                                                             |          |                |            |                 |             |
|                                                             |          |                |            |                 |             |
| Valor da corrente de curto-circuito máxima admissível [kA]: | 15,889   | Sem informação |            |                 |             |
| Não Existe Especificação Técnica Aplicável                  |          |                |            |                 |             |
|                                                             |          |                |            |                 |             |

Figura C.8: Avaliação ao QGCA - SE Riba d'Ave

## C.5 Análise gráfica

Serão neste anexo apresentados alguns exemplos dos gráficos obtidos após inserção de todos os dados relativos aos circuitos da instalação.

Na figura C.9 apresentam-se os gráficos relativos à análise ao TSA1 da instalação, na figura C.10 é apresentado o gráfico de análise ao GES, e na figura C.11 é apresentado um gráfico para análise das horas de autonomia do grupo de socorro.

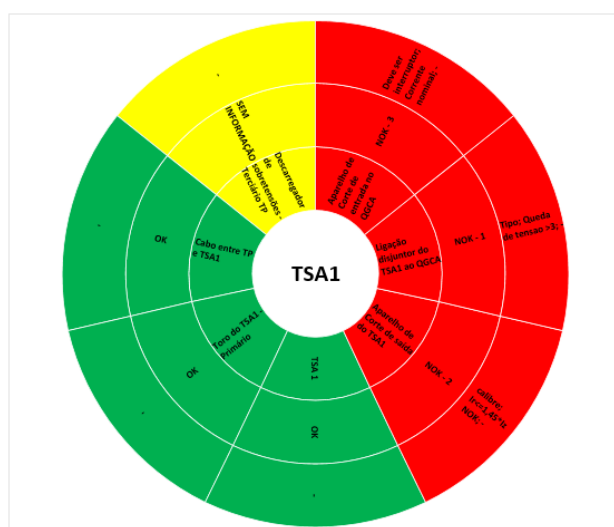


Figura C.9: Análise gráfica ao TSA 1 - SE Riba d'Ave

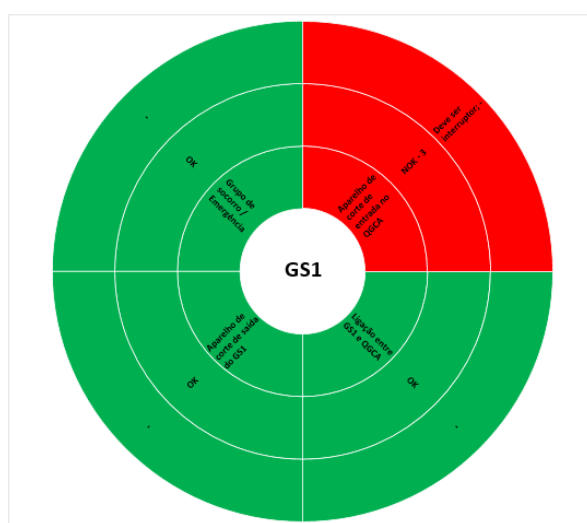


Figura C.10: Avaliação gráfica ao GES - SE Riba d'Ave

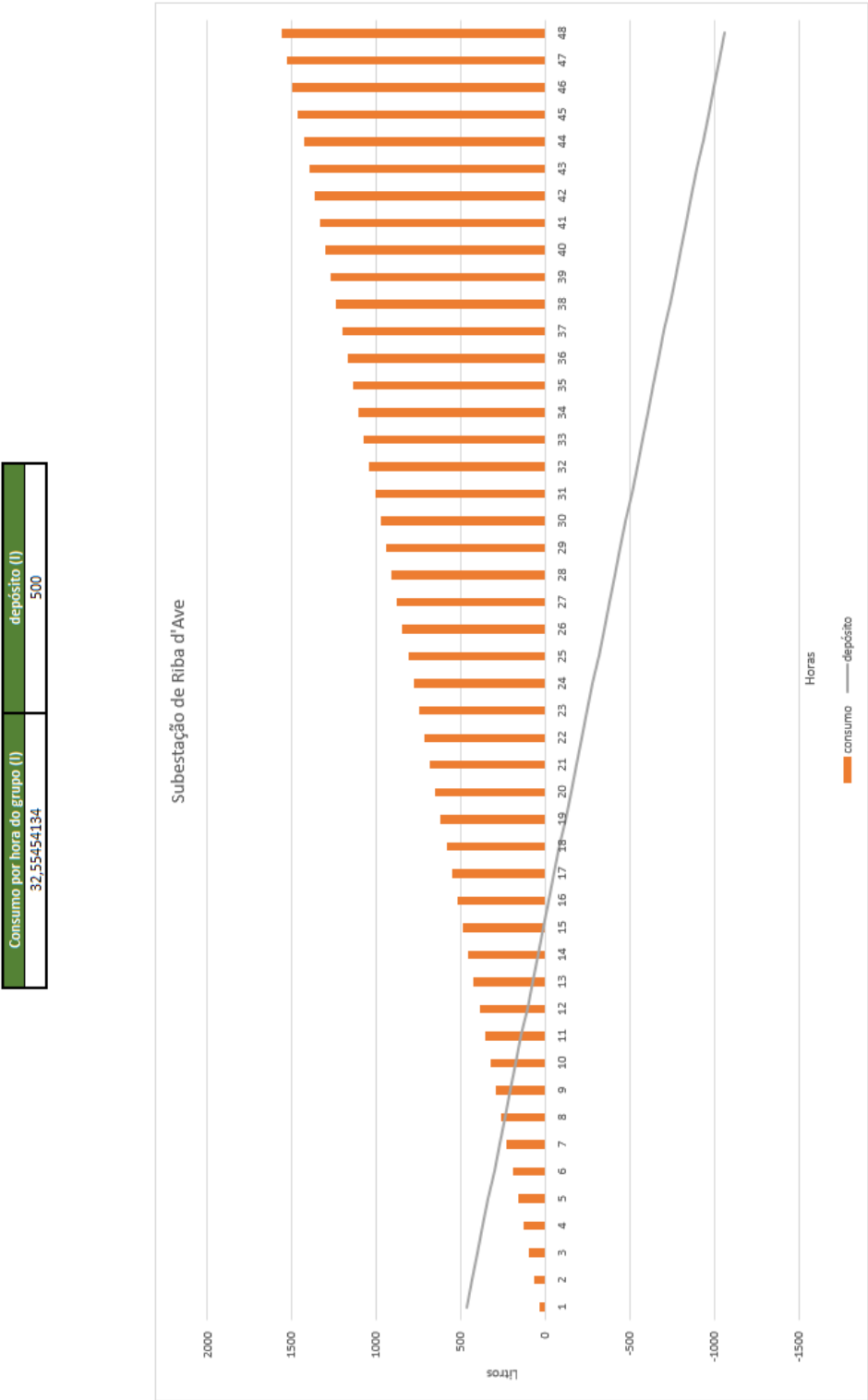


Figura C.11: Avaliação gráfica à autonomia do GES